

Gert Frølund Pedersen

Absorption und Körperverluste bei Mobiltelefonen

Bislang wurde die Bedeutung der Antenne von Mobiltelefonen für die Leistungsfähigkeit der Geräte oft vernachlässigt. Antennen sind zwar notwendige Bauteile, ihre Bedeutung in Forschung und Entwicklung schien aber eher gering. Doch seit Untersuchungen große Unterschiede in der Leistungsfähigkeit verschiedener Antennen aufgezeigt haben, sind Antennen wieder zu Komponenten geworden, denen mehr Beachtung beigemessen wird. Besonders die Art und Weise, wie der Benutzer das Telefon hält, steht in engem Zusammenhang mit der wirksamen Antennencharakteristik. In Abhängigkeit vom eingesetzten Antennentyp ergeben sich unterschiedliche Empfangssituationen aufgrund von Abschirmung und Absorption, die durch den Benutzer verursacht werden.

Unsere Arbeitsgruppe am „Center for Personkommunikation“ der Universität Aalborg hat Messungen mit 200 Testpersonen durchgeführt, um den Einfluss des Handynutzers und des verwendeten Antennentyps auf die Empfangssituation im GSM1800-Band zu untersuchen. Das verwendete Versuchstelefon war mit drei unterschiedlichen Antennen ausgestattet: einer ausziehbaren Monopolantenne, einer damit kombinierten Helixantenne, die die Abstrahlung übernimmt, wenn die Monopolantenne eingeschoben ist, sowie einer Patch-Antenne.

In jedem Versuchsdurchgang wurde die Patchantenne in Kombination mit einer der beiden anderen Antennen untersucht. Die Testpersonen wurden aufgefordert, das Versuchstelefon in einer für sie natürli-

chen Position zu halten. Dann durchschritten die Testpersonen mit dem Telefon am Ohr einen vorgezeichneten, viereckigen Parcours (Abbildung 1). Jeder Messdurchgang dauerte eine Minute, dies entsprach etwa 4 Parcoursrunden. Jede Person hatte zwei Testdurchläufe zu absolvieren, einen mit der Helix- und einen mit der Monopolantenne. Die Patchantenne wurde bei jedem Durchgang mitgemessen.

Die Messungen erfolgten in vier verschiedenen Stockwerken eines Hochhauses. Je Stockwerk wurden 50 Testpersonen eingesetzt. Die Fenster im Erdgeschoss, sowie im zweiten und dritten Stockwerk zeigten in Richtung der Basisstationsantenne, die sich auf dem Dach eines sechzehnstöckigen Hochhauses in einer Entfernung von etwa 700 Metern befand. Eine direkte Sichtverbindung zwischen Versuchsort und Basisstation war nicht gegeben. Die Fenster im ersten Stockwerk des Versuchsgebäudes zeigten in die vom Sender abgewandte Richtung. Der Abstand von 700 Metern und die Positionierung der Basisstationsantenne auf einem Hochhaus wurden bewusst gewählt, um eine typische 1800-MHz-GSM-Kleinzel-

le im Stadtgebiet zu simulieren. Bei der Sendantenne handelte es sich um eine Hochgewinn-Sektorantenne. Die Verhältnisse am Versuchsort sind in Abbildung 2 wiedergegeben.

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der Messergebnisse zusammengefasst. Es ist deutlich zu erkennen, dass die von der Helixantenne empfangene Leistung niedriger ist, als die der anderen Antennentypen.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

- 1) Die Unterschiede im MEG (mittleren äquivalenten Gewinn) können von einer zur anderen Person bis zu 10 dB betragen.
- 2) Der Körperverlust, definiert als Differenz zwischen den Werten der beiden Versuchssituationen „keine Testperson anwesend“ und „Testperson anwesend“, beträgt für die Helixantenne 10 dB, für die Monopolantenne 6 dB und für die „Patch-Antenne“ 3 dB.
- 3) Der durchschnittliche MEG bezogen auf die Monopolantenne beträgt über alle Testpersonen gemittelt für die Patch-Antenne 0,5 dB und für die Helixantenne -3 dB.
- 4) Der Einfluss der Körpergröße der Testpersonen oder von Brillengestellen auf den

Tabelle 1

Antenna	level 1	level 2	level 3	level 4	average	body effect
Whip no user	0	0	0	0	0	
Helical no user	0,70	0,97	0,60	0,41	0,67	
Patch no user	-3,12	-3,46	-2,69	-0,9	-2,42	
Whip with user	-6,61	-7,09	-7,04	-5,08	-6,37	-6,37
Helical with user	-9,61	-10,29	-9,54	-7,48	-9,09	-9,76
Patch with user	-6,71	-8,34	-6,24	-3,43	-5,80	-3,38



Bild 1: Testperson mit Handy in einer natürlichen Sprechposition während der Messung

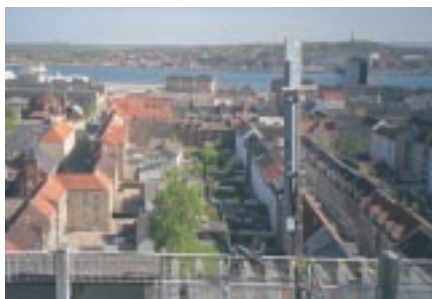


Bild 2: Foto der übertragenden Basisstation mit Blick auf die Umgebung

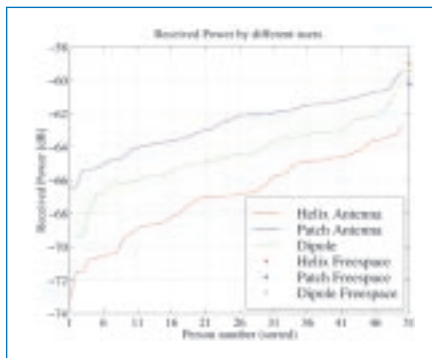


Bild 3: Vom Handy empfangene Leistung für 50 verschiedene Personen im Innenraum. Die Basisstation befindet sich etwa 700 m entfernt.



Bild 4: Die Versuchsanordnung im reflexionsarmen Raum

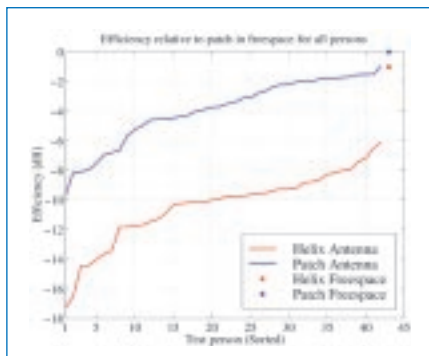


Bild 5: Vom Handy empfangene Leistung für 43 verschiedene Personen im reflexionsarmen Raum

MEG ist mit weniger als 1dB sehr gering.

5) Große Auswirkung auf den MEG hat die Händigkeit der Versuchspersonen. Der Unterschied zwischen Links- und Rechtshänder kann abhängig von der Antenne relativ groß sein. Die Abweichungen betragen 5 dB für die Patch-Antenne, 3 dB für die Helixantenne und 1 dB für die Monopolantenne.

6) Die MEG-Werte sind reproduzierbar im Bereich $\pm 0,5$ dB.

Ganzkörperabsorption

Um herauszufinden, warum die Verluste auf einer Mobilfunkverbindung sich deutlich von einem Nutzer zum anderen unterscheiden, und wie es zu diesen Verlusten überhaupt kommt, wurden weitere Untersuchungen in einem reflexionsarmen Absorberraum durchgeführt. Bei diesen Messungen wurden alle Faktoren, die in Zusammenhang mit Körperverlusten stehen, überwacht. Der rechteckige Messraum hat eine Grundfläche von 7x10 Metern und eine Höhe von 7 Metern. Alle Wände, die Decke und der Fußboden sind mit HF-Absorbem versehen. Die Reflexionsdämpfung ist bei 2 GHz größer als 40 dB.

Im Wesentlichen tragen bei der Benutzung eines Mobiltelefons vier Faktoren zu den Körperverlusten bei:

- die Absorption im menschlichen Körper,
- die Fehlanpassung der Antenne,
- Veränderungen der Strahlungscharakteristik und

- Veränderungen der Polarisationsrichtung.

Um die Bedeutung der einzelnen Faktoren erfassen zu können, wurde in dem Absorberraum ein spezieller Messaufbau eingerichtet. Wie Abbildung 4 zeigt, saß eine Testperson auf einem speziellen Gestell über einem Azimutdrehstand und hielt ein Handy, das bei 1,89 GHz sendete, in normaler Telefonierhaltung. Mit Hilfe von zwei senkrecht zueinander polarisierten Empfangsantennen, die an einem in der Elevation schwenkbaren Rahmen befestigt waren, wurde die elektrische Feldstärke auf einer Kugeloberfläche (Radius 2,1 m) um das Testhandy herum gemessen. Durch Integration über die Kugeloberfläche läßt sich daraus die insgesamt abgestrahlte Leistung berechnen. Die Körperverluste findet man dann als Differenz der in die Handy-Antenne eingespeisten und der abgestrahlte Leistung. Ein Richtkoppler, der vor die Handyantenne geschaltet war, erlaubte die Messung der eingespeisten und der durch Fehlanpassung der Antenne reflektierten Leistung.

Die „Verluste“, die durch den Nutzereinfluss auf Antennencharakteristik und Polarisation verursacht werden, lassen sich durch Vergleich der für beide Polarisationsrichtungen gemessenen Strahlungsdiagramme mit einem Bezugsfeld ermitteln, das dem Feld einer realen Umgebung mit Mehrwegeausbreitung entspricht.

Die mit dem Richtkoppler gemessene reflektierte Leistung wurde einerseits genutzt, um die Fehlanpassung und die real abgestrahlte Leistung zu ermitteln, und andererseits, um zu überwachen, ob die Testperson die Position des Handys gegenüber dem Kopf verändert. Schon die Bewegung mit einem Finger entlang der Rückseite des Telefons war als Veränderung der reflektierten Leistung zu erkennen.

Die elektrischen Felder wurden mit 43 Testpersonen jeweils für die beiden Antennentypen gemessen. Die durch Antennenfehlanpassung hervorgerufenen Leistungsverluste betragen für beide Antennentypen bei allen Testpersonen weniger

als 2 dB. Durch mehrere, wiederholte Testmessungen konnte gezeigt werden, dass die Messgenauigkeit kleiner als 1 dB war. Da die abgestrahlte Leistung von einer zur anderen Person um bis zu 10 dB schwanken kann, wurde die Genauigkeit des Messaufbaus für hinreichend betrachtet.

In Abbildung 5 ist die abgestrahlte Leistung in Abhängigkeit von den Testpersonen aufgetragen. Die Testpersonen sind nach ihren Abstrahlungsverlusten sortiert. Ganz rechts im Diagramm sind die Messungen im Freiraum (ohne Testperson) als Punkte eingetragen. Die Abstrahlungsverluste fallen bei der Helixantenne mit durchschnittlich 9,7 dB deutlich höher aus als bei der Patch-Antenne mit 3,4 dB.

Absorption durch Phantom-Hand und -Kopf

Aus den Untersuchungen im Absorberaum kann geschlossen werden, dass in erster Linie die Absorption für die Abstrahlungsverluste verantwortlich ist. Um herauszufinden, warum die Absorption so stark von der telefonierenden Person abhängt und welcher Parameter letztlich den größten Einfluss hat, wurden weitere Untersuchungen mit einem Phantommodell an Stelle der Testpersonen durchgeführt.

Besonders folgende Parameter schienen von Bedeutung für die Absorption zu sein:

- Position der Hand am Telefon,
- Abstand zwischen Kopf und Telefon,
- Neigungswinkel des Telefons,
- Kopf- und Handform,
- Körpergröße der Person,
- Hautfeuchtigkeit der Person,
- weitere Parameter wie Alter, Geschlecht, Amalgam in den Zähnen, Brille, Haarwuchs im Kopfbereich, etc.

Die Arbeiten, die die ersten 3 Parameter betreffen, sind in Literaturstelle [5] beschrieben. Die Untersuchungen wurden anhand von Messungen durchgeführt, bei denen das gleiche Versuchstelefon verwendet wurde, jedoch nun in Verbindung mit einem einfachen Kopf- und einem Handmodell. Das

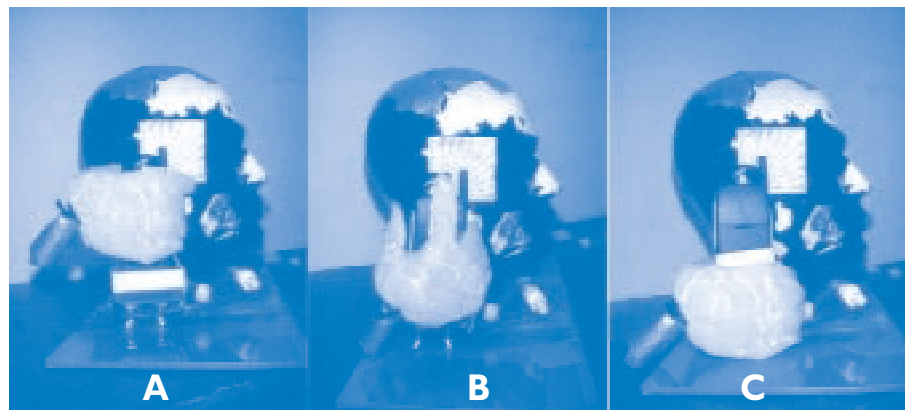


Bild 6: Bild des Phantommodells „Kopf-Hand“: A) Hand in Position „oben“, B) Hand in Position „fast oben“, C) Hand in Position „unten“

Kopfmodell bestand aus einem flüssigkeitsgefüllten, dünnwandigen Kunststoffschalenphantom. Die Flüssigkeit besaß die elektrischen Eigenschaften eines Gehirn/Muskel-Mischgewebes. Als Handmodell diente ein dünner Gummihandschuh, der mit der gleichen Flüssigkeit gefüllt war. Um die typische Form einer Hand zu erhalten, wurden die Handfläche und jeder Finger mit dünnem Klebeband umwickelt. Die Modelle sind in Abbildung 6 gezeigt.

Der Neigungswinkel, mit dem die Hand und das Telefon am Kopf fixiert wurden, hat kaum einen Einfluss auf die Gesamtverluste. Gemessene Unterschiede von (0,6 dB) liegen nahe der Messgenauigkeit.

Manche Handynutzer halten ihr Telefon in einem kleinen Abstand zum Kopf, andere hingegen pressen es fest an den Kopf. Wird das Telefon fest an den Kopf gedrückt, so verformt sich das Gewebe etwas und die Absorptionsverluste können zunehmen. Wenn ein hartes Schalenphantom verwendet wird, kann sich dieses natürlich nicht durch das angepresste Telefon verformen. Die Abstrahlungsverluste sind in Abbildung 7 als Funktion der Entfernung zwischen Kopfmodell und Telefon dargestellt. Obwohl der Abstand zwischen Kopf und Handapparat für lokale SAR-Werte (spezifische Absorptionsraten) von Bedeutung ist, hat er auf die Gesamtabsorption nur unerheblichen Einfluss.

Verschiedene Simulationsexperimente zeigen, dass die Verluste, die durch die

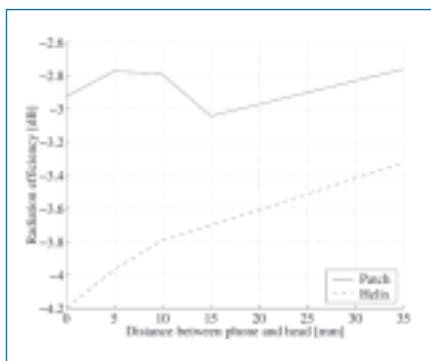


Bild 7: Kurve der Abstrahlungsverluste als Funktion der Entfernung zwischen Telefon und Kopfmodell

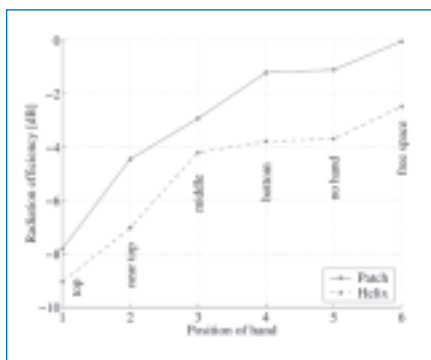


Bild 8: Abstrahlungsverluste bei verschiedenen Positionen der Hand

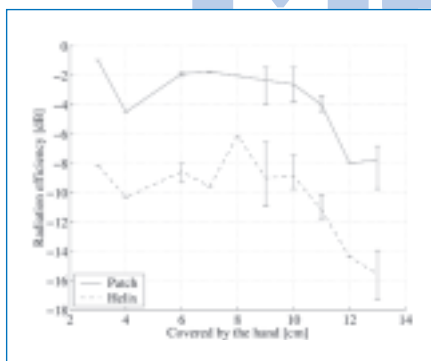


Bild 9: Abstrahlungsverluste bei verschiedenen Haltepositionen des Handys

Hand bewirkt werden, wesentlich kleiner sind als die Kopfverluste. Um zu zeigen, wie die Abstrahlungsverluste mit der Handposition zusammenhängen, wurde mit vier verschiedenen Haltepositionen der Hand gemessen (Abbildung 6). Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 dargestellt. Man erkennt, dass die Abstrahlungsverluste mit der Hand in der untersten Halteposition sich praktisch nicht von denen ohne Hand unterscheiden. Wenn jedoch die Hand das Telefon nahe am oberen Rand und somit in der Nähe der Antenne fasst, steigen die Verluste für beide Antennentypen um bis zu 8 dB an. Die Art und Weise, wie das Telefon in der Hand gehalten wird, ist also ein entscheidender Einflussfaktor für die Verluste des kombinierten Kopf-/Handmodells. Die Unterschiede von bis zu 10 dB bei den Messungen der Abstrahlungsverluste verschiedener Handynutzer erklären sich also hauptsächlich durch die Position der Hand am Telefon. Wenn die Halteposition die Absorption so wesentlich bestimmt, dann sollte es auch möglich sein, die Absorption mit der Handhaltung der Testpersonen bei den Messungen im Absorberraum in Verbindung zu bringen.

Absorption durch die Hand der Testperson

Während der eingangs beschriebenen Messungen mit Testpersonen, wurde jede Testperson mit einer Videokamera aufgenommen. Auf der Rückseite des Telefons war ein schwarz-weißes Kästchenmuster angebracht mit einer Kästchengröße von 10mm x 10 mm. Somit konnte anhand der Videoaufzeichnungen die jeweilige Halteposition ziemlich exakt festgestellt werden. Jede Person hält ein Telefon auf ihre eigene Art und Weise. Um die Untersuchungen zu vereinfachen, wurden die Haltepositionen dadurch erfasst, dass entlang der Höhe des Telefons die Strecke ermittelt wurde, die von den Fingern der Hand unbedeckt blieb.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 9 wiedergegeben. Wie man deutlich sieht, stei-

hen die Abstrahlungsverluste in Wechselwirkung mit der Halteposition des Telefons. Der Korrelationskoeffizient zwischen der Dämpfung und der Position der Hand beträgt 0,7 für die Patchantenne und 0,67 für die Helixantenne. Es ist anzumerken, dass jeweils nur eine Testperson das Telefon an den Positionen 3, 4, 8, 12 cm hielt. Alle anderen Haltepositionen wurden jeweils von mindestens 3 Personen benutzt. Die Abstrahlungsverluste bleiben weitgehend konstant, wenn die Hand das Telefon bis zur Position 10 cm bedeckt. Der kritische Bereich liegt in den oberen drei Zentimetern des Telefons. 40% der Testpersonen berührten diesen Bereich, 66% berührten die oberen vier cm des Geräts. Mit dem relativ großen Versuchstelefon (Höhe = 13 cm) verursachten nur 1/6 der Testpersonen hohe Abstrahlungsverluste. Mit modernen kleineren Handys sind jedoch für die Mehrheit der Nutzer erhöhte Abstrahlungsverluste zu erwarten, wenn keine konstruktiven Maßnahmen getroffen werden, um das zu verhindern. Bei einem 10 cm hohen Handy würde der Personenanteil, der bei den 13-cm-Testhandy mit den Fingern die oberen 4 cm berührte, bereits näher als 2 cm an die Antenne herankommen. Dies ist die Länge der meisten neuen Handies auf dem Markt.

Literatur

- (1) Pedersen, G.F., Nielsen, J.Ø., Olesen, K., Kovacz, I.Z.: „Measured variation in performance of handheld antennas for a large number of test persons“
- (2) Pedersen, G.F., Olesen, K., Larsen, S.L.: „Body-loss for handheld phones“
- (3) Taga, T.: „Analyses of mean effective gain of mobile antennas in land mobile radio environments“
- (4) Pedersen, G.F., Bach Andersen, J.: „Handset antennas for mobile communications - Integration, diversity and performance.“
- (5) Pedersen, G.F., Tartiere, M., Knudsen, M.: „Radiation efficiency of handheld phones.“
- (6) Tartiere, M.: „Three dimensional farfield radiation measurements of handheld phones“
- (7) J. Toffgård, S.N. Hornsleth and J.B. Andersen: „Effects on portable antennas of the presence of a person“
- (8) Olsson, B.; Larsson, S.: „Description of antenna test methods performed in scattered field for GSM MS“

Dr. Gert Frølund Pedersen, Center for Personkommunikation, Aalborg University, 9220 Aalborg, Denmark