

Expositionsminimierung im Mobilfunk

Dr. Heinrich Eder

Bay. Landesamt für Umwelt

- **Mobilfunknetze**
- **Wirkung auf Gewebe**
- **Grenzwerte**
- **SAR-Werte**
- **Telefonieren mit geringer SAR**
- **Optimale Zellgrößen**
- **Ausblick**





MOBILFUNKNETZE



Frequenz	Leistung Endgerät (Mittelwert/Spitzenwert)	Übertragungsart
----------	---	-----------------

D-Netz	um 900 MHz	0,25 / 2 W	FDD-TDMA
E-Netz	um 1.850 MHz	0,125 / 1 W	FDD-TDMA
UMTS	1.970–2.200 MHz	0,25 W	FDD-CDMA

FDD: Frequency Division Multiplex

TDMA: Time Division Multiple Access

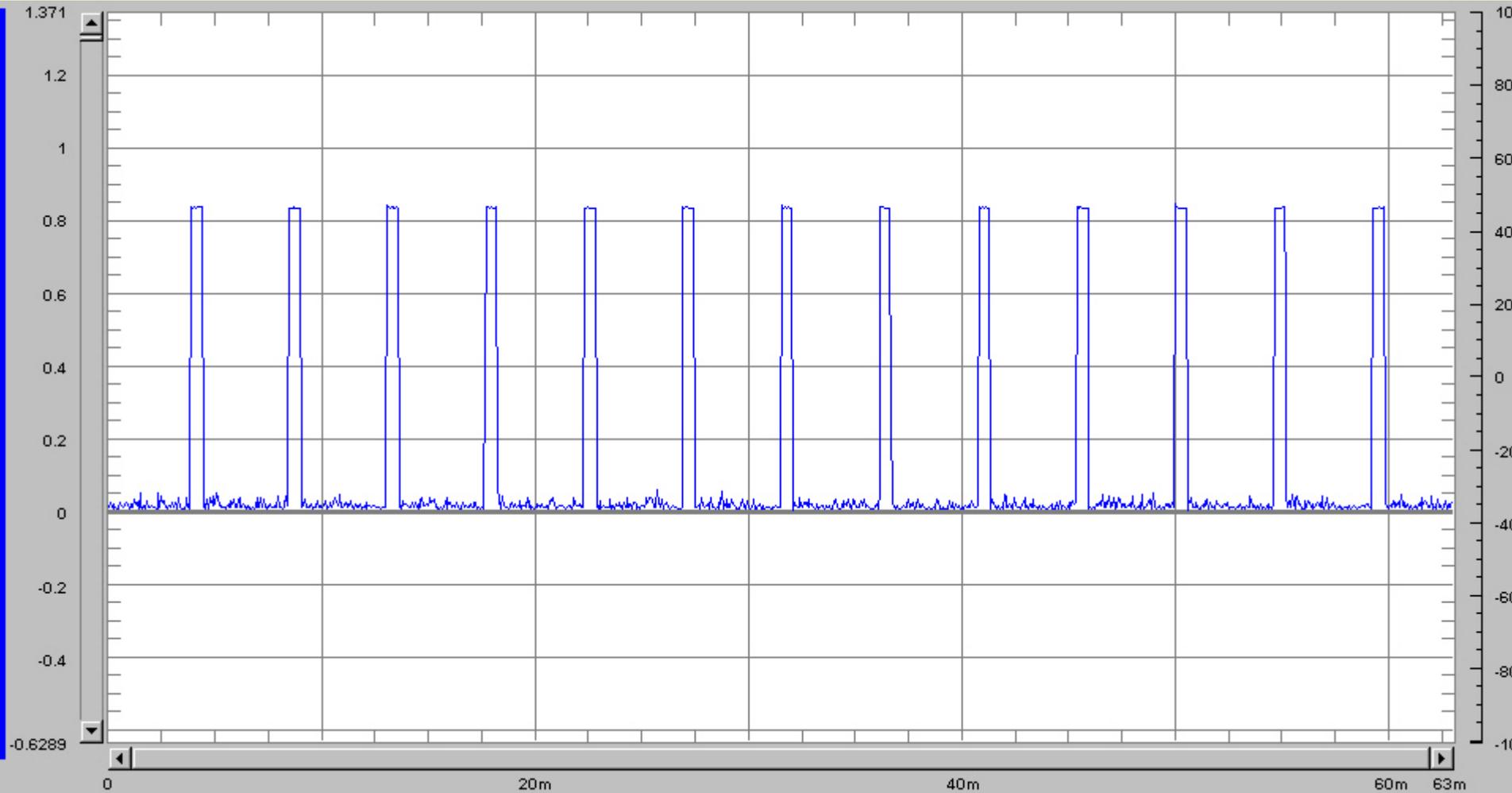
CDMA: Code Division Multiple Access



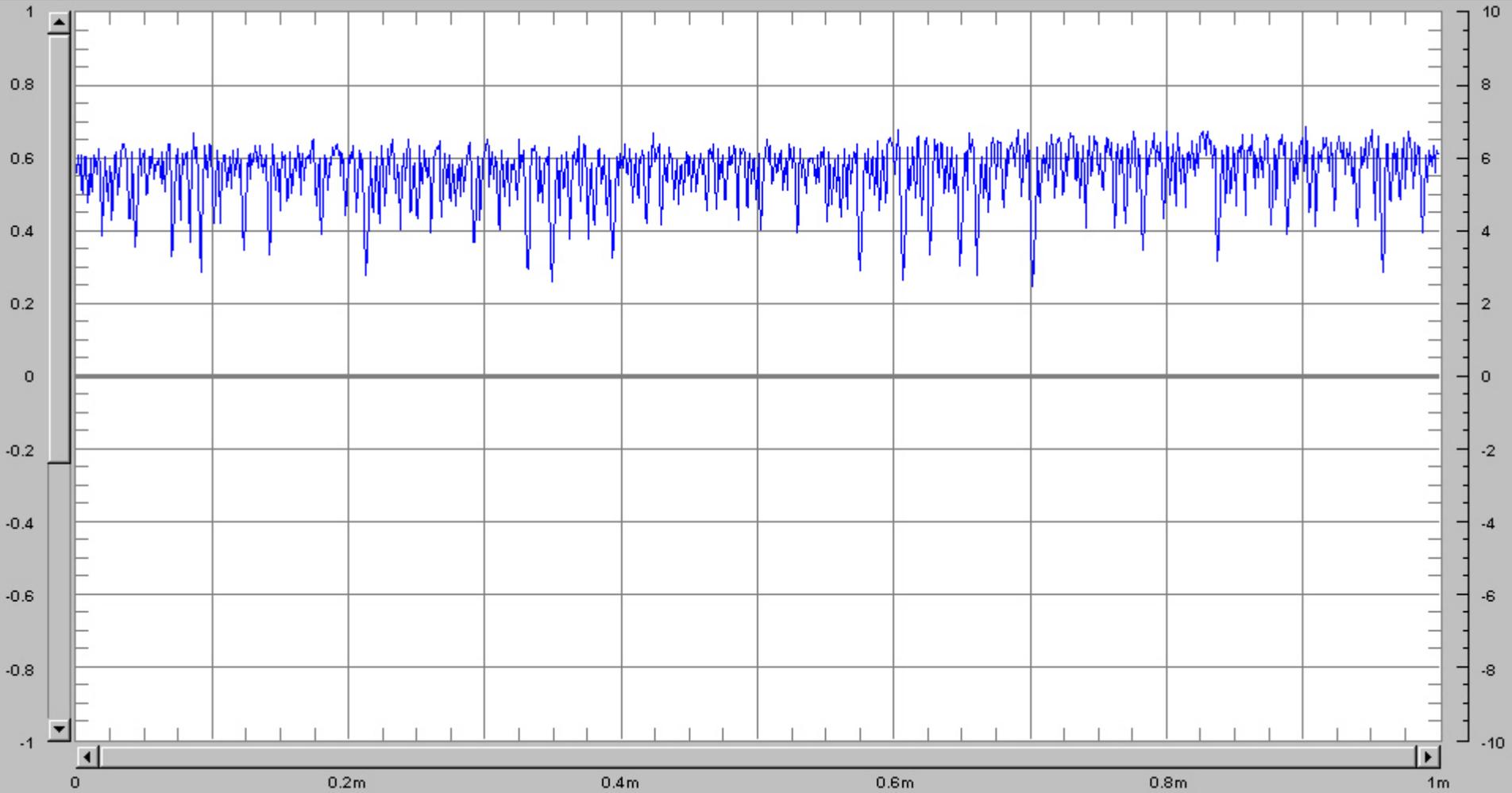
Signal GSM-Mobiltelefon (D,E-Netz)

Pulsdauer 0,577 ms

Rahmenlänge: $8 \times 0,577 = 4,6$ ms



Signal UMTS-Mobiltelefon



DATENFUNKNETZE

Standard	Spitzenleistung/ Mittl. Leistung	Impulslänge ms	Frequenz	Modulationsart Übertragungsart
DECT	250mW/10mW	0,083 ms beacon 0,368 ms Gespräch	1880- 1900 MHz	GFSK/ TDMA
CT1+(analog) bis Ende 2008 zugelassen	10 mW		885-887 MHz 930-932 MHz	
WLAN IEEE 802.11b	100 mW	<0,5 ms beacon	2400 – 2483 MHz	DQPSK 16QAM
WLAN IEEE 802.11a	30 mW (200 mW geregelt)	<0,5 ms beacon	5150-5350 MHz	OFDM
WIMAX IEEE 802.16	3,1 Watt (Europa)		2500 MHz 3500 MHz 5800 MHz	OFDM/TDMA
Bluetooth	100 / 2,5 / 1 mW	0,366 ms	2402-2480 MHz	Frequ.hopping 1600/s

GRENZWERTE FÜR HOCHFREQUENZ IN DEUTSCHLAND (Ersatzfeldstärken)

BEISPIELE



Mobilfunk D- Netz (900 MHz) 41 V/m 4,5 W/m²

Mobilfunk E-Netz (1.800 MHz) 60 V/m 9 W/m²



Mobilfunk UMTS-Netz (2000 MHz) 61 V/m 10 W/m²



Mikrowelle, WLAN (2.450 MHz) 61 V/m 10 W/m²

**Die Werte entsprechen internationalen
Empfehlungen sowie der Ratsempfehlung der EU von 1999**

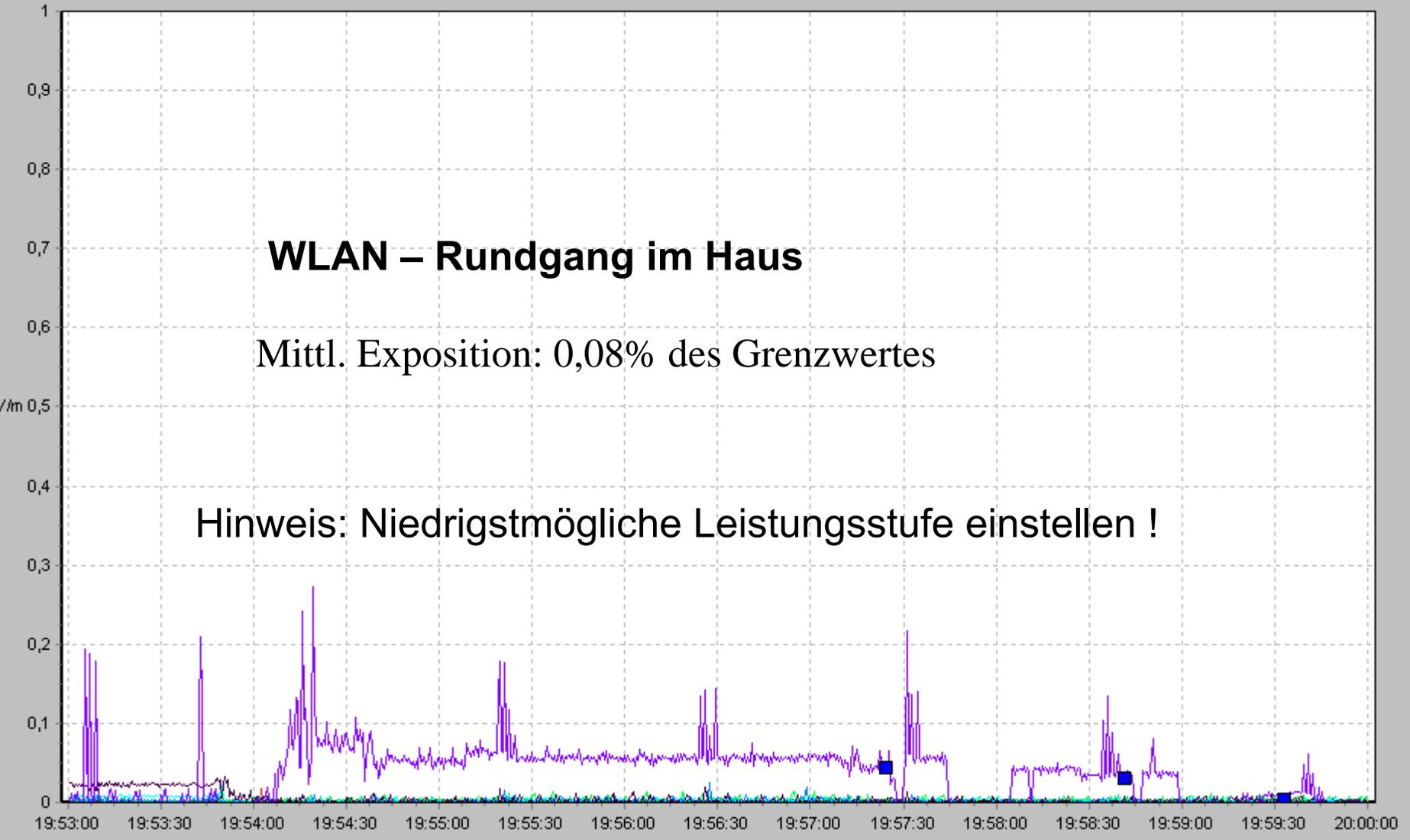


Messung vom 13.02.2007
Identcode: 100121302071953

WLAN – Rundgang im Haus

Mittl. Exposition: 0,08% des Grenzwertes

Hinweis: Niedrigstmögliche Leistungsstufe einstellen !



WLAN-Immissionen am Notebook Arbeitsplatz

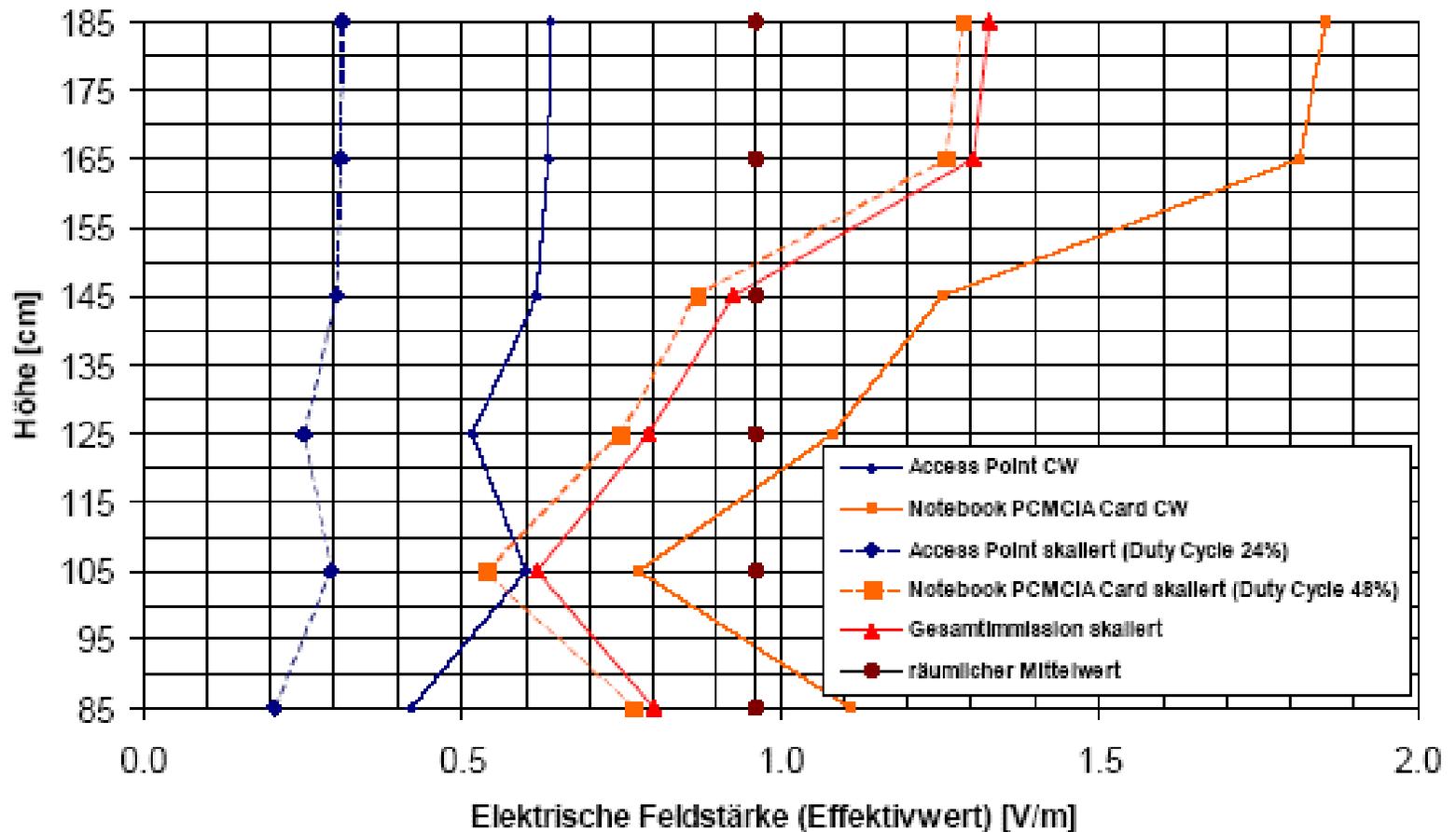
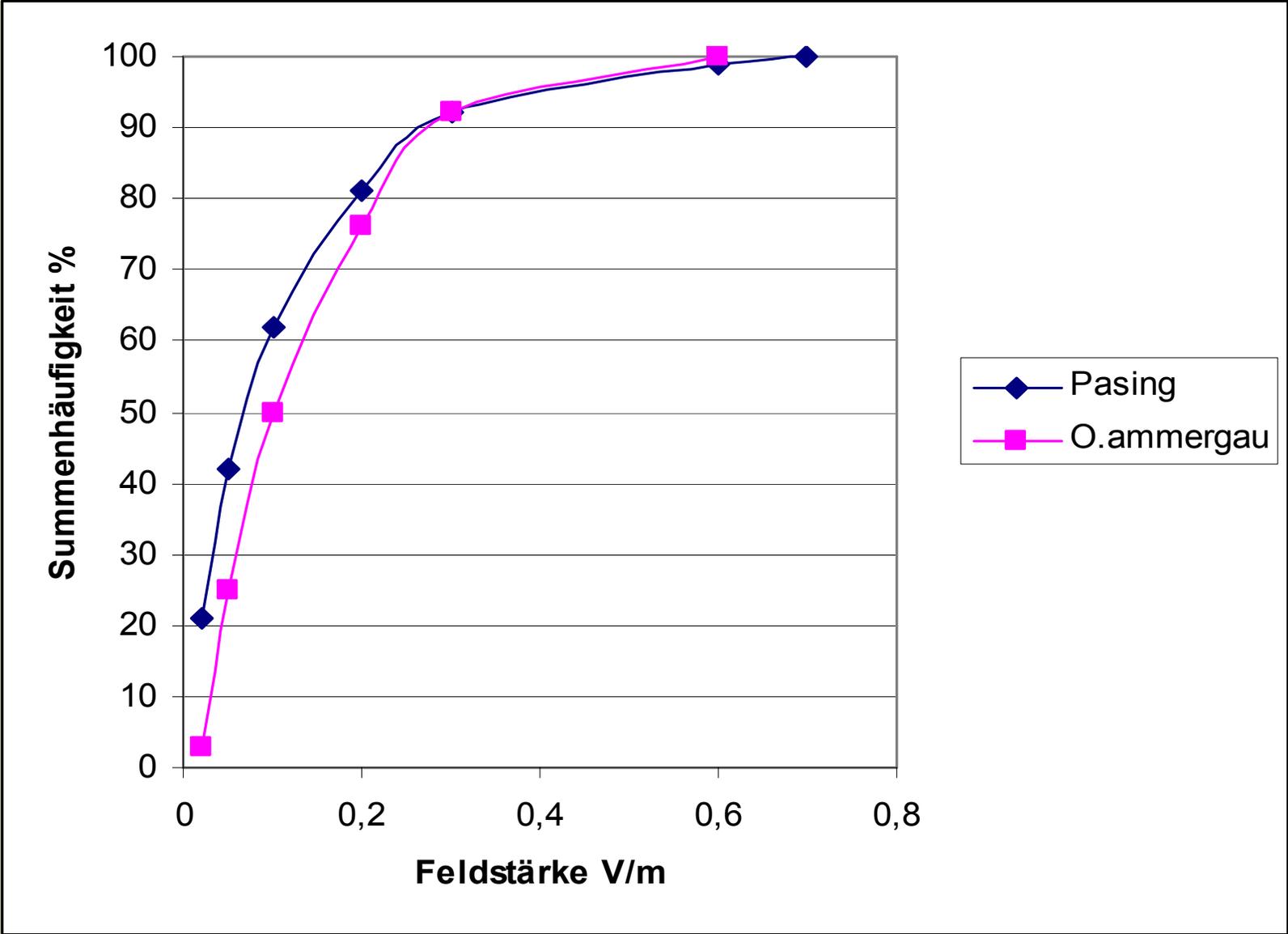


Abbildung 2.6: Immissionen (elektrische Feldstärke) im Raumbereich am Arbeitsplatz vor dem Notebook.

Mittl. Exposition: 1,6% des Grenzwertes



Dielektrische Eigenschaften biologischer Gewebe

Dipole: Wasser, bestimmte organische Moleküle

verlustbehaftete Dipole $\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$

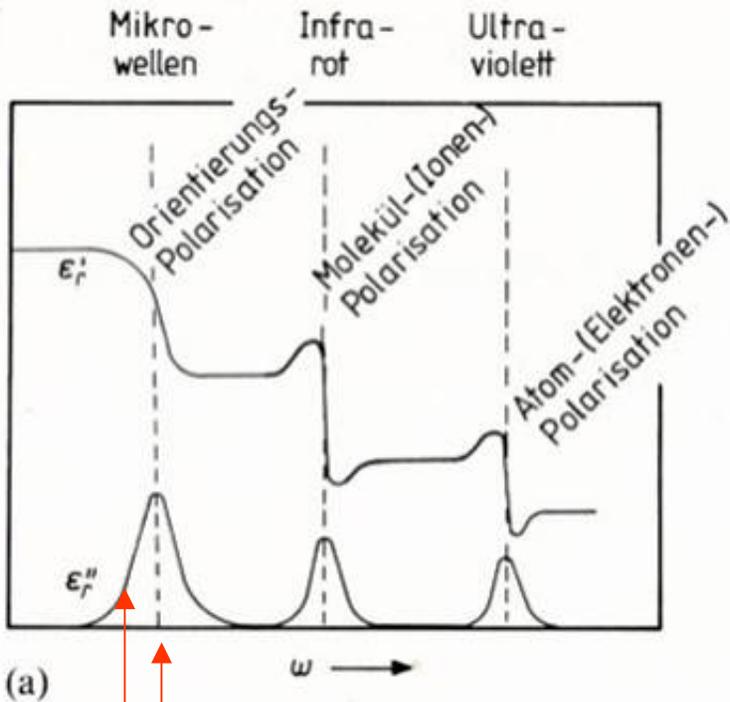
Leitfähigkeit $\sigma = \sigma_c + \omega \epsilon_0 \epsilon''$

Leistungsumsatz im Gewebe $dP/dV = (\sigma_c + \omega \epsilon_0 \epsilon'') E^2$

Spezifische Absorptions Rate :

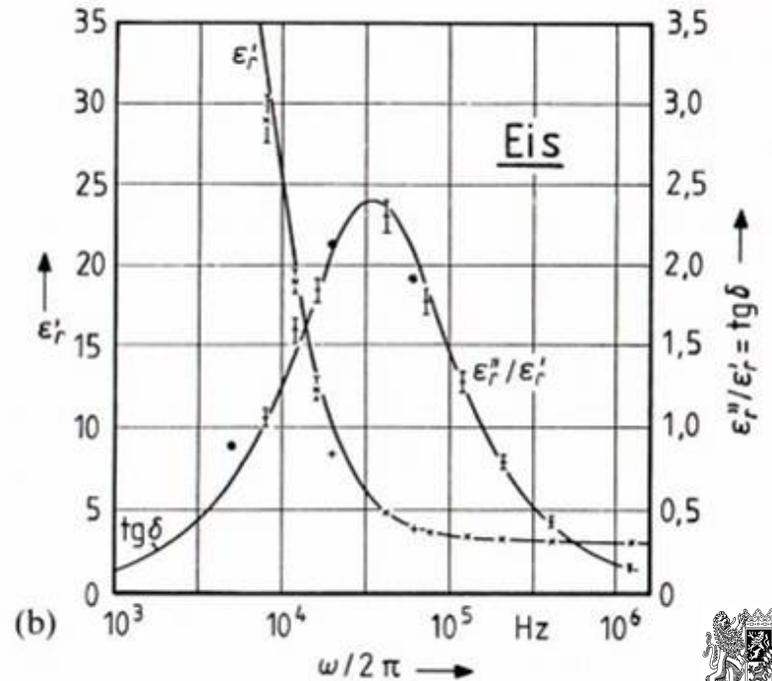
$$SAR = dP/dm = dP / (dV \rho) = \sigma E^2 / \rho$$





H₂O: 20 GHz

Mobilfunk



Vergleich thermische Energie – Bindungsenergie - Quantenenergie

Quantenenergie Mobilfunk 1 GHz **$4,1 \cdot 10^{-6}$ eV**

Bindungsenergie Wasserstoffbrückenbindung **10^{-1} eV**

mittlere kinetische Energie pro Molekül (300 Kelvin)
 $3,8 \cdot 10^{-2}$ eV

ΔE Rotationsenergie Moleküle **$5 \cdot 10^{-4}$ eV**



Berechnungsbeispiel Eindringtiefe (1)

Näherungsformel für die Eindringtiefe:

$$\delta = 1 / 2\alpha \approx \lambda_0 \sqrt{\epsilon'} / 2\pi \epsilon'' \quad (\text{cm})$$

Nach der Eindringtiefe δ ist $P/P_0 = 1/e = 0,37$

2 Eindringtiefen $1/e^2 = 0,14$

3 Eindringtiefen $1/e^3 = 0,05$



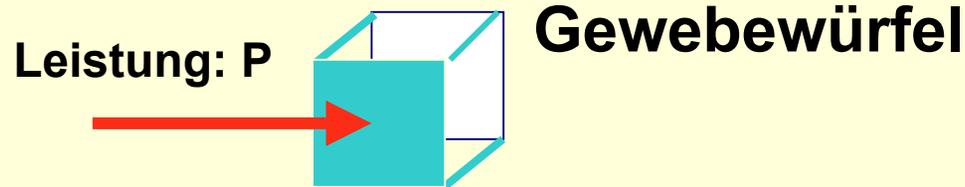
Berechnungsbeispiel Eindringtiefe (2)

Beispiel : Eindringtiefe in Hirngewebe (Abfall SAR auf $1/e = 37\%$)

Netz	Frequenz	λ_0	ε'	ε''	Eindringtiefe
D-Netz	900 MHz	33 cm	46	15	2,3 cm
E-Netz DECT	1800 MHz	17 cm	41	21	0,82 cm
UMTS	2000 MHz	15 cm	39	23	0,65 cm
Bluetooth WLAN	2450 MHz	12 cm			0,5 cm



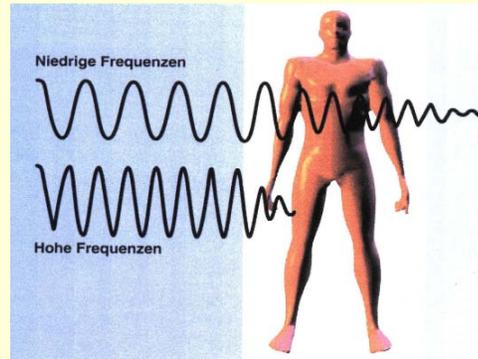
Basisgrenzwerte: Definition des SAR-Wertes



Mittelungsmasse Teilkörperexposition: $m = 10 \text{ g}$

$$\text{SAR [W/kg]} = \frac{\text{im Gewebe absorbierte Leistung [W]}}{\text{Masse des Gewebes [kg]}}$$

KÖRPERBEZOGENE GRENZWERTE (BASISGRENZWERTE)



bei Bestrahlung des ganzen Körpers:

0,08 Watt/kg

für ein Teilkörpervolumen von 0,01 kg (z. B. Innenohr):

2 Watt /kg

Gesundheitliche Beeinträchtigungen können auftreten ab:

Ganzkörpererwärmung von $\Delta T \approx 1,0 \text{ C}$ \cong **4 W/kg**

Vergleich: Grundumsatz des Menschen \cong **1 W/kg**

Vergleich Basisstation – Handy hinsichtlich Energieeintrag im Kopf

Absorbierte Gesamtenergie (J/kg) = SAR (W/kg) * Einwirkzeit (s)

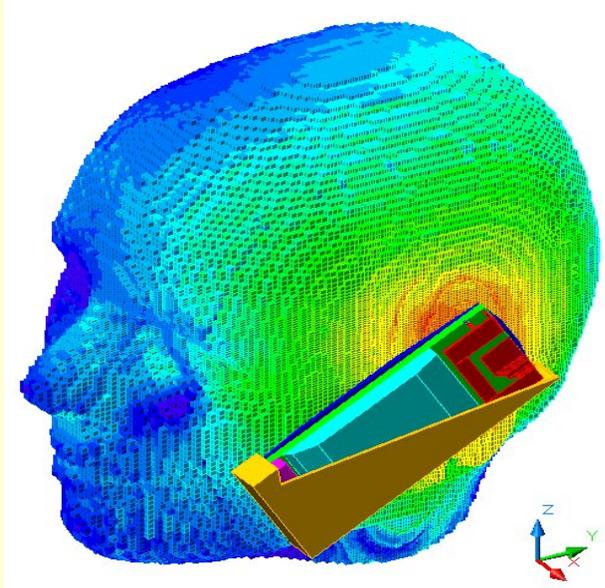
20 Watt **Basisstation**, Entfernung 100 m, Dauerstrahlung 24 h/Tag
 $10^{-5} \text{ W/kg} * 24 * 3600 \text{ s} = 0,86 \text{ J/kg}$

2 Watt **Handy** am Ohr, Einwirkzeit 45 min/Tag
 $0,3 \text{ W/kg} * 45 * 60 \text{ s} = 0,81 * 10^3 \text{ J/kg}$

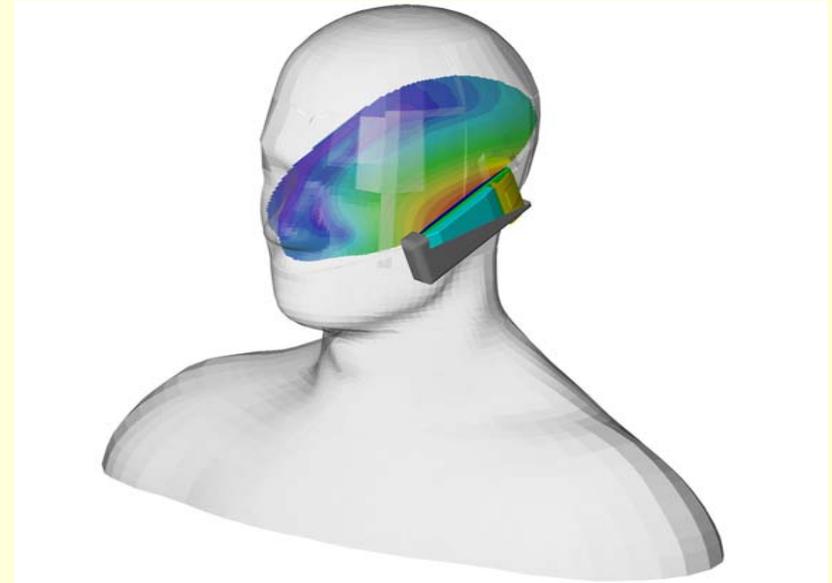
Faktor Handy / Basisstation: $0,81 * 10^3 / 0,86 * 10^2 \approx \mathbf{1000}$



SAR-VERTEILUNG BEI VERWENDUNG EINES HANDYS



auf der Oberfläche eines Modells des menschlichen Kopfes



innerhalb eines SAM-Phantoms
(specific antropomorphich mannequin)

**Handys müssen eine SAR von 2 W/kg einhalten,
die Temperaturerhöhung im Gewebe liegt dann unter 0,2 Grad !**

Bildquelle: IMST, Dr. Achim Bahr (2001)

Anregung: Generisches Mobilfunkgerät am linken Ohr,
 $f = 900 \text{ MHz}$, $P = 100 \text{ mW}$

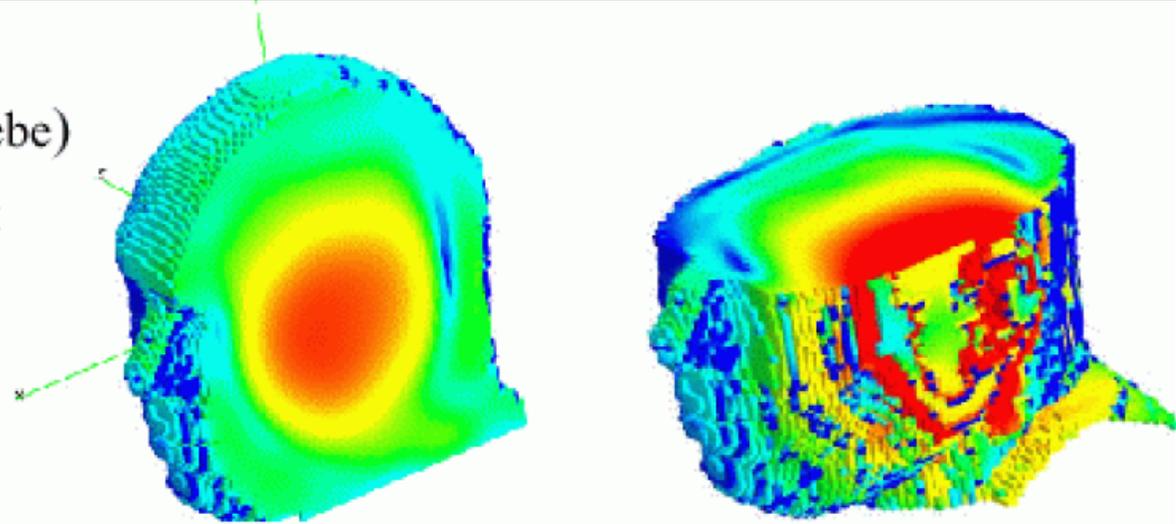
Homogenes Kopf- Modell (Ersatzgewebe)

Absorbierte Leistung:

69.8 mW

Peak-SAR (10g):

306.6 mW/kg



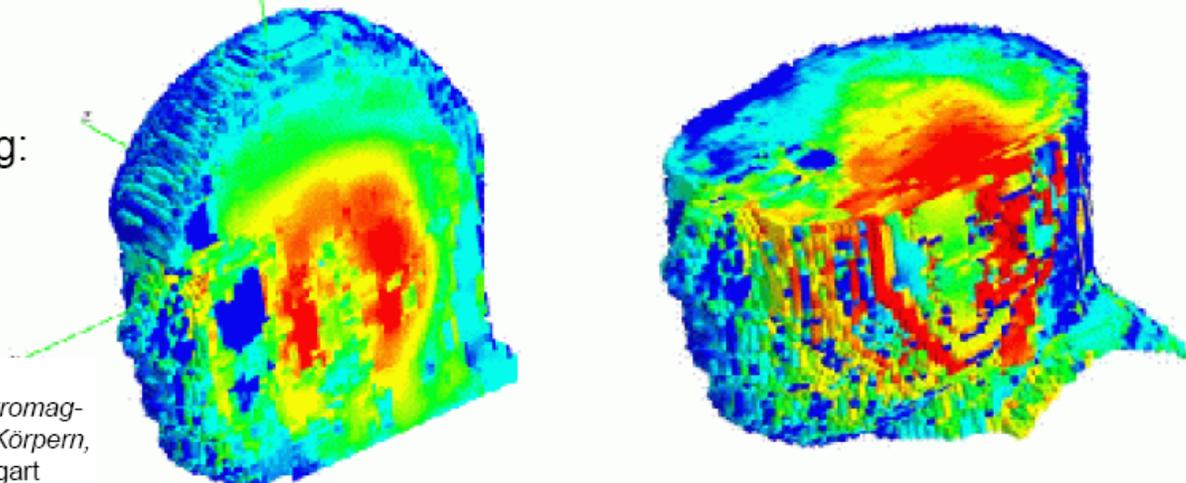
Inhomogenes Kopfmodell

Absorbierte Leistung:

67.6 mW

Peak-SAR (10g):

293.2 mW/kg



Quelle:

U. Jakobus: *Wechselwirkung elektromagnetischer Felder mit biologischen Körpern*, Antrittsvorlesung, Universität Stuttgart

Beispiel: Erwärmung des Auges

Nicht durchbluteter Glaskörper, eingebettet in gut durchblutetes Gewebe:
→ Transport nur durch Wärmeleitung!

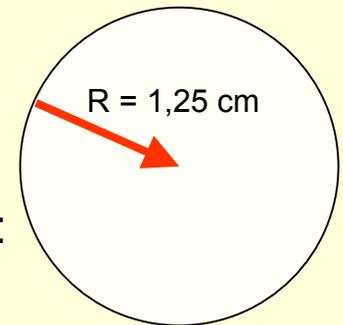
Radius $R = 1,25 \text{ cm} = 0,0125 \text{ m}$

Oberfläche $A = 4\pi R^2$

Dichte $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Wärmeleitfähigkeit Linse: $\lambda = 0,4 \text{ W/Km}$

Wärmefluss über eine Länge der Größe R (Gleichgewicht):



$$Q / (A t) = \lambda \Delta T / R$$

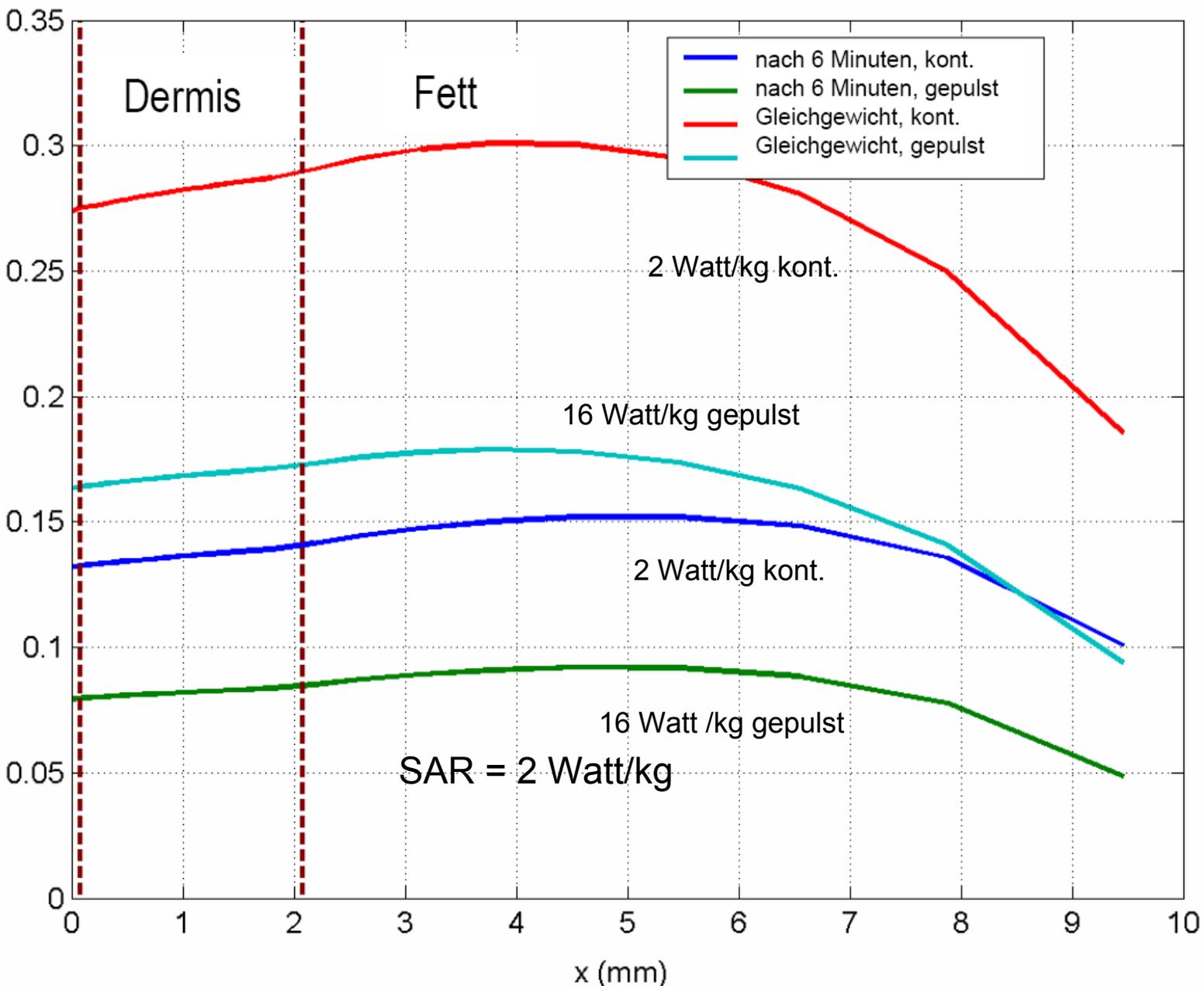
$$Q/t = SAR \rho V = SAR \rho (4/3) \pi R^3$$

$$\Delta T = SAR \rho R^2 / 3\lambda = 0,13 SAR$$

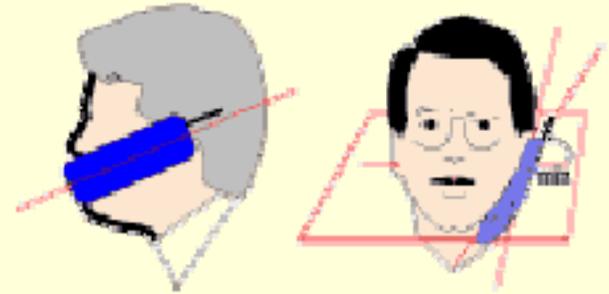
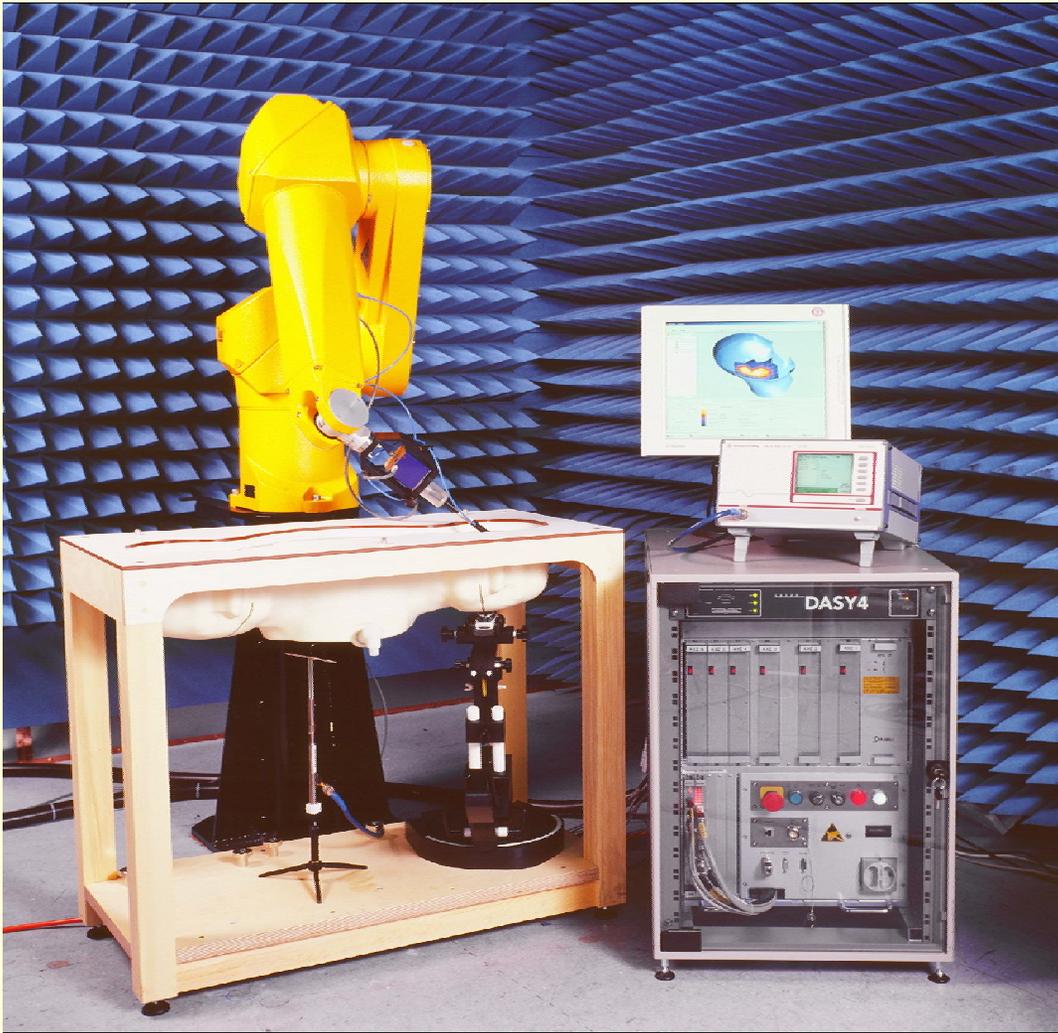
$$SAR = 2 \text{ W/kg: } \Delta T = \mathbf{0,26 \text{ K}}$$

Gefahr bei $\Delta T = 3 - 4 \text{ K}$ → Sicherheitsfaktor > 15

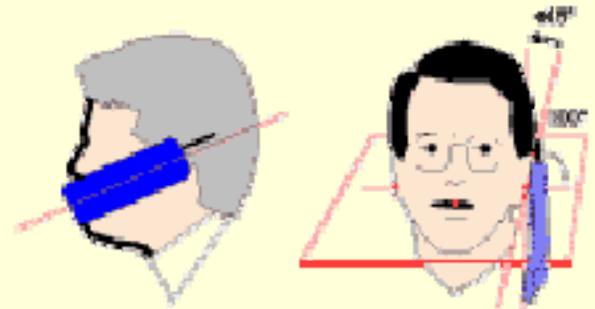




SAR-Messung nach DIN EN 50361



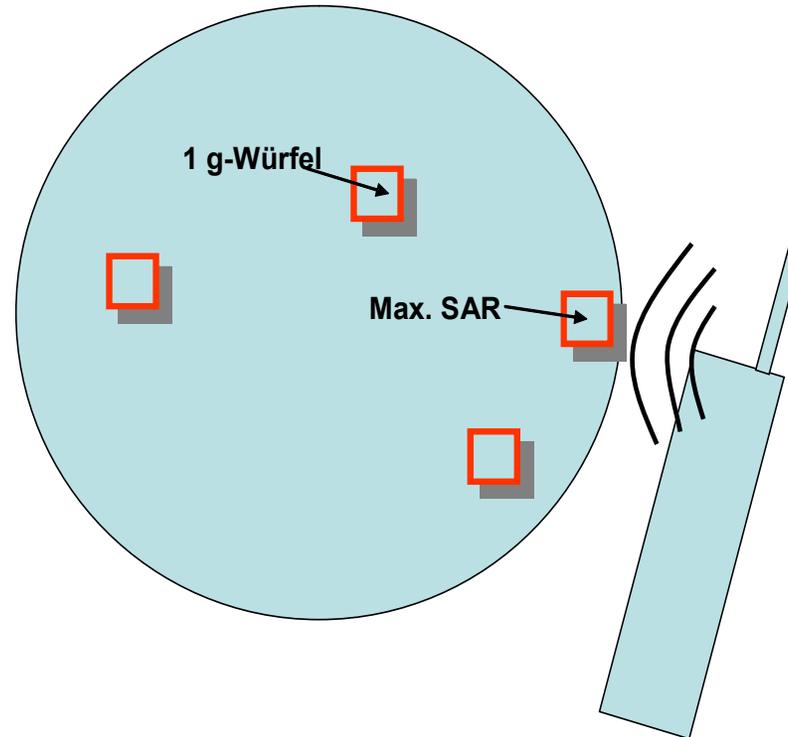
1.



3.



SAR-Messung Mobiltelefon



Typ. SAR-Werte

Telefon	modell	900 MHz		1800 MHz	
		SAR (W/kg)	placering	SAR (W/kg)	placering
Alcatel	One touch club db	0,71	vä 1	0,39	vä 3
Ericsson	A1018s	0,56	vä 1	0,76	hö 3
Ericsson	A2618s	0,54	hö 1	0,52	hö 3
Ericsson	R310s	0,69	vä 1	0,42	Vä 3
Ericsson	T20s	0,84	hö 1	0,57	hö 3
Ericsson	T28s	0,66	hö 4	1,7	hö 3
Motorola	T2288 EGSM	0,49	vä 1	0,42	vä 3
Motorola	Timeport L-ser	0,59	vä 1	0,75	hö 2
Motorola	V.3688	0,93	vä 1	0,41	vä 1
NEC	DB4100	0,81	vä 1	0,89	vä 3
Nokia	3210	0,63	vä 1	0,25	hö 4
Nokia	3310	0,67	vä 1	0,34	hö 4
Nokia	5110	0,63	vä 1	-	-
Nokia	6210	0,72	hö 1	0,47	hö 4
Panasonic	EB-GD92	0,59	vä 1	0,17	hö 3
Philips	Savvy	0,55	vä 1	0,33	vä 2
Samsung	SGH-A100	0,69	hö 1	0,43	hö 1
Siemens	M35i	0,79	vä 1	0,25	vä 1
Siemens	S25	0,71	vä 2	0,91	hö 2
Sony	CMD-Z5	0,84	vä 2	0,85	vä 3
Ericsson	Cordl. phone DECT	-	-	0,094	hö 3
Samsung	SP-R5200 DECT	-	-	0,013	vä 2

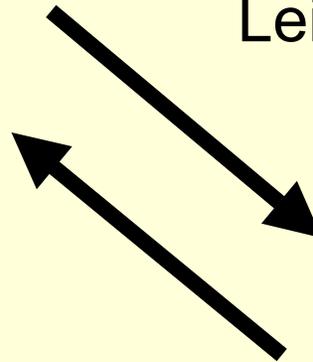
Neu. Body-worn-SAR-Werte



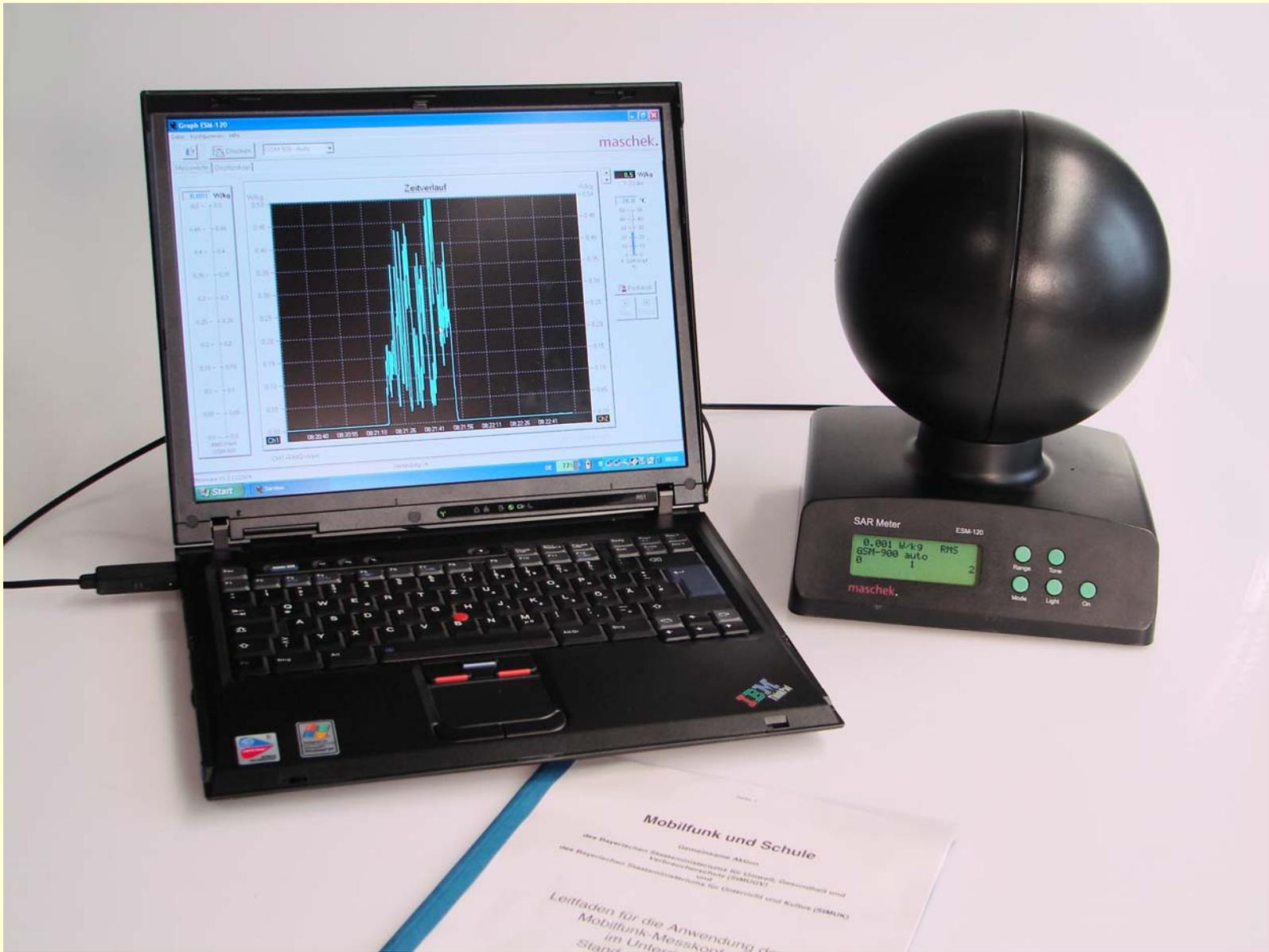


Dynamik Basisstation 20 dB

dynamische
Leistungsregelung



Dynamik GSM-Handy 30 dB
UMTS-Handy 80 dB

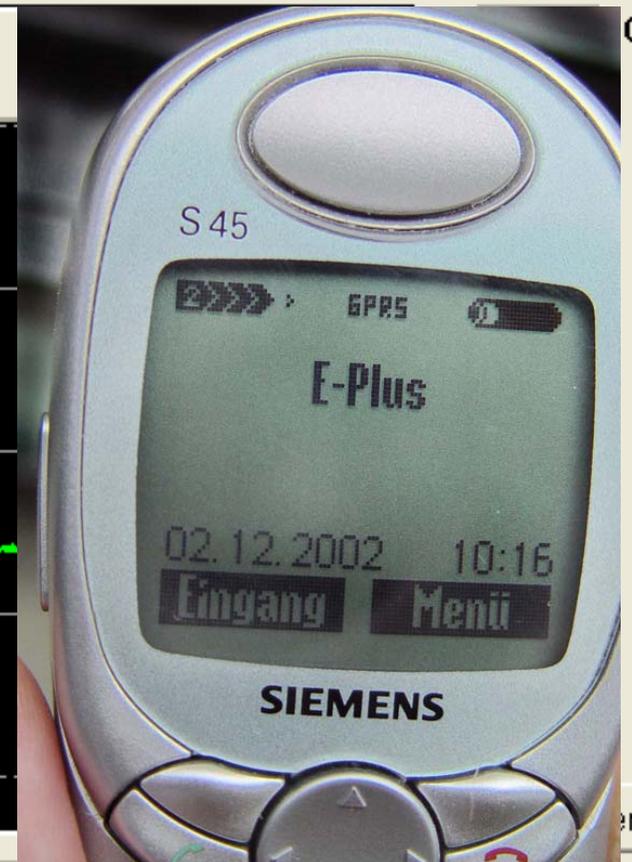
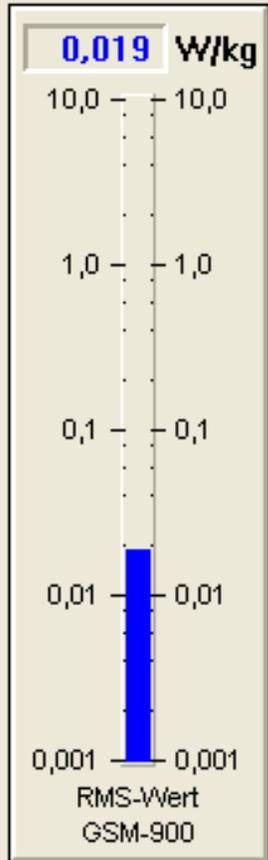


Zeitverlauf der SAR beim Telefonieren

Messwerte

Verbindungsaufbau am Fenster 3.Stock - Bewegung vom Fenster weg

D1 Netz



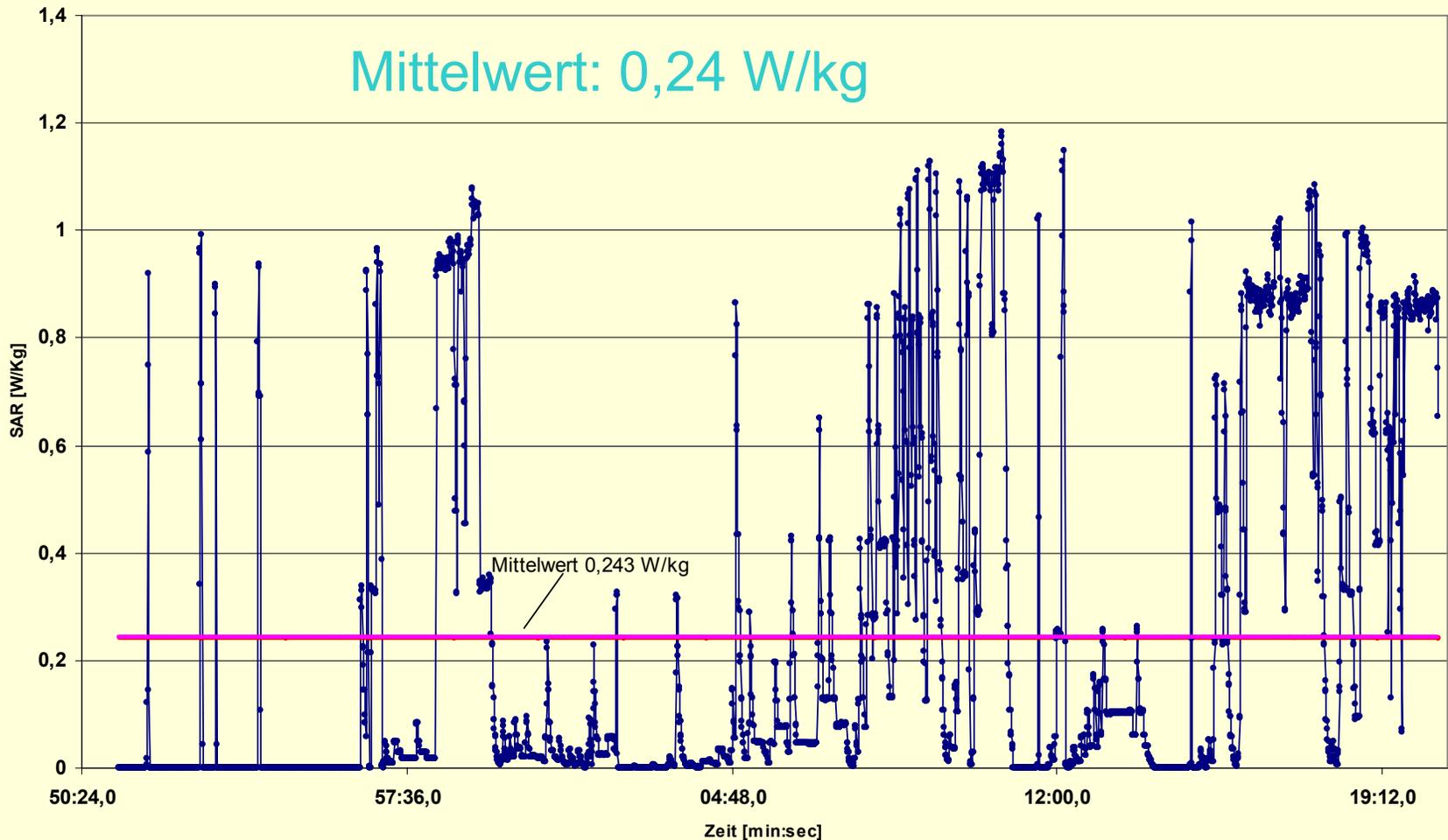
CH1=RMS-Wert

CH2=Spitzenwert



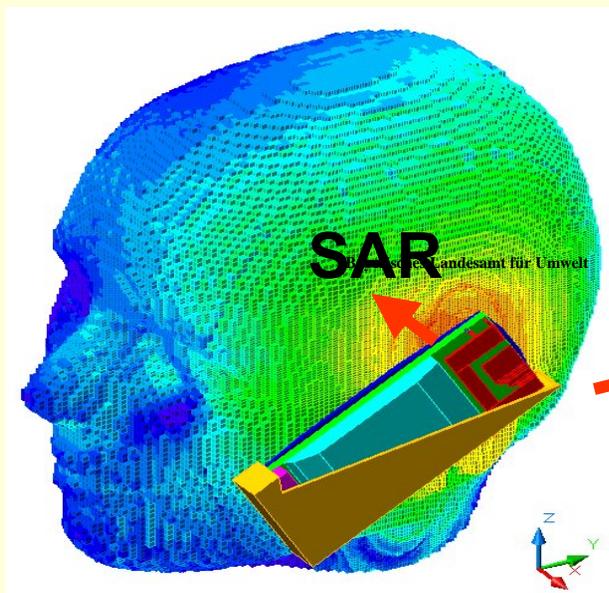
SAR bei einer Stadtfahrt durch München (Dauertelefonat)

SAR-Verlauf bei einer Stadtfahrt in München (PKW) T-D1-Netz

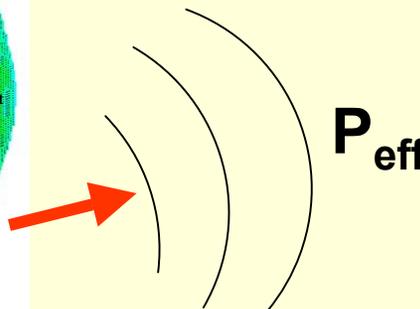


Der Strahlungsfaktor von Handys

Der Strahlungsfaktor ist das Verhältnis aus der im Kopf absorbierten Leistung (SAR) und der frei in Luft abgestrahlten Leistung P_{eff}

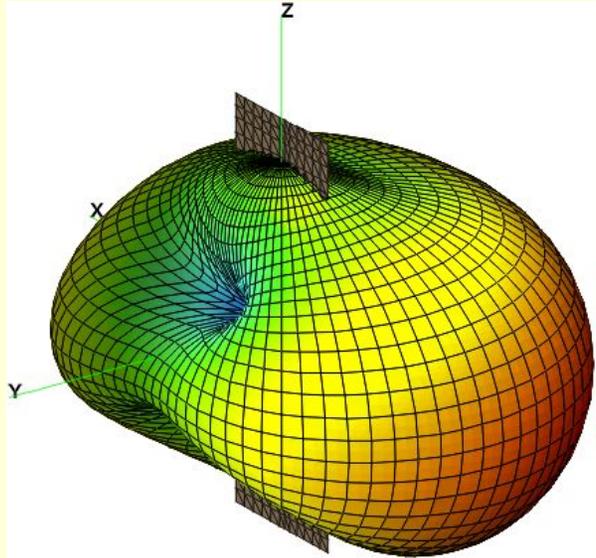


$$S = \text{SAR} / P_{\text{eff}}$$

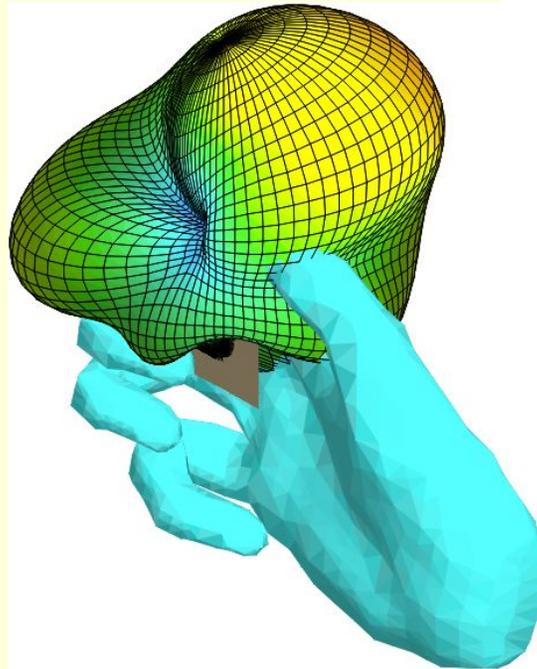


Ein möglichst kleiner Strahlungsfaktor (<5) ist günstig, s. www.HandyWerte.de

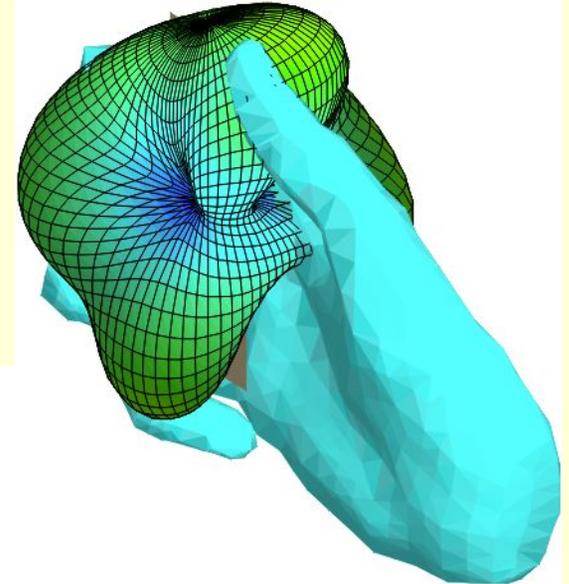
Parametrisches Handmodell mit 1800 MHz Mobiltelefon



Abstrahlung der
1800 MHz PIFA
Antenne ohne Hand



mit Hand, freistehend



mit Hand, verdeckt

Quelle: FEKO



MÖGLICHKEITEN DER SAR-REDUKTION

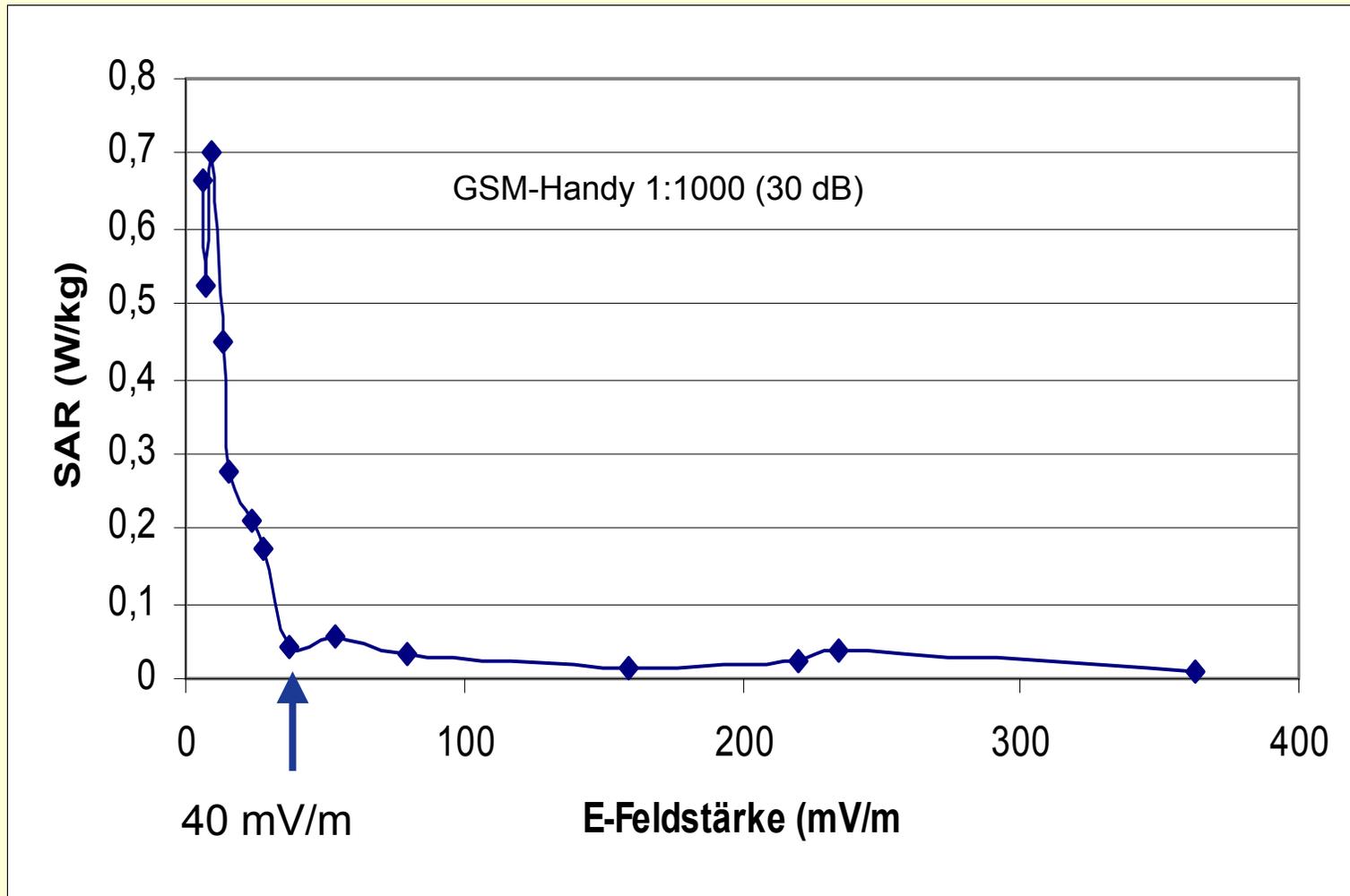
- | | |
|--|--|
| Auswahl Neugerät (z. B. SAR-Wert, Strahlungsfaktor) | Reduktion um bis zu ca. 50% |
| Verwendung Headset | weitere Reduktion um bis zu ca. 90% |
| Günstiger Standort, Netzqualität | weitere Reduktion um bis zu ca. 95% |



**FAZIT: Augen auf beim Kauf und bei Nutzung von Handys.
Angabe des SAR-Wertes/Strahlungsfaktors z. B. unter
www.handywerte.de**



Netzqualität – SAR beim Telefonieren



Maximale Zellengröße für niedrige SAR beim Telefonieren (1)

Bedingung: Ansprechen der dynamischen Leistungsregelung des GSM-Mobiltelefons.
Hierfür ist eine Mindestfeldstärke von ca. $E = 40 \text{ mV/m}$ erforderlich (das Handy soll mit niedrigen SAR-Werten arbeiten, um auch für die Nutzer die Einwirkung gering zu halten!)

S: Leistungsflussdichte (W/m^2)

P_0 : Antennenspeiseleistung (W)

G: Gewinnfaktor

R: Zellenradius (m)

Umrechnung Feldstärke E (V/m) in Leistungsflussdichte S (W/m^2):

$$S = E^2 / 377 \Omega$$

$$P_0 = 20 \text{ W / Kanal}$$

$$G = 32 \text{ (15 dB)}$$

$$S = P_0 * G / (4\pi R^n) \quad (\text{W/m}^2) \quad n: 2 \dots 4,5$$

Freie Ausbreitung: $n = 2,0$

Bebautes Gebiet, 900 MHz: $n = 3,0$

Stadtgebiet, 1800 MHz: $n = 4,0$

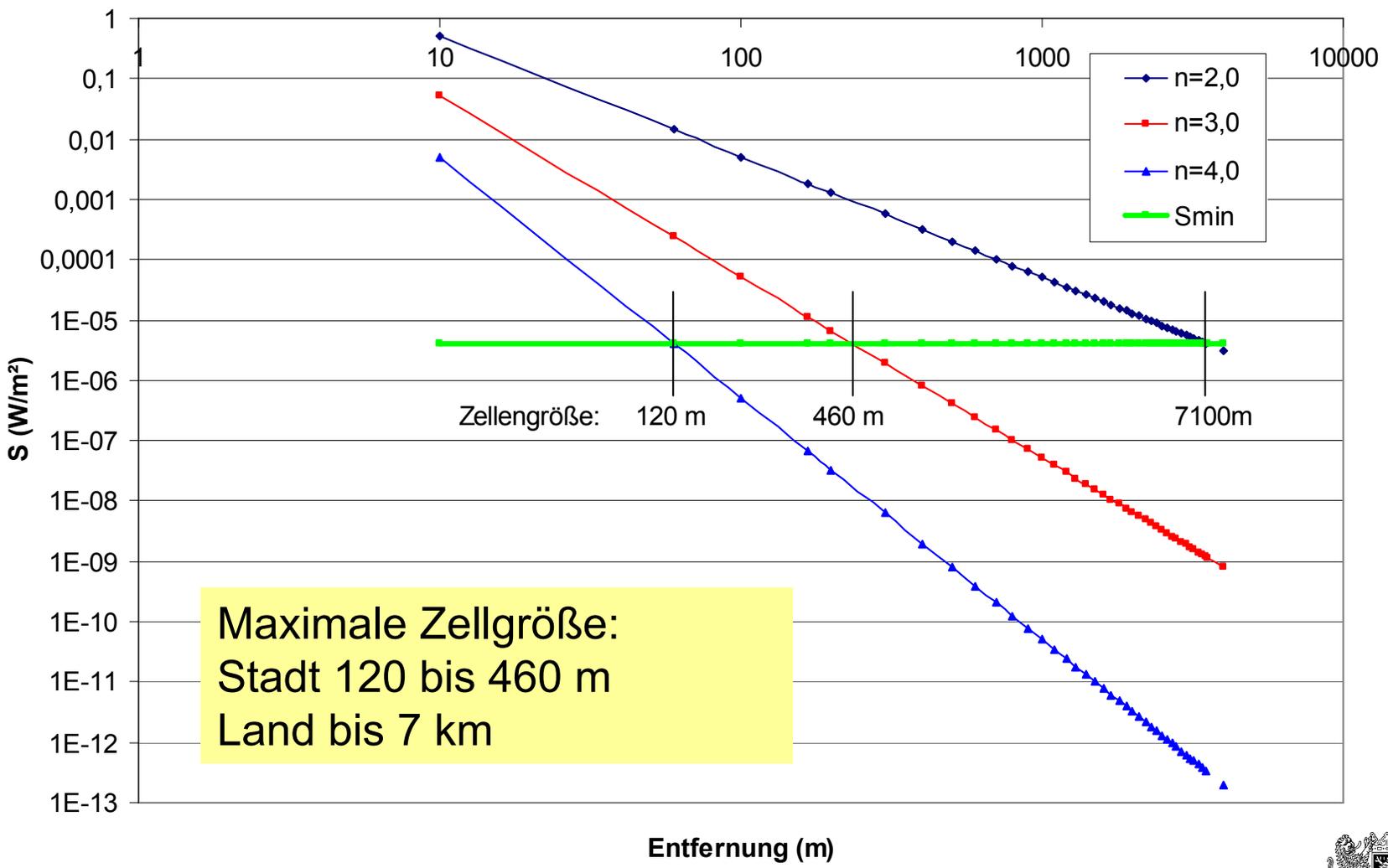
Aus $S_{\min} = 4 * 10^{-6} \text{ W/m}^2$ (entspr. 40 mV/m) folgt:

$$R_{\max} = (1,2 * 10^7)^{1/n} \text{ (m)}$$



Maximale Zellgröße für niedrige SAR beim Telefonieren (2)

Maximale Zellgröße für SAR-Reduzierung



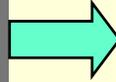
Maximale Zellgröße:
 Stadt 120 bis 460 m
 Land bis 7 km



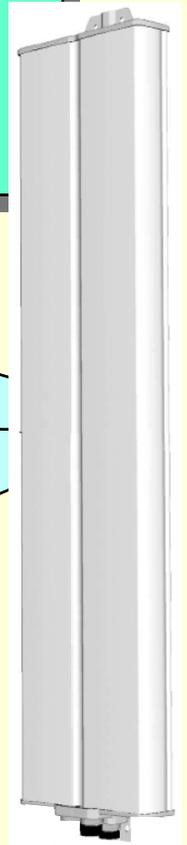
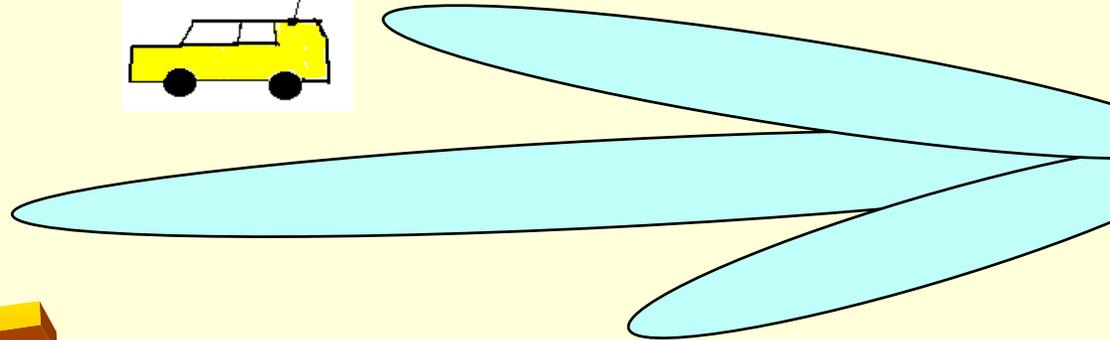
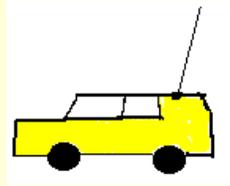
Adaptive Antennas

Intelligente Antennen:

- "SMART" - Antennen
- „Multi-Beam“-Antennen
- Adaptive Antennen



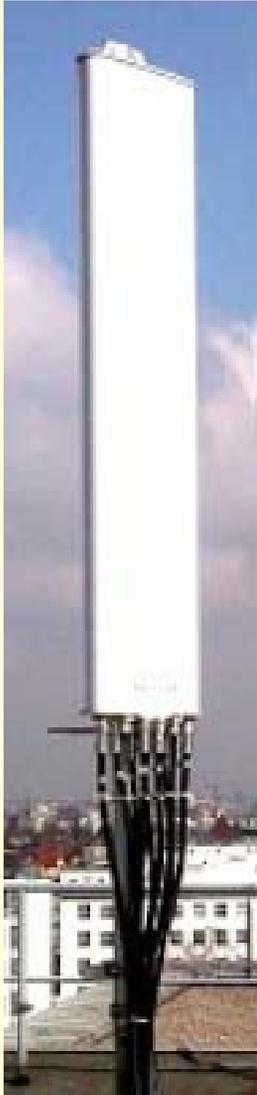
- *Höhere Kapazität*
- *Geringere Interferenz*
- *Geringere Sendeleistung*
- *Geringere Feldstärken im Mittelwert*
aber
- *teuere BTS*
- *n x Speise-Kabel*
- *Größe*
- *spezielle Antennen*



Ziel:

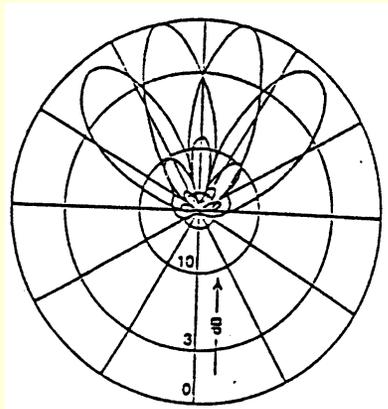
Die Leistung dahin senden, wo sie benötigt wird.

Adaptive Antenne - die Alternative?

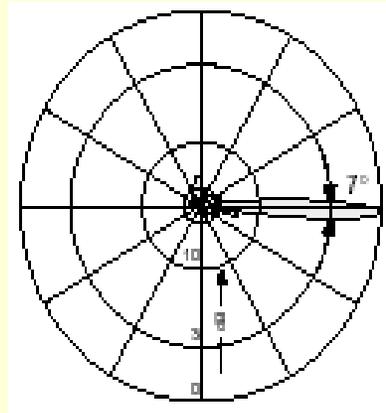


XPoL F-Panel BM 1850-1990 28°/33° 21/19dBi 2°T

- 33° / 28° / 28° / 33° Horizontal Half power Beam width
- 19 / 21 / 21 / 19 dBi Gain
- 2° Fixed Electrical Tilt
- > 25 dB Front-to-back-ratio
- > 20 dB isolation between Xpol-Input-Ports

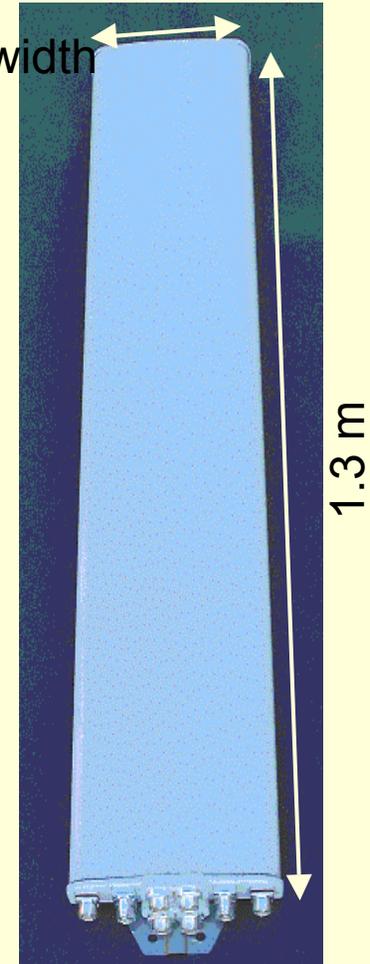


Horizontal Pattern



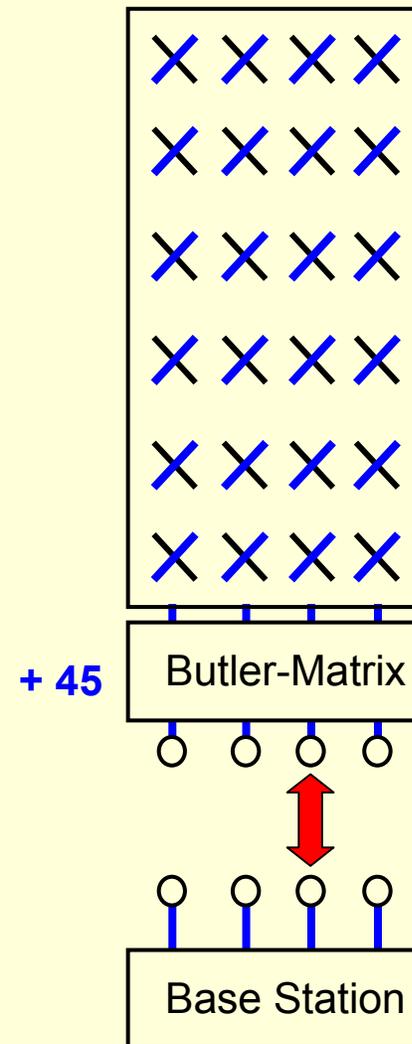
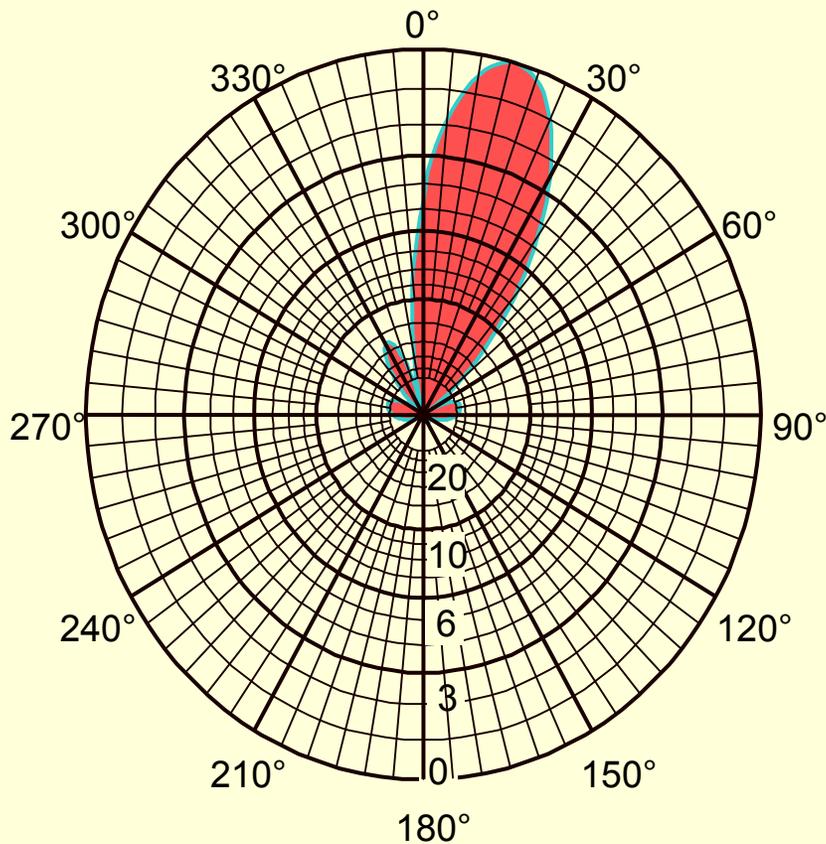
Vertical Pattern
0°-6° electrical downtilt

299 mm



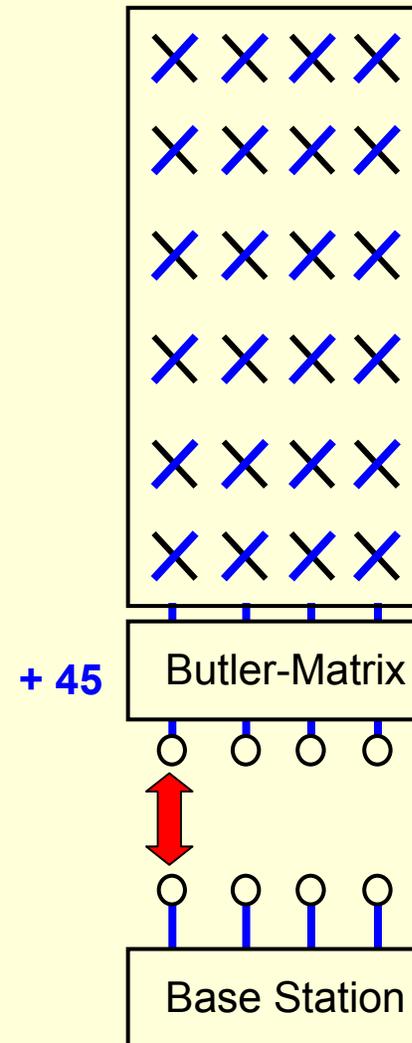
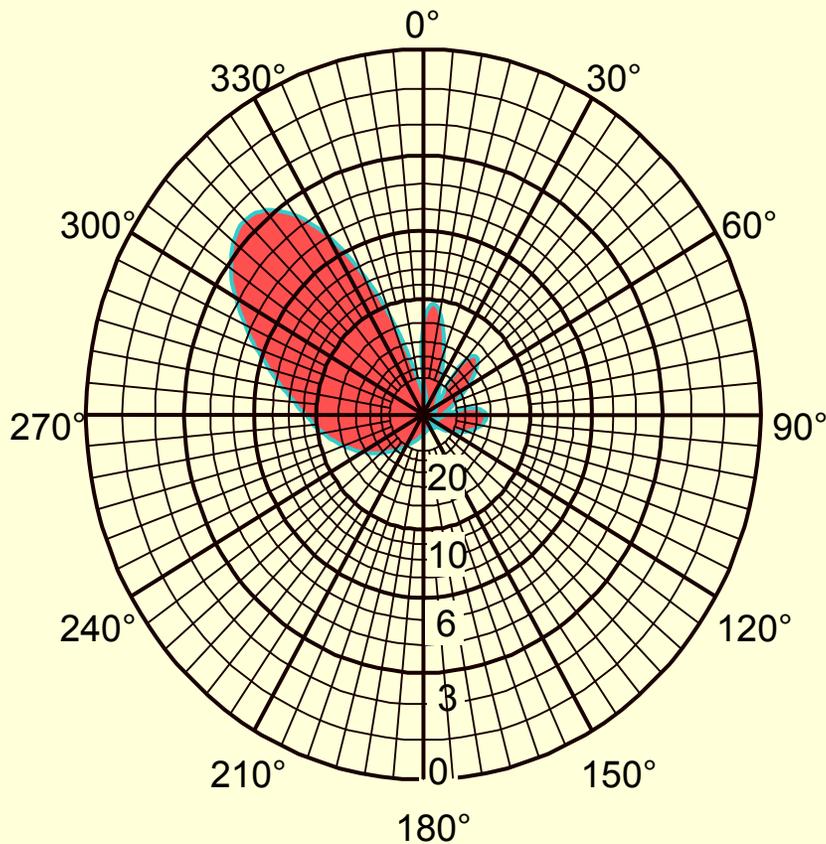
Switched Fixed Beam Antenna - Pattern

Beam Switching Using Butler-Matrix



Switched Fixed Beam Antenna - Pattern

Beam Switching Using Butler-Matrix



Switched Fixed Beam Antenna - Pattern

Beam Switching Using Butler-Matrix

