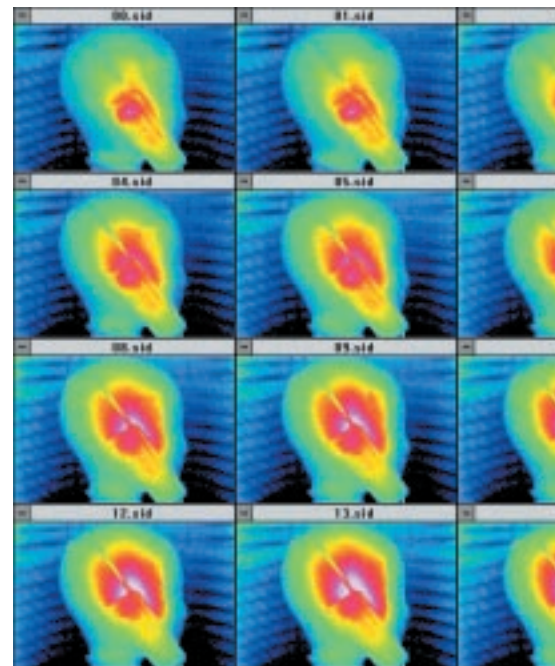


# Einsatz th

zur

Bei allen handgehaltenen oder am Körper getragenen Funkgeräten wie Handfunksprechgeräten, Reportage-sendern und Mobiltelefonen kommt es durch die körpernah betriebenen Antennen zu einer hohen Nahfeldexposition durch elektromagnetische Felder. Die stark zunehmende Nutzung von Mobiltelefonen trägt dazu bei, daß diese Felder immer häufiger im Alltag auftreten. Zur Beurteilung der biologischen Wirkung und zur Kontrolle der Einhaltung von Grenzwerten muß die im menschlichen Körper absorbierte Energie bestimmt werden. Hierfür sind sowohl numerische Verfahren als auch Verfahren zur Messung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) entwickelt worden, die einen hohen technischen Stand erreicht haben.



# Thermografischer Verfahren

## Darstellung absorbiertes HF-Energie auf Oberflächen

Bei den Mobilfunkfrequenzen erfolgt die Energieabsorption im wesentlichen in oberflächennahen Bereichen des Körpers. Deshalb untersuchten wir, inwieweit sich thermografische Verfahren, die im allgemeinen Oberflächen-Temperaturverteilungen erfassen, zur Visualisierung der HF-Energieabsorption eignen.

Im folgenden werden die Ergebnisse von Thermografiemessungen an Kopfmodellen und am lebenden Gewebe (Hautoberfläche) vorgestellt.

### Das Thermografieverfahren

Während bei den etablierten Mobilfunk-SAR-Meßverfahren mit robotergesteuerten Feldsonden die elektrische Feldstärke in Schalenphantomen gemessen wird, die mit gewebeäquivalenter Flüssigkeit gefüllt sind, liefert die Thermokamera eine Oberflächen-Temperaturverteilung. Zwar kann damit die SAR nicht direkt bestimmt werden, jedoch

lassen sich mit einiger Erfahrung Rückschlüsse auf die Größe der SAR ziehen. Da aber ein wesentlicher Teil der Energie in oberflächennahen Kopfbereichen absorbiert wird, kann die bei den SAR-Meßverfahren erforderliche Oberflächenapproximation auf Plausibilität überprüft werden. Als HF-Strahler diente bei den Untersuchungen eine Mobiltelefon-Nachbildung mit einer Stabantenne, deren elektrische Eigenschaften annähernd den bisher bei Mobiltelefonen vielfach verwendeten Stab-Antennenformen entspricht.

Die Anwendung des Verfahrens ist nicht auf bestimmte Antennenformen beschränkt. Gespeist wurde der handyähnliche HF-Strahler von einem Rohde & Schwarz-Signalgenerator SMT 03 mit nachgeschaltetem Leistungsverstärker. Das Ausgangssignal entsprach bei den Messungen am Kopfphantom dem GSM-Standard für das D-Netz (mittlere HF-Leistung 0,3 W).

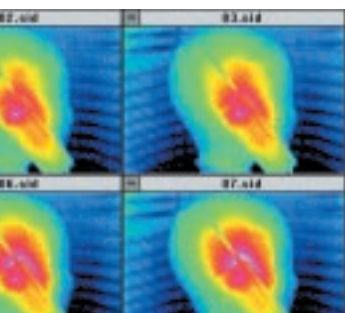


Abb. 1: Darstellung des Erwärmungsvorganges über eine Serie von 15 Einzelaufnahmen in Abständen von 20 Sekunden ( $P_{HF} = 0,3 \text{ W (rms)}$ ,  $f = 916,2 \text{ MHz}$ ,  $d = 1 \text{ cm}$ )

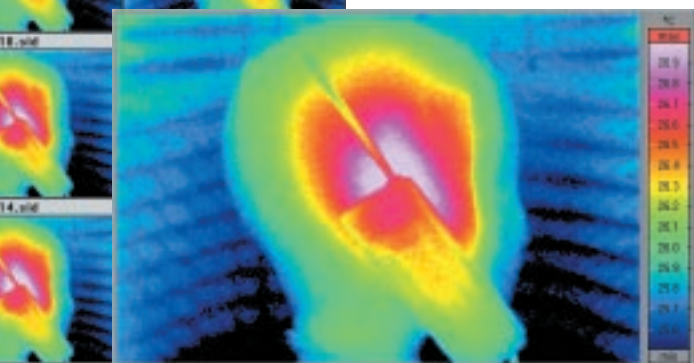


Abb. 2: Temperaturverteilung auf der Kopfmodell-Oberfläche nach 300 Sekunden ( $P_{HF} = 0,3 \text{ W (rms)}$ ,  $f = 916,2 \text{ MHz}$ ,  $d = 1 \text{ cm}$ )

### Zusammenhang zwischen spezifischer Absorptionsrate und Thermografiebildern

Die spezifische Absorptionsrate (SAR – Specific Absorption Rate) ist eine Meßgröße, die die absorbierte Leistung bezogen auf die Körpermasse (W/kg) angibt. Sämtlichen gegenwärtig existierenden Personenschutzgrenzwerten bzw. Grenzwertempfehlungen für elektromagnetische Felder im Hoch- und Höchstfrequenzbereich ( $f < 10 \text{ GHz}$ ) liegen Erkenntnisse über die thermische Wirkung zugrunde. Deshalb werden die festgelegten Werte für die SAR als Basisgrenzwerte bezeichnet.

Den Zusammenhang zwischen SAR, Gewebeparametern, Feldgrößen sowie thermischen Größen zeigen die Formeln 1 und 2:

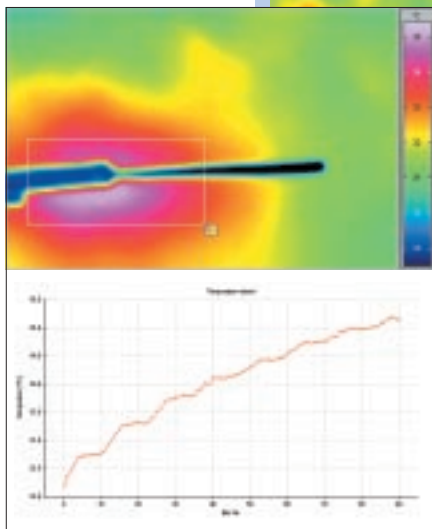
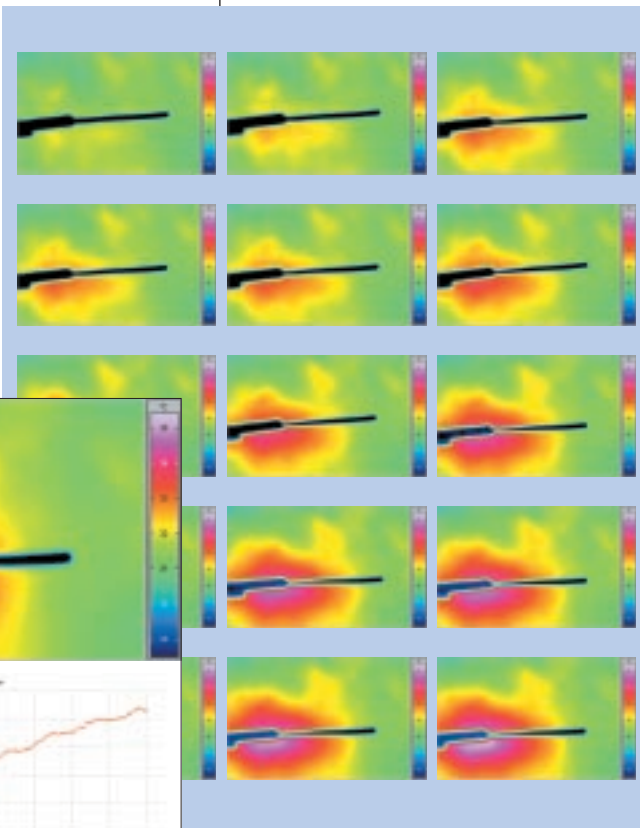
$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E_i^2 \quad (1)$$

$$SAR = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (2)$$

- mit
- SAR spezifische Absorptionsrate in W/kg,
  - $\sigma$  elektrische Gewebeleitfähigkeit in S/m,
  - $\rho$  Gewebe-Dichte in  $\text{kg/m}^3$
  - $E_i$  Effektivwert der elektrischen Feldstärke im Gewebe in V/m
  - c spezifische Wärmekonstante des Gewebes in  $\text{J/kg} \times \text{K}$
  - T Temperaturanstieg im Erwärmungszeitintervall t in K
  - t Erwärmungszeitintervall in s

Bei Untersuchungen mit Absorber- oder Phantom-Materialien sind deren Materialparameter einzusetzen. Die Thermokamera liefert eine Oberflächen-Temperaturverteilung basierend auf der Formel 2.

Bei den Mobilfunkfrequenzen erfolgt die Energieabsorption im wesentlichen in oberflächennahen Bereichen des Körpers.



Bei den Messungen am lebenden Gewebe wurde eine mittlere Leistung von 2 W bzw. 5 W gewählt. Bei den Untersuchungen wurde ein Kopfmodell aus Schaumpolystyrol verwendet, das im Bereich der Position des Mobiltelefons mit einer ca. 1 mm dicken Absorberschicht, die der menschlichen Haut nachgebildete elektrische Eigenschaften und einen hohen HF-Absorptionsgrad aufweist, überzogen war.

Zur Messung der Oberflächen-Temperaturverteilung auf der menschlichen Haut wurde die Sendeeinrichtung auf dem Rücken eines Probanden so befestigt, daß sich ein Antennenabstand von 1 cm zur Haut ergab. Dabei wurde die Antenne ( $\lambda/2$ -Sperrtopfantenne) ein Stück aus dem Gehäuse herausgezogen, um die Temperaturverteilung im Bereich des Antennenfußpunktes besser darstellen zu können. Als Thermografiesystem wurde ein System VARIOS-CAN 3011 mit einem Spektralbereich von 8...12  $\mu\text{m}$  der Fa. Jenoptik L.O.S. eingesetzt. Die Untersuchungen fanden in einem temperaturstabilen Raum statt.

Abb. 3: Entwicklung der Temperaturverteilung auf der menschlichen Haut während einer 15minütigen Exposition mit  $P_{\text{HF}} = 5 \text{ W (rms)}$ , Antennenabstand  $d = 1 \text{ cm}$

Abb. 4: Schlußbild der Aufnahmeserie mit Diagramm des Temperaturanstieges gemessen im heißesten Punkt

In allen Abbildungen ist deutlich zu sehen, daß die maximale Energieabsorption bei einer Stabantennenform im Bereich des Antennenfußpunktes erfolgt (Antennenstrommaximum), d. h. daß das magnetische Feld der Antenne im wesentlichen den Energieeintrag bestimmt. Die Oberflächen-Temperaturverteilung stimmt mit Oberflächen-SAR-Berechnungen und -Messungen analoger Antennenformen überein. Erstveröffentlichung in: EMC Kompendium 1998, S. 298-300.

## Zusammenfassung und Ergebnisse

Der Einfluß körpfernah betriebener Antennen kann mittels Thermografie schnell und anschaulich dargestellt und z. B. auch zur Optimierung von Antennen genutzt werden. Wie die Ergebnisse am Kopfmodell zeigen, sind Thermografieverfahren unter entsprechenden Voraussetzungen auch im Bereich kleiner HF-Leistungen einsetzbar. Die Thermografie ergänzt etablierte SAR-Meßverfahren, die aufgrund der endlichen Dicke der Schale der Phantommodelle, der nicht beliebig verkleinerbaren E-Feldsonden und der Messung im Inneren des Modells keine direkte Bestimmung der Oberflächenabsorption ermöglichen. Die Anwendung von Thermografiesystemen in Verbindung mit Hochfrequenz-Absorbermaterialien läßt sich auf viele Bereiche der Hoch- und Höchstfrequenztechnik ausdehnen, um gewollte oder nicht gewollte Energieabsorptionen zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zu veranlassen.

Autoren: Dipl.-Ing. Sigurd Goltz, Dr.-Ing. Siegfried Eggert, Berlin