

U. Sievert  
H. W. Pau  
S. Eggert  
S. Goltz

**Biologische Wirkung gepulster und  
kontinuierlicher Höchsthfrequenz-  
(Mikrowellen-)Strahlung auf das Innenohr**

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht für das Projekt „Biologische Wirkung gepulster und kontinuierlicher Höchsthfrequenz-(Mikrowellen-)Strahlung auf das Innenohr“ – Projekt F 5117 – im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Dr. rer. nat. Uwe Sievert  
Prof. Dr. med. habil. Hans Wilhelm Pau  
Universität Rostock, Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde,  
Kopf und Halschirurgie „Otto Körner“  
Doberaner Str. 137 - 139, D-18055 Rostock  
E-Mail: uwe.sievert@med.uni-rostock.de

Dr.-Ing. Siegfried Eggert  
Dipl.-Ing. Sigurd Goltz  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Nöldnerstr. 40-42, D-10317 Berlin

Unter Mitarbeit von:  
Dipl.-Ing. (FH) Ernst Langnau  
Universität Rostock, Institut für Antriebstechnik und Mechatronik,  
Abt. für Mess- und Regelungstechnik

Verlag/Druck: Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Bürgermeister-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 – 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 – 77  
E-Mail: info@nw-verlag.de  
Internet: www.nw-verlag.de

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund  
Telefon: (02 31) 90 71 – 0  
Telefax: (02 31) 90 71 – 24 54  
E-Mail: poststelle@buaa.bund.de  
Internet: www.buaa.de

Berlin:  
Nöldnerstr. 40-42, D-10317 Berlin  
Telefon: (0 30) 5 15 48 – 0  
Telefax: (0 30) 5 15 48 – 41 70

Dresden:  
Proschhübelstr. 8, D-01099 Dresden  
Telefon: (03 51) 56 39 – 50  
Telefax: (03 51) 56 39 – 52 10

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

ISSN 1433-2086  
ISBN 3-86509-174-1

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	4
Abstract	5
Résumé	6
1 Aufgabenstellung	7
2 Probandenexposition	7
2.1 Expositonseinrichtung	7
2.2 Dosimetrie (SAR-Messung)	9
3 Thermographische Untersuchungen	12
3.1 Messaufbau zur Thermographie	12
3.2 Registrierungen am freien Handy	14
3.2.1 Gepulstes Feld	15
3.2.2 Kontinuierliches Feld	16
3.3 Registrierungen mit Absorptionsfolie	19
3.3.1 Gepulstes Feld	20
3.3.2 Kontinuierliches Feld	21
3.4 Registrierungen mit tierischem Gewebe	23
3.4.1 Gepulstes Feld	25
3.4.2 Kontinuierliches Feld	26
3.5 Registrierungen mit Felsenbeinpräparat	28
3.5.1 Trockenes Präparat – Kontinuierliches Feld	29
3.5.2 Feuchtes Präparat – Kontinuierliches und gepulstes Feld	31
3.6 Schlussfolgerungen	33
4 Wirkung von HF-Feldern auf das vestibuläre System	34
4.1 Material und Methode	34
4.2 Ergebnisse	35
4.3 Schlussfolgerungen	39
5 Wirkung von HF-Feldern auf das Hörsystem	40
5.1 Ableitung akustisch evozierter Potentiale – BERA	40
5.1.1 Material und Methode	40
5.1.2 Ergebnisse	42
5.1.3 Schlussfolgerungen	59
5.2 Ableitung otoakustischer Emissionen	59
5.2.1 Material und Methode	59
5.2.2 Ergebnisse	60
6 Zusammenfassung	63
6.1 Thermographische Untersuchungen	63
6.2 Untersuchungen zum vestibulären System	63
6.3 Untersuchungen zum Hörsystem	63
Literaturverzeichnis	64

# **Biologische Wirkung gepulster und kontinuierlicher Höchstfrequenz-(Mikrowellen-)Strahlung auf das Innenohr**

## **Kurzreferat**

Gegenstand der Studie ist die Untersuchung der biologischen Wirkung der am GSM-Handy auftretenden HF-Strahlung auf das Innenohr mit seinen Sensoren des vestibulären sowie des auditiven Systems.

Die durchgeführten thermographischen Untersuchungen an verschiedenen Modell-Materialien und am Felsenbeinpräparat lassen den Schluss zu, dass durch das Handy keine Temperaturerhöhungen induziert werden, die zu einem relevanten Stimulus für das Hör- sowie Gleichgewichtssystem führen.

Video-nystagmographische Ableitungen unter Feldeinwirkung ergeben sowohl für das gepulste als auch das kontinuierliche HF-Feld keine Hinweise auf durch Feldwirkungen ausgelöste vestibuläre Reaktionen.

Die an 24 Ohren durchgeführte Hirnstammaudiometrie unter Feldwirkung zeigt im Vergleich zur Ableitung ohne Feld keine Änderungen der betrachteten Parameter Absolutlatenz der Wellen I, III, V sowie der Interpeak-Latenz zwischen den Wellen I und V.

Die abgeleiteten Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen an 20 Ohren geben im Vergleich der drei Messsituationen: vor Feldwirkung, gepulstes Feld und kontinuierliches Feld für keinen Probanden einen Hinweis auf mögliche Einflüsse des HF-Feldes auf das Spektrum oder die Pegel der Emissionen.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die im Handy-Betrieb auftretenden elektromagnetischen Felder keine Wirkung auf das Innenohr und das Hörsystem bis zum colliculus inferior im Hirnstamm sowie auf die vestibulären Rezeptoren im Innenohr und das vestibuläre System haben.

## **Schlagwörter:**

GSM-Handy, elektromagnetisches Feld, HF-Feld, Innenohr, Hörsystem, Gleichgewichtssystem, Thermographie, Video-Nystagmographie, Hirnstammaudiometrie, otoakustische Emissionen

# **Biological effect of pulsed and continuous maximum-frequency (microwave) radiation on the inner ear**

## **Abstract**

It is the subject of this study to investigate the biological effect of the HF radiation produced by the GSM mobile phone on the inner ear with its sensors of the vestibular and auditory systems.

The thermographic investigations made on various model materials and on the human temporal bone suggest that the mobile phone does not induce any increases of temperature which would lead to a relevant stimulus for the auditory and vestibular system. Video-nystagmographic recordings under field effect did not result in vestibular reactions generated by field effects, neither for the pulsed nor for the continuous HF field. Compared with the recording without field, the brainstem electric response audiometry tests under field effect of 24 ears did not reveal any changes of the parameters investigated, i.e. absolute latency of the peaks I, III, V and the inter-peak latency between the peaks I and V. The distortion products of otoacoustic emissions recorded on 20 ears do not indicate, comparing the three measuring situations, i.e. before field effect, pulsed field and continuous field, any possible impacts of the HF field on the spectrum or levels of emissions for none of the probands.

The investigations made show that the electromagnetic fields generated in using the mobile phone do not have an effect on the inner ear and auditory system to the colliculus inferior in the brainstem and on the vestibular receptors in the inner ear and the vestibular system.

## **Key words:**

GSM mobile phone, electromagnetic field, HF field, inner ear, auditory system, vestibular system, thermography, video-nystagmography, brainstem audiometry, otoacoustic emissions

# **L'effet biologique du rayonnement très haute fréquence (micro-ondes) pulsé et continu sur l'oreille interne**

## **Résumé**

L'étude porte sur l'analyse de l'effet biologique du rayonnement THF qui est émis par le portable GSM sur l'oreille interne avec ses capteurs des systèmes vestibulaire et auditif.

Les examens thermographiques effectués sur divers matériaux modèles et sur la préparation de l'os temporal permettent de conclure que le portable n'induit pas d'élévations de température produisant un stimulus significatif pour les systèmes vestibulaire et auditif.

Des examens vidéonystagmographiques sous effet de champ ne donnent aucune indication de réactions vestibulaires provoquées par des effets de champ, aussi bien pour le champ THF pulsé que le champ continu. Comparé à l'examen sans champ, l'audiométrie du tronc cérébral effectuée sur 24 oreilles sous effet de champ ne montre aucune modification des paramètres observés latence absolue des pics I, III, V ainsi que de la latence entre les pics I et V. Les produits de distorsion dérivés «émissions otoacoustiques» sur 20 oreilles, en comparaison des trois situations de mesure «avant effet de champ», «champ pulsé» et «champ continu», ne donnent pour aucun sujet examiné une indication sur des influences potentielles du champ THF sur le spectre ou le niveau des émissions.

Les examens effectués montrent que les champ électromagnétiques produits lors du fonctionnement du portable n'ont pas d'effet sur l'oreille interne et le système auditif jusqu'au collicule inférieur dans le tronc cérébral ainsi que sur les récepteurs vestibulaires dans l'oreille interne et le système vestibulaire.

## **Mots clés:**

Portable GSM, champ électromagnétique, champ THF, oreille interne, système auditif, système vestibulaire, thermographie, vidéonystagmographie, audiométrie du tronc cérébral, émissions otoacoustiques

# 1 Aufgabenstellung

Die bei Betrieb der Mobiltelefone wirkenden elektromagnetischen HF-Felder gehören im Gesamtspektrum der elektromagnetischen Felder zu den niederenergetischen, nichtionisierenden Feldern. Die Wirkung dieser Felder auf biologische Systeme beruht nach bisherigem Kenntnisstand auf thermischen Effekten im exponierten Gewebe. Darüber hinaus werden Einflüsse des Feldes auf funktionelle und Stoffwechselaktivitäten der Zelle für möglich erachtet.

Gegenstand dieser Studie war die Untersuchung der biologischen Wirkung der HF-Strahlung auf das Innenohr mit seinen Sensoren des vestibulären sowie des auditiven Systems.

Mit thermographischen Methoden wurde am Felsenbein untersucht, ob in den Innenohrstrukturen eine messbare Erwärmung  $\geq 0,1$  K auftritt.

Mit Untersuchungen an Probanden wurde nach Antwortreaktionen bei Einwirkung von Strahlung sowohl des gepulsten als auch des ungepulsten Feldes gesucht. Nach Reaktionen des Gleichgewichtssystems wurde unter Anwendung der Video-Nystagmographie gefahndet.

Für das Hörsystem kamen die klinischen Standardverfahren zur Ableitung von frühen akustisch evozierten Potentialen – Click-BERA – sowie zur Ableitung von Distorsionsprodukten otoakustischer Emissionen – DPOAE – zur Anwendung.

## 2 Probandenexposition

### 2.1 Expositionseinrichtung

Durch EMV-Untersuchungen des Auftraggebers wurde die Eignung des vorgesehenen Untersuchungsraumes (Audiometrierraum nach Keller-Kurven Forschung) nachgewiesen. Die Probanden-Expositionseinrichtung wurde in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern des Auftraggebers aufgebaut und eingemessen.



**Abb. 2.1**  
Handyhalterung am Probandenstuhl

Als Strahler kamen bei der Expositionseinrichtung zwei auf Fremdspeisung (Koaxialkabel RG 174 mit zusätzlicher Mantelwellenunterdrückung) umgerüstete Mobiltelefone S 10 D (SIEMENS) zum Einsatz. Diese wurden mit einer variabel verstellbaren Halterung am Probandenstuhl befestigt (Abb. 2.1 und Abb. 2.2). Über ein Koaxialrelais erfolgte die wahlweise Zuschaltung des Mobiltelefons auf der untersuchten Seite.



**Abb. 2.2**  
Untersuchungsplatz

Zur Fremdspeisung dienten ein Signalgenerator SMT 03 (Rohde&Schwarz) und ein Breitband-Leistungsverstärker KALMUS 737 LC. Wegen des hohen Geräuschpegels des Lüfters wurde der Leistungsverstärker im Vorraum des Untersuchungsraumes untergebracht und durch speziell verlegte RG 213-Kabel mit dem Signalgenerator bzw. dem Koaxialrelais zur Zuschaltung der Mobiltelefone verbunden.

Für die Nachbildung des gepulsten GSM-Signals wurden am Signalgenerator folgende Parameter eingestellt:

Frequenz (entsprechend der erteilten Versuchsfunkgenehmigung):	$f = 889,6000 \text{ MHz}$
Modulation des Trägers:	Pulsmodulation
Pulswiederholfrequenz:	217 Hz
Rahmenlänge:	4,61 ms
Pulslänge:	576 $\mu\text{s}$

Zur Einregelung und Kontrolle der an den Anschlussbuchsen der Mobiltelefone eingespeisten Leistung diente ein Leistungsmesser M 8055.12 mit Leistungsmesskopf M 8858.21 und vorgeschaltetem 30 dB-Abschwächer.

Entsprechend der Einmessung der Expositionseinrichtung wurden für die Untersuchungen am Einspeisepunkt der Mobiltelefone unter Kontrolle mit dem Leistungsmesser folgende Leistungen eingeregelt und kontrolliert:

Spitzenleistung (Pulsleistung)	$P_{\text{HF}} = 2,2 \text{ W}$ - entsprechend einer
mittleren Leistung bei Impulsbetrieb (Verhältnis 1 : 8)	$P_{\text{HF}} = 255 \text{ mW}$



## 2.2 Dosimetrie (SAR-Messung)

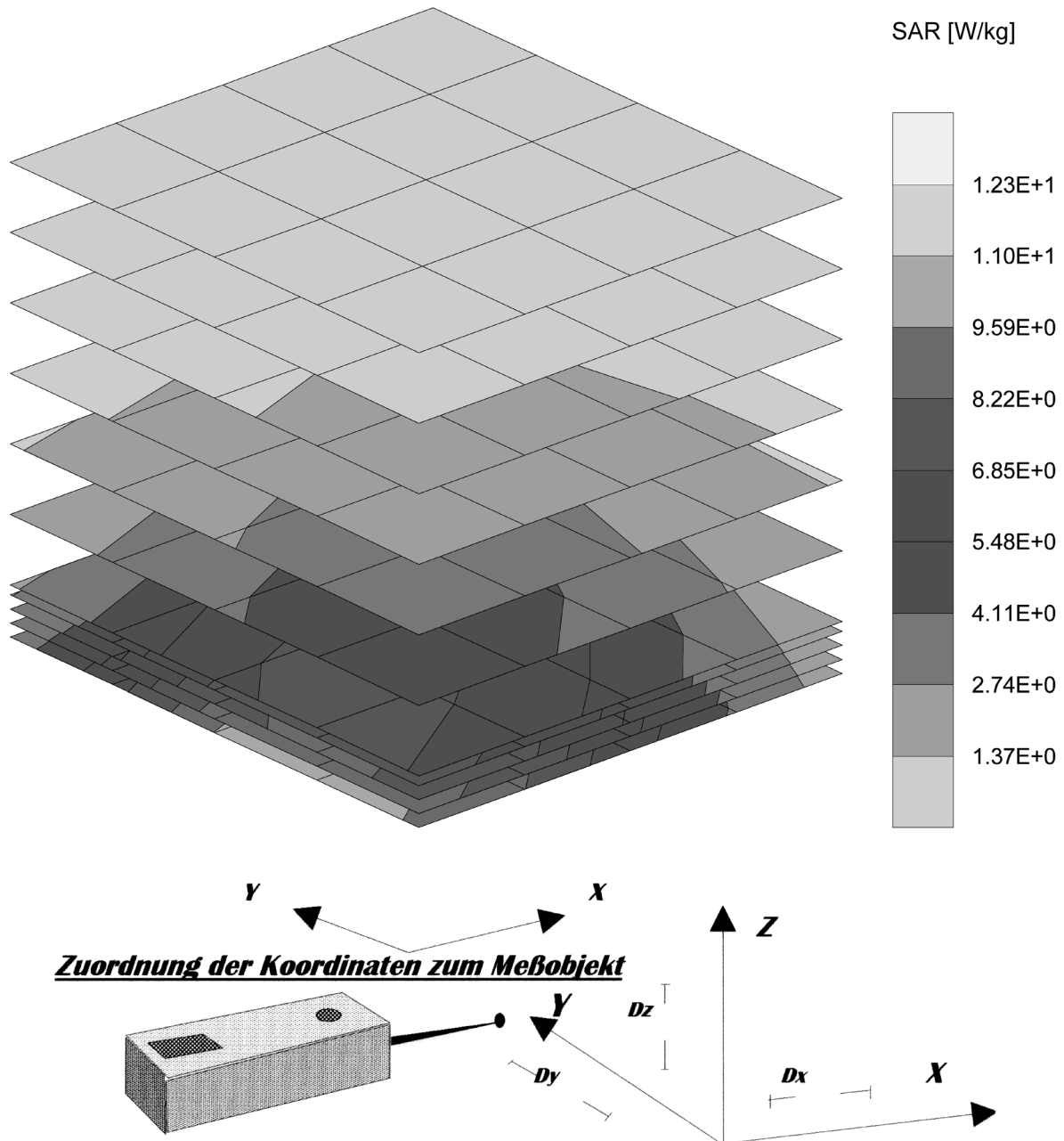
Die Bestimmung der SAR erfolgte durch Mitarbeiter der T-Systems GmbH (vormals Technologie-Zentrum der Deutschen Telekom Darmstadt TZD). Hierzu wurden die für Versuche vorgesehenen Mobiltelefone mit genauen Angaben der Haltung am Kopf und Fotos von der entsprechenden Position sowie der Speisung der Geräte an die T-Systems GmbH gesandt. Die Messungen von SAR und Eindringtiefe erfolgten auf der Grundlage der European Spezification ES 59006 (CENELEC 1998) /1/ mit Hilfe des Systems DASY II unter Verwendung von Flach- und Realsize-Phantomen. Bei den Messungen am Kopfphantom wurde die Position des Telefons zum Phantom wie bei den Probandenversuchen so eingestellt, dass sich die „intended use position“ nach der genannten ES ergab, die der normalen Haltung beim Telefonieren entspricht. Die Abbildung 2.3 zeigt die Anordnung bei einer Messung am Kopfphantom.



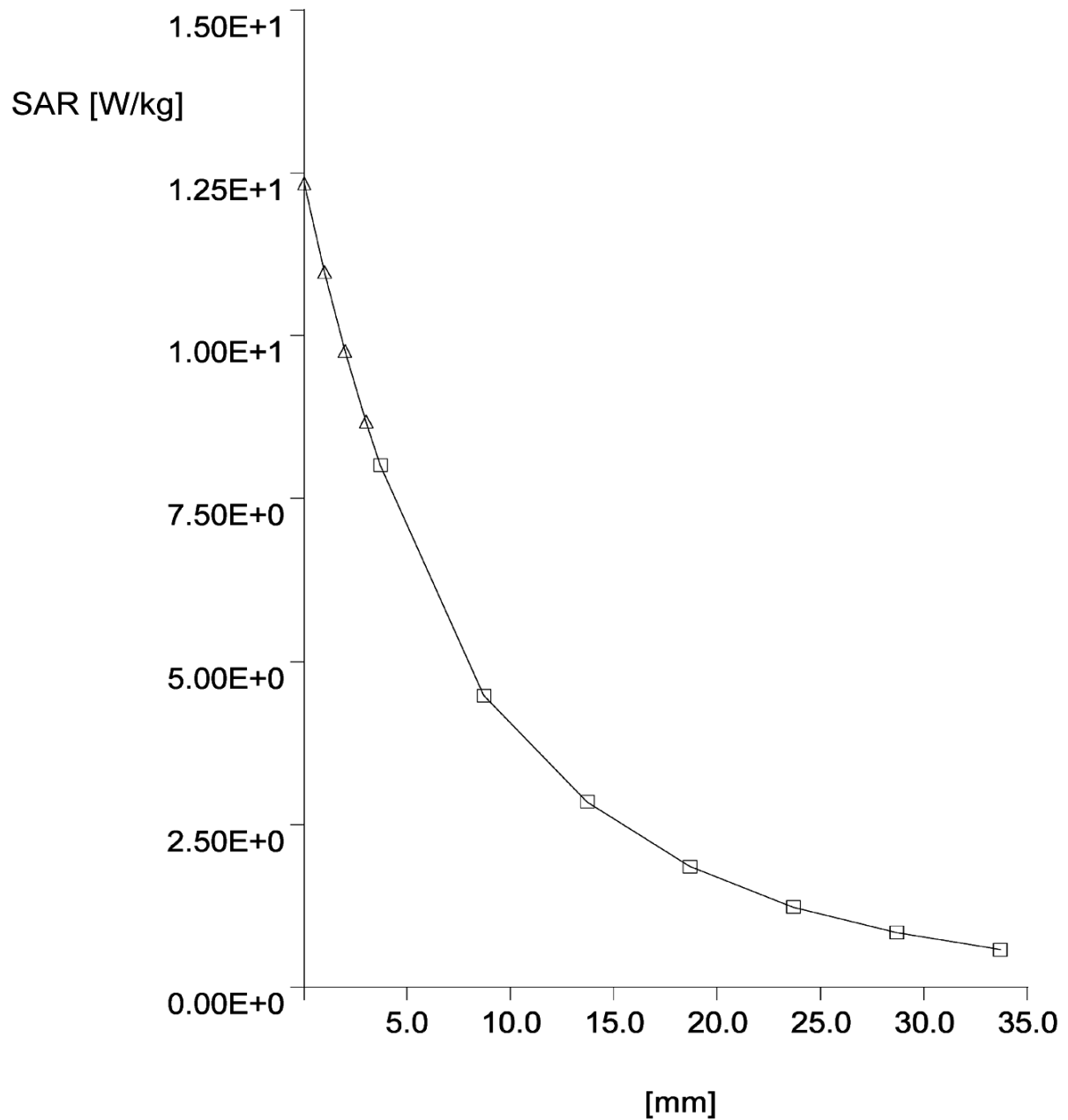
**Abb. 2.3** SAR-Messung am Kopfphantom

Bei der Messung am Kopfphantom unter Verwendung der „intended use position“ des Mobiltelefons ergab sich die höchste SAR erwartungsgemäß am Fußpunkt der Antenne (s. Abb. 2.4).

Die dort gemessenen und auf 1 g bzw. 10 g Gewebe bezogenen SAR-Werte lagen bei 4,9 W/kg bzw. 3,0 W/kg (bei einer eingespeisten mittleren HF-Leistung von  $P_{HF} = 1 \text{ W}$ ) und damit unterhalb des zulässigen Grenzwertes für Kopf und Rumpf bei beruflicher Exposition. Die Abbildungen 2.4 und 2.5 enthalten andere Werte, da die SAR-Messungen mit einer etwas höheren Leistung durchgeführt worden waren (1 W im Vergleich zu 0,255 W beim Experiment).



**Abb. 2.4** Graphische Darstellung der Messergebnisse am Kopfphantom (Die unterste Ebene der Würfelmessung enthält die extrapolierte SAR bei  $d = 0$ , das entspricht der Phantomoberfläche. Die Abstände der anderen Ebenen sind den Koordinaten der Messkurve in der Abbildung 2.5 zu entnehmen.)

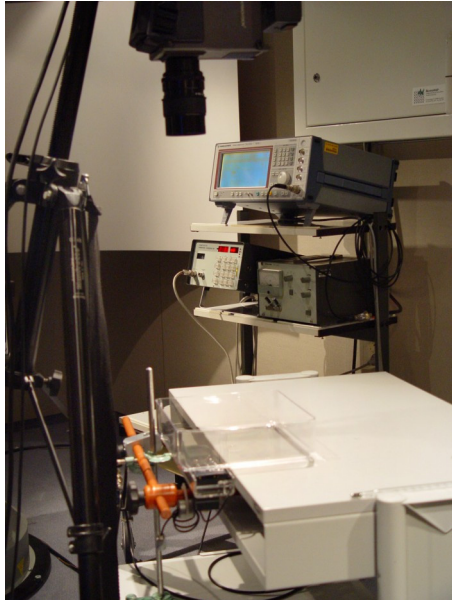


**Abb. 2.5** SAR am Fußpunkt der Antenne als Funktion von der Eindringtiefe  
 $SAR_{\max} = 12,33 \text{ W/kg}$  ( $d = 0$ ; Oberfläche)  
 $SAR(1 \text{ g}) = 6,95 \text{ W/kg}$ ;  $SAR(10 \text{ g}) = 4,25 \text{ W/kg}$   
Gemessen bei einer mittleren Leistung  $P_{\text{HF}} = 1 \text{ W}$

### 3 Thermographische Untersuchungen <sup>1</sup>

#### 3.1 Messaufbau zur Thermographie

Der Messaufbau für die thermographischen Untersuchungen ist in den Abbildungen 3.1 bis 3.4 wiedergegeben.



**Abb. 3.1**  
Messaufbau und Signalgenerator

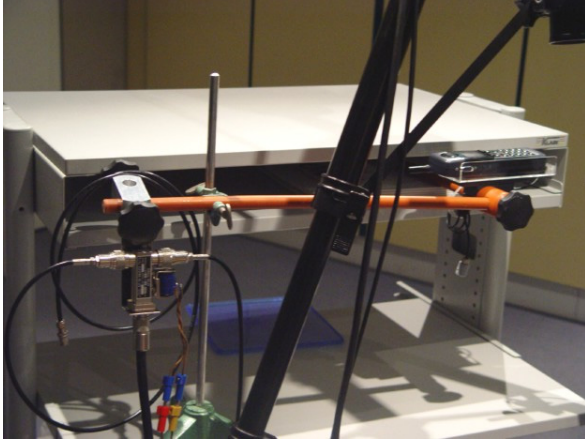


**Abb. 3.2**  
Messaufbau und Video-Einheit

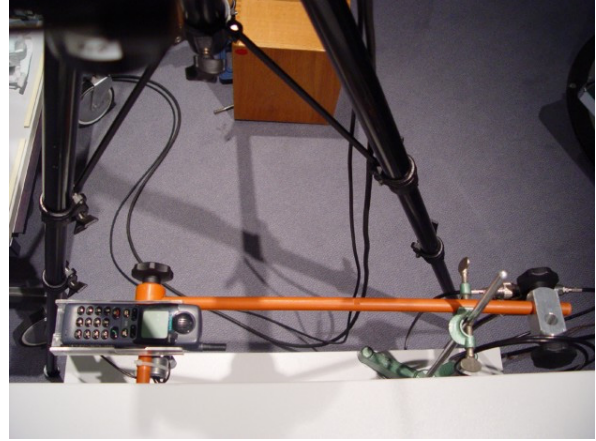
Zur waagerechten Positionierung des Handys wird die für die Untersuchungen mit Probanden verwendete Handy-Halterung aus Plastikwerkstoff genutzt (Abb. 3.2 und 3.3). Das Handy ist mit einem Abstand von 3 cm parallel zur Kante der hölzernen Arbeitsplatte eines Gerätewagens angeordnet. Eine Schale aus Piacryl (Wanddicke 2 mm) dient zur Aufnahme der untersuchten Materialien bzw. Präparate. Der Boden dieser Schale hat keinen Kontakt zum Gehäuse des Handys, zwischen beiden ist ein Luftspalt von ca. 5 mm. Der Abstand zur Handy-Antenne ist entsprechend der Bauform des Handys größer.

---

<sup>1</sup> Für die Unterstützung zur Durchführung der thermographischen Registrierungen danken wir Herrn Dipl.-Ing.(FH) Ernst Langnau, Abteilung für Mess- und Regelungstechnik des Instituts für Antriebstechnik und Mechatronik der Universität Rostock (Abteilungsleiter Prof. Dr. rer. nat. habil. W. Wild).



**Abb. 3.3**  
Messanordnung - Seitenansicht



**Abb. 3.4**  
Messanordnung - Draufsicht

Zur thermographischen Registrierung kommt die Infrarotkamera Thermovision 400 der Firma AGEMA zum Einsatz, die auf einem Stativ senkrecht über dem Handy angeordnet ist.

Die einzelnen Thermogramme werden digital gespeichert. Die Auswertung dieser digitalen Thermogramme erfolgt mit dem Programmsystem Irwin Report Version 5.21 der Firma AGEMA.

Bei den durchgeführten Untersuchungen sollen durch Wirkung des HF-Feldes entstehende Temperaturdifferenzen gemessen werden. Daher ist eine Messung der Emissionskoeffizienten der untersuchten Materialien bzw. Präparate nicht erforderlich und wird nicht durchgeführt.

Die Auflösung der IR-Kamera beträgt 0,1 Kelvin.

Parallel zur digitalen Registrierung wird das analoge Video-Signal der Infrarotkamera bei allen Messungen aufgezeichnet (Abb. 3.2).

Es wurden Untersuchungen sowohl mit kontinuierlichem als auch mit gepulstem HF-Signal durchgeführt.

Entsprechend der Einmessung des Probanden-Expositionssystems wurde vor und nach jeder Messung bei eingeschaltetem Handy mit dem Leistungsmesser die am Mobiltelefon eingespeiste Leistung von 2,2 W kontrolliert.

Die Tabellen 3.1 bis 3.4 geben eine Übersicht über alle durchgeführten thermographischen Untersuchungen in ihrem zeitlichen Ablauf und die dabei registrierten Thermographien.

### 3.2 Registrierungen am freien Handy

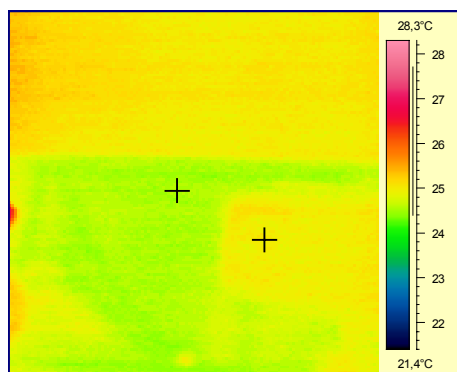
Tab. 3.1 Thermographische Untersuchungen am freien Handy  
c1, c2: Kontinuierliches Feld; p1: Gepulstes Feld

Handy_ohne	Feld_c1		Feld_p1		Feld_c2	
	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr
Ohne Feld		20		42		
<b>Feld ein</b>	0		0		0	
	+1	21	+1	43	+1	3
					+2	4
	+3	22	+3	44	+3	5
					+4	6
	+5	23	+5	45	+5	7
					+6	8
	+7	24	+7	46	+7	9
					+8	10
	+9	25	+9	47	+9	11
					+10	12
	+11	26	+11	48	+11	13
					+12	14
	+13	27	+13	49	+13	15
<b>c2: Feld aus</b>					+14 / 0	
	+15	28	+15	50	+15 / +1	16
					+16 / +2	17
	+17	29			+17 / +3	18
					+18 / +4	19
	+19	30			+19 / +5	-
					+20 / +6	20
	+21	31			+21 / +7	21
					+22 / +8	22
<b>c1: Feld aus</b>	+23 / 0	32			+23 / +9	23
	+24 / +1	33			+24 / +10	24
					+25 / +11	25
	+26 / +3	34			+26 / +12	26
	+28 / +5	35				
	+30 / +7	36				
<b>p1: Feld aus</b>			+31	51		
	+32 / +9	37				
	+34 / +11	38				
	+36 / +13	39/40				
	+38 / +15	41				

### 3.2.1 Gepulstes Feld

Zunächst wurden thermographische Registrierungen am freien Handy ohne die Piacrylschale zur Aufnahme der Präparate durchgeführt (Tab. 3.1).

Bei mit gepulstem Feld gespeistem Handy zeigt sich während einer Registrierdauer von 15 Minuten am Gehäuse über dem Lautsprecher keine signifikante Temperaturänderung. An der Antenne stellt sich eine nach 12 Minuten Betriebsdauer annähernd stabile Temperaturerhöhung von 0,3 K dar (Abb. 3.5 bis 3.9).



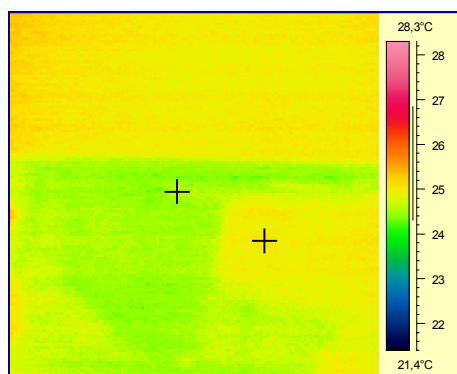
**Abb. 3.5**

Handy nicht in Betrieb

Thermo-Nr.: Feld\_p1 / 42

Antenne 24,6°C

Hörer 25,1°C



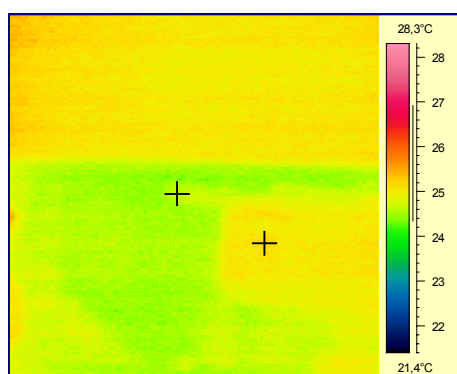
**Abb. 3.6**

Handy in Betrieb + 1 Minute

Thermo-Nr.: Feld\_p1 / 43

Antenne 24,5°C

Hörer 25,1°C



**Abb. 3.7**

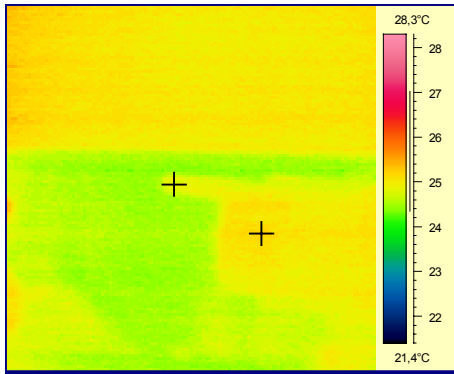
Handy in Betrieb + 3 Minute

Thermo-Nr.: Feld\_p1 / 44

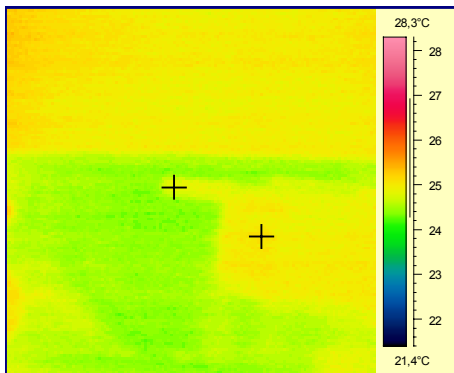
Antenne 24,7°C

Hörer 25,2°C



**Abb. 3.8**

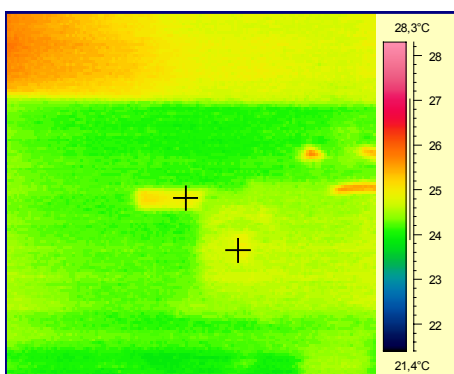
Handy in Betrieb + 13 Minute  
 Thermo-Nr.: Feld\_p1 / 49  
 Antenne 24,9°C  
 Hörer 25,3°C

**Abb. 3.9**

Handy in Betrieb + 15 Minute  
 Thermo-Nr.: Feld\_p1 / 50  
 Antenne 24,9°C  
 Hörer 25,1°C

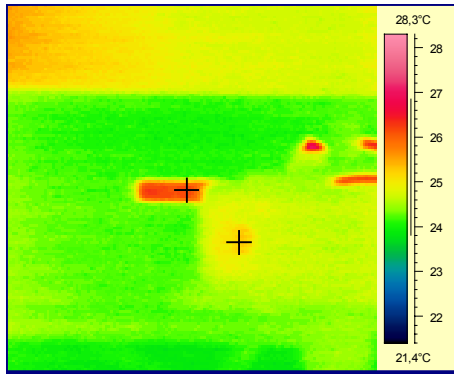
### 3.2.2 Kontinuierliches Feld

Am mit ungepulstem, kontinuierlichem Feld gespeisten Handy zeigen sich während der Registrierung sowohl an der Antenne als auch am Gehäuse über dem Hörer nach ca. 12 Minuten Betrieb stabile, signifikante Temperaturerhöhungen (Antenne 2,8 K; Hörer 1,3 K / Abb. 3.13), die 12 Minuten nach dem Ausschalten wieder auf den Ausgangswert des ungespeisten Gerätes zurückgegangen sind.

**Abb. 3.10**

Handy ein + 1 Minute  
 Thermo-Nr.: Feld\_c2 / 3  
 Antenne 25,0°C  
 Hörer 24,9°C



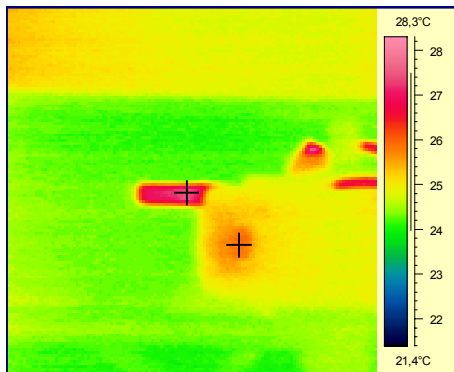
**Abb. 3.11**

Handy ein + 3 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c2 / 5

Antenne 26,1°C

Hörer 25,3°C

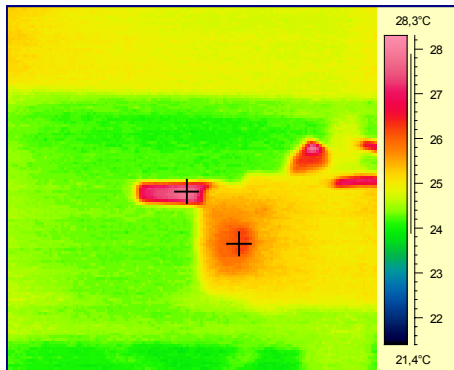
**Abb. 3.12**

Handy ein + 8 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c2 / 10

Antenne 27,5°C

Hörer 25,9°C

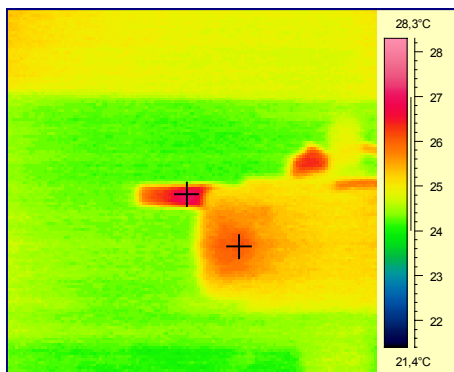
**Abb. 3.13**

Handy ein + 13 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c2 / 15

Antenne 27,8°C

Hörer 26,3°C

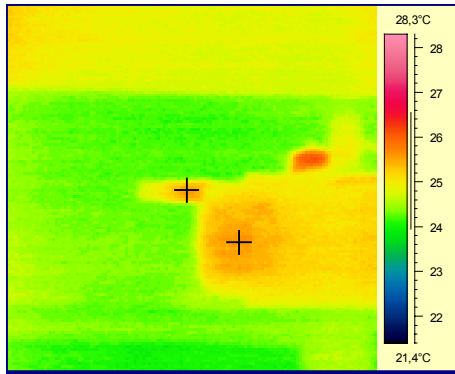
**Abb. 3.14**

Handy aus + 1 Minute

Thermo-Nr.: Feld\_c2 / 16

Antenne 27,0°C

Hörer 26,1°C

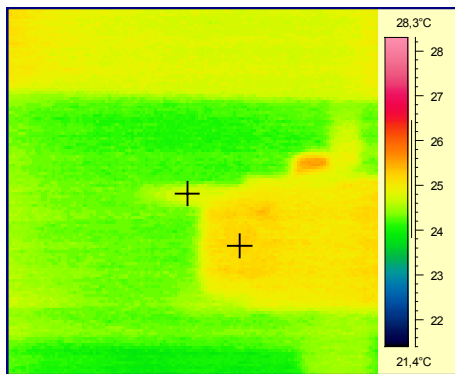
**Abb. 3.15**

Handy aus + 4 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c2 / 19

Antenne 25,6°C

Hörer 25,6°C

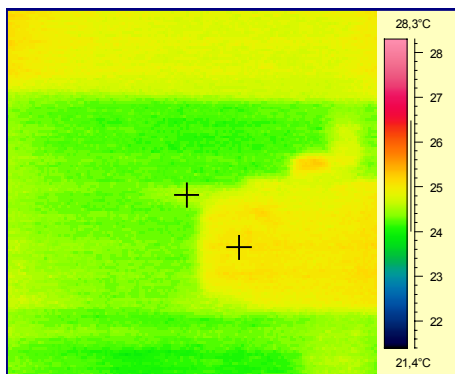
**Abb. 3.16**

Handy aus + 8 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c2 / 22

Antenne 24,9°C

Hörer 25,3°C

**Abb. 3.17**

Handy aus + 12 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c2 / 26

Antenne 24,6°C

Hörer 25,1°C

### 3.3 Registrierungen mit Absorptionsfolie

**Tab. 3.2** Thermographische Untersuchungen mit Absorptionsfolie  
c: Kontinuierliches Feld; p: Gepulstes Feld

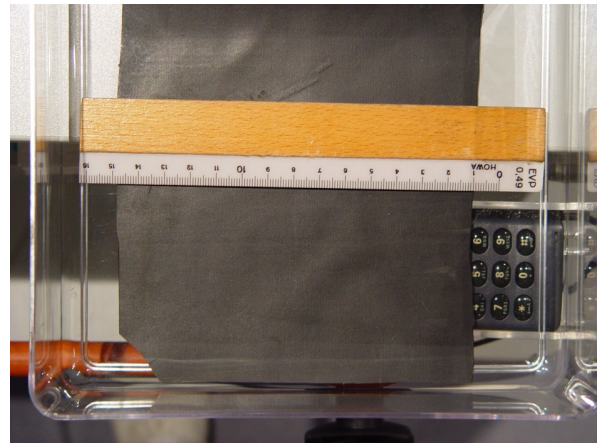
Handy_Folie	Feld_c		Feld_p	
	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr
Ohne Feld	0	1	0	29
<b>Feld ein</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	30
	<b>+1</b>	2	<b>+1</b>	31
	<b>+2</b>	3	<b>+2</b>	32
	<b>+3</b>	4		
			<b>+4</b>	33
	<b>+5</b>	5		
	<b>+6</b>	6	<b>+6</b>	34
	<b>+7</b>	7		
	<b>+8</b>	8	<b>+8</b>	35
	<b>+9</b>	9		
	<b>+10</b>	10	<b>+10</b>	36
	<b>+11</b>	11		
	<b>+12</b>	12	<b>+12</b>	37
	<b>+13</b>	13		
	<b>+14</b>	14		
			<b>+15</b>	38
<b>c: Feld aus</b>	<b>+16 / 0</b>		<b>+16</b>	39
	<b>+17 / +1</b>			
	<b>+18 / +2</b>			
	<b>+19 / +3</b>			
	<b>+20 / +4</b>	19		
	<b>+21 / +5</b>	20		
	<b>+22 / +6</b>	21		
	<b>+23 / +7</b>	22		
	<b>+24 / +8</b>	23		
	<b>+26 / +10</b>	24		
	<b>+28 / +12</b>	25		
	<b>+30 / +14</b>	26		
	<b>+33 / +17</b>	27		
	<b>+36 / +20</b>	28		

In einer weiteren Messserie wurde die durch das in Betrieb befindliche Handy verursachte Wärmeentwicklung in einer von der BAuA zur Verfügung gestellten Absorptionsfolie registriert. Die Tabelle 3.2 gibt eine Übersicht über die durchgeführten thermographischen Untersuchungen in ihrem zeitlichen Ablauf und die dabei registrierten Thermographien.

Die Abbildungen 3.18 und 3.19 zeigen die Anordnung von Handy und Absorptionsfolie.



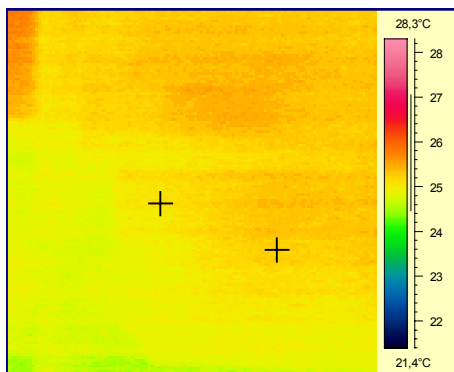
**Abb. 3.18**  
Messanordnung



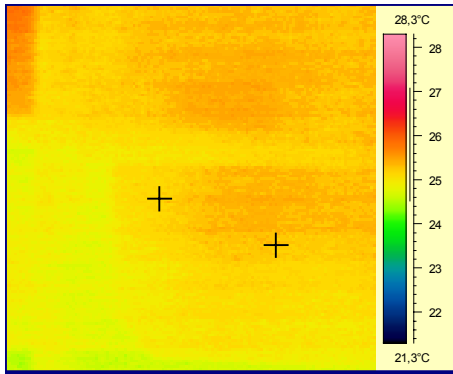
**Abb. 3.19**  
Messanordnung - Absorptionsfolie

### 3.3.1 Gepulstes Feld

Die Messungen mit der Absorptionsfolie bei gepulstem Feld (Tab. 3.2, Abb. 3.20 bis 3.22) zeigen Ergebnisse in Analogie zu den Registrierungen am freien Handy: Keine signifikante Wärmeentwicklung.



**Abb. 3.20**  
Handy aus  
Thermo-Nr.: Feld\_p / 29  
Antenne 25,2°C  
Hörer 25,3°C

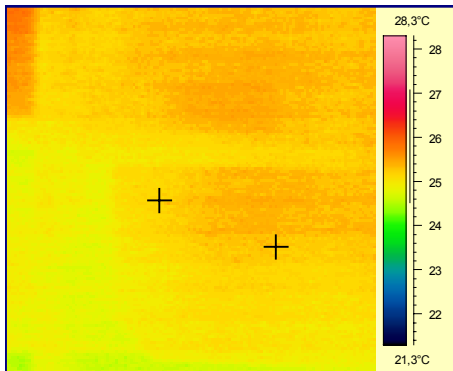
**Abb. 3.21**

Handy ein + 2 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_p / 32

Antenne 25,2°C

Hörer 25,4°C

**Abb. 3.22**

Handy ein + 15 Minuten

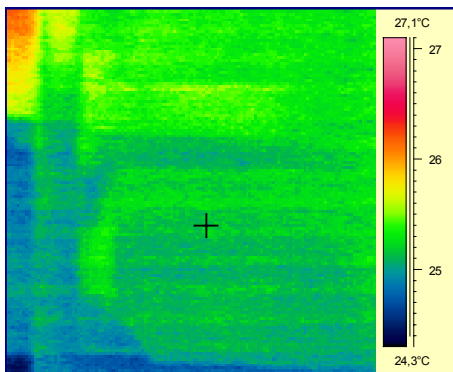
Thermo-Nr.: Feld\_p / 38

Antenne 25,3°C

Hörer 25,5°C

### 3.3.2 Kontinuierliches Feld

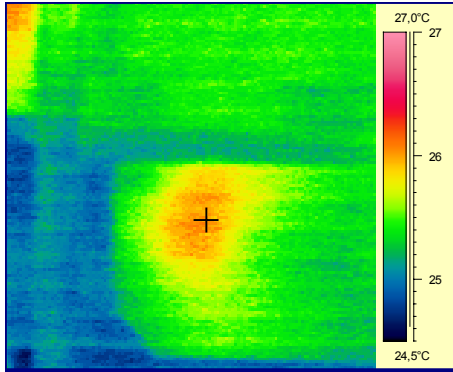
Die Messungen bei mit kontinuierlichem Feld betriebenem Handy zeigen wie beim freien Handy einen Temperaturanstieg von mehr als 3 K mit stabilen Werten ab ca. 14 Minuten. Nach der Messung mit eingeschaltetem Feld wurde bis 20 Minuten nach dem Ausschalten der Expositionseinrichtung registriert (Tab. 3.2, Abb. 3.23 bis 3.27).

**Abb. 3.23**

Handy aus

Thermo-Nr.: Feld\_c / 1

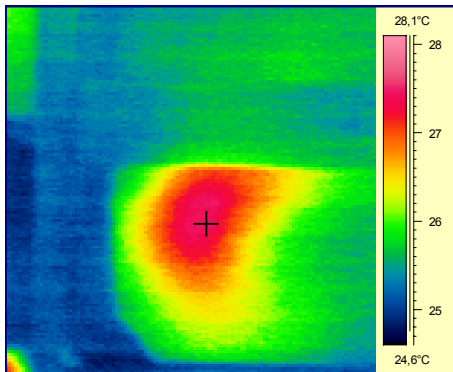
Messpunkt 25,1°C

**Abb. 3.24**

Handy ein + 1 Minute

Thermo-Nr.: Feld\_c / 2

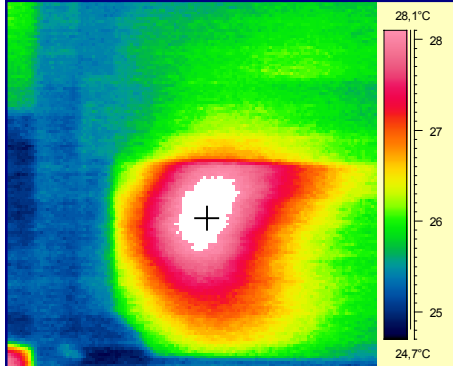
Messpunkt 26,1°C

**Abb. 3.25**

Handy ein + 3 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c / 4

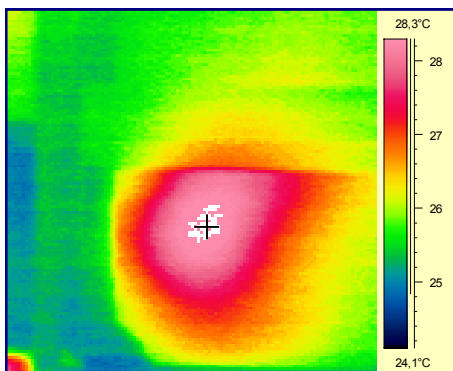
Messpunkt 27,4°C

**Abb. 3.26**

Handy ein + 10 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c / 10

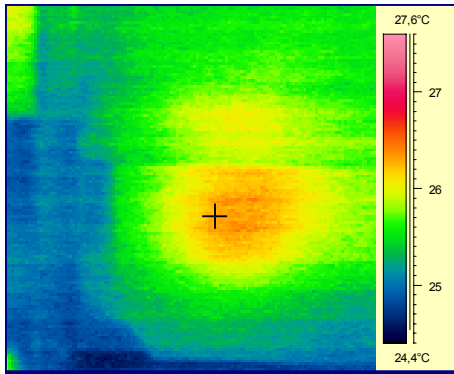
Messpunkt 28,3°C

**Abb. 3.27**

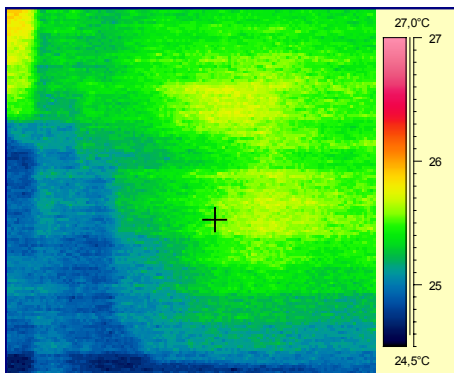
Handy ein + 14 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c / 14

Messpunkt &gt;28,3°C



**Abb. 3.28**  
Handy aus + 10 Minuten  
Thermo-Nr.: Feld\_c / 24  
Messpunkt 26,4°C

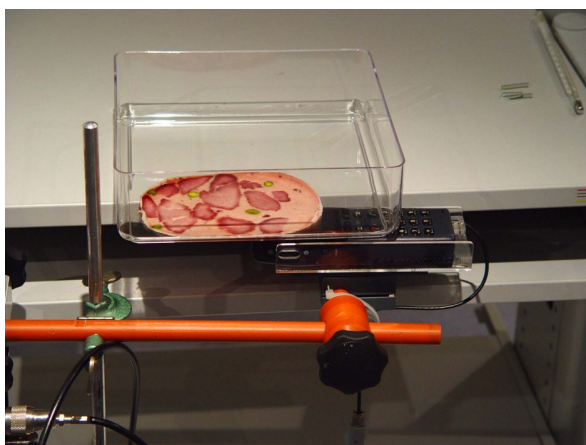


**Abb. 3.29**  
Handy aus + 17 Minuten  
Thermo-Nr.: Feld\_c / 27  
Messpunkt 25,6°C

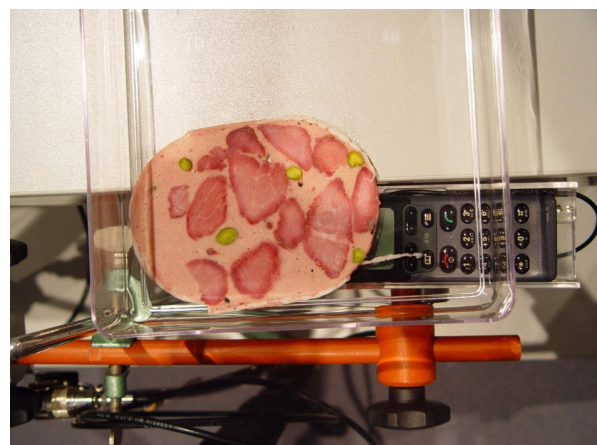
### 3.4 Registrierungen mit tierischem Gewebe

Zur Untersuchung auf Wärmeentwicklung in biologischem Gewebe wurden Thermographien mit einer ca. 2 mm dicken Wurstscheibe mit inhomogener Gewebestruktur durchgeführt.

Die Messanordnung zeigen die Abbildungen 3.30 und 3.31.



**Abb. 3.30**  
Messung an tierischem Gewebe



**Abb. 3.31**  
Messung an tierischem Gewebe

Die Tabelle 3.3 gibt eine Übersicht über die durchgeführten thermographischen Untersuchungen in ihrem zeitlichen Ablauf und die dabei registrierten Thermographien.

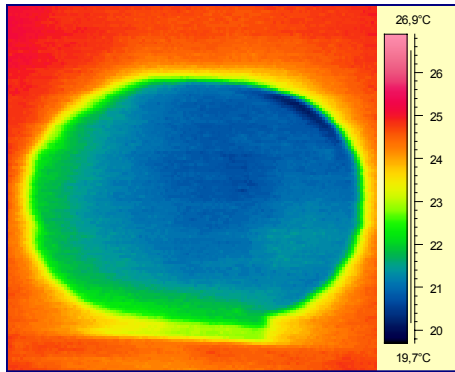
**Tab. 3.3** Thermographische Untersuchungen an tierischem Gewebe  
c1, c2: Kontinuierliches Feld; p1: Gepulstes Feld

Handy_tierGewebe	Feld_c1		Feld_c2		Feld_p1	
	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr
<b>Ohne Feld</b>		1				
		2			0	51
		3				
<b>Feld ein</b>	0	4	0		0	
			+1	60	+1	52
	+2	5				
			+3	61	+3	53
	+4	6				
			+5	62	+5	54
	+6	7				
			+7	63	+7	55
	+8	8				
			+9	64	+9	56
	+10	9				
			+11	65	+11	57
	+12	10				
			+13	66	+13	58
	+14	11				
			+15	67	+15	59
	+16	12				
			+17	68		
<b>c1: Feld aus</b>	+18 / 0	13				
			+19	69		
	+20 / +2	14				
			+21	70		
<b>c2: Feld aus</b>	+22 / +4	15	+22 / 0			
	+24 / +6	16	+24 / +2	71		
	+26 / +8	17				
	+28 / +10	18				
	+30 / +12	19				

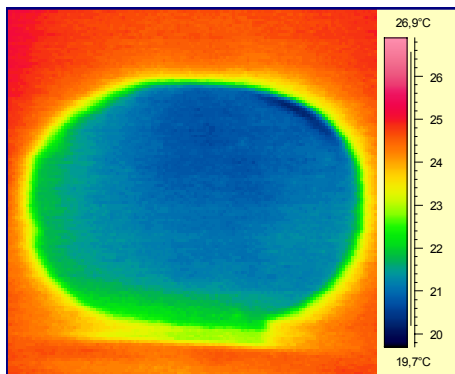


### 3.4.1 Gepulstes Feld

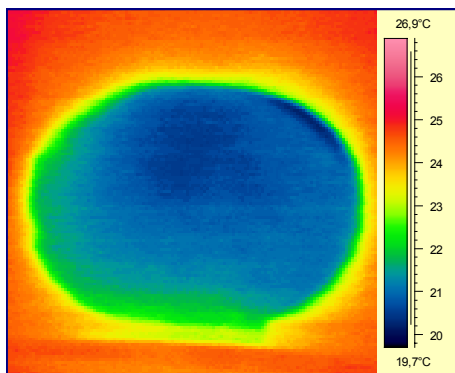
Wie bei der Registrierung mit der Absorptionsfolie ist unter Wirkung des pulsierenden Feldes keine Wärmeentwicklung nachzuweisen (Tab. 3.3 und Abb. 3.32 bis 3.34).



**Abb. 3.32**  
Handy aus  
Thermo-Nr.: Feld\_p1 / 51



**Abb. 3.33**  
Handy ein +1 Minute  
Thermo-Nr.: Feld\_p1 / 52

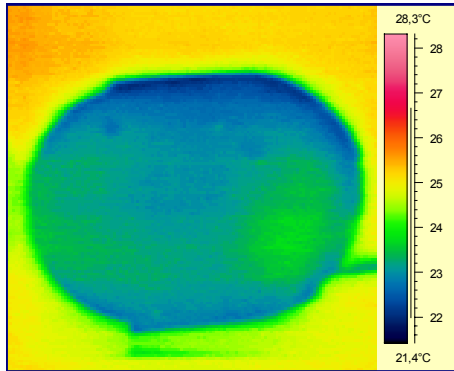


**Abb. 3.34**  
Handy ein +15 Minute  
Thermo-Nr.: Feld\_p1 / 59

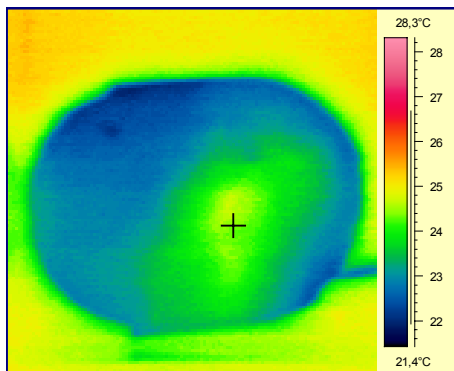
### 3.4.2 Kontinuierliches Feld

Die Registrierung unter Wirkung des kontinuierlichen Feldes zeigt wie bei der Ableitung mit der Absorptionsfolie einen deutlichen Temperaturanstieg von 2 K im Bereich des Handy-Lautsprechers.

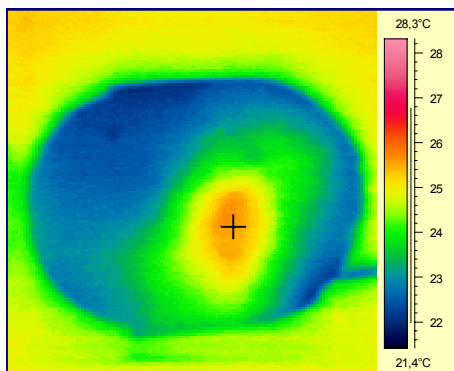
Inhomogenitäten des Gewebes werden im Thermogramm nicht abgebildet (Tab. 3.3 und Abb. 3.35 bis 3.41).



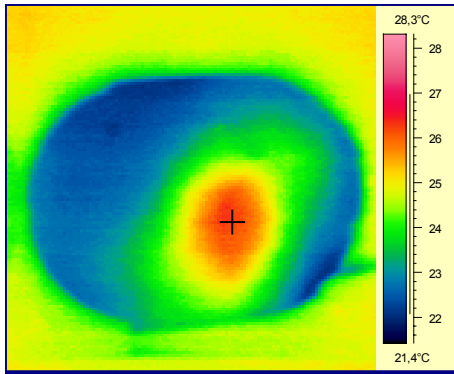
**Abb. 3.35**  
Handy aus  
Thermo-Nr.: Feld\_c1 / 3



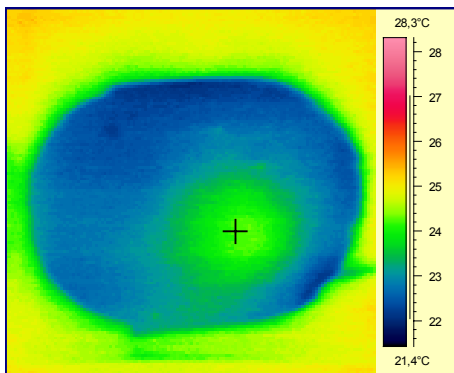
**Abb. 3.36**  
Handy ein + 2 Minuten  
Thermo-Nr.: Feld\_c1 / 5  
Messpunkt 24,5°C



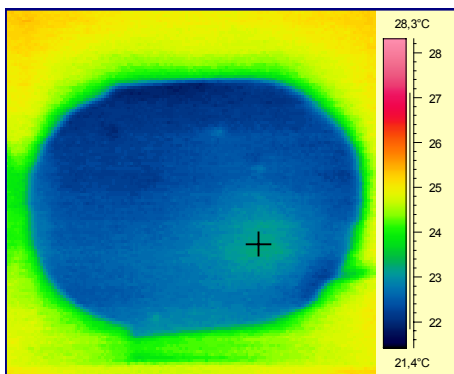
**Abb. 3.37**  
Handy ein + 6 Minuten  
Thermo-Nr.: Feld\_c1 / 7  
Messpunkt 25,7°C



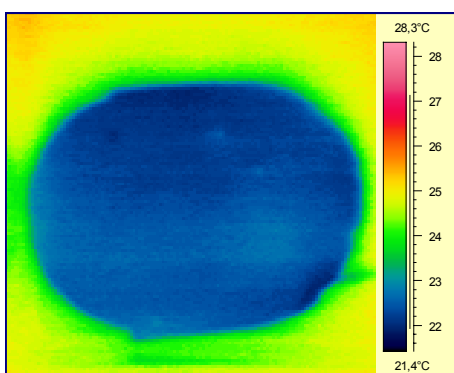
**Abb. 3.38**  
Handy ein + 18 Minuten  
Thermo-Nr.: Feld\_c1 / 13  
Messpunkt 26,3°C



**Abb. 3.39**  
Handy aus + 4 Minuten  
Thermo-Nr.: Feld\_c1 / 15  
Messpunkt 24,2°C



**Abb. 3.40**  
Handy aus + 8 Minuten  
Thermo-Nr.: Feld\_c1 / 17  
Messpunkt 23,1°C



**Abb. 3.41**  
Handy aus + 12 Minuten  
Thermo-Nr.: Feld\_c1 / 19

### 3.5 Registrierungen mit Felsenbeinpräparat

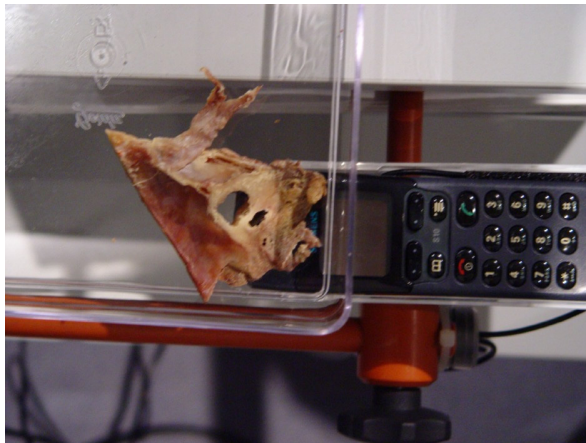
**Tab. 3.4** Thermographische Untersuchungen am Felsenbein  
 c\_tr: Kontinuierliches Feld, trockenes Präparat  
 c\_f: Kontinuierliches Feld, feuchtes Präparat  
 p\_f: Gepulstes Feld, feuchtes Präparat

Handy_Felsenbein	Feld_c_tr		Feld_c_f		Feld_p_f	
	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr	Zeit [Minuten]	Thermo-Nr
Ohne Feld	0	27	0	39	0	40
			+1	40		
			+2	41	+2	41
			+3	42		
			+4	43		
			+5	44	+5	42
			+6	45		
			+7	46	+7	43
			+8	47		
			+9	48		
<b>c_tr / p_f : Feld ein</b>	<b>0</b>		+10	49	+10 / <b>0</b>	
	<b>+1</b>	28	+11	50	+11 / <b>+1</b>	44
	<b>+2</b>	29	+12	51		
	<b>+3</b>	30	+13	52	+13 / <b>+3</b>	45
			+14	53		
	<b>+5</b>	31			+15 / <b>+5</b>	46
<b>c_f : Feld ein</b>			+16 / <b>+0</b>			
	<b>+7</b>	32	+17 / <b>+1</b>	54	+17 / <b>+7</b>	47
			+18 / <b>+2</b>	55		
	<b>+9</b>	33	+19 / <b>+3</b>	56	+19 / <b>+9</b>	48
			+20 / <b>+4</b>	57		
	<b>+11</b>	34	+21 / <b>+5</b>	58	+21 / <b>+11</b>	49
			+22 / <b>+6</b>	59		
	<b>+13</b>	35	+23 / <b>+7</b>	60	+23 / <b>+13</b>	50
<b>c_tr: Präparat entfernt</b>	<b>+14</b>	36	+24 / <b>+8</b>	61		
<b>c_tr: Schale entfernt</b>	<b>+15</b>		+25 / <b>+9</b>	62	+25 / <b>+15</b>	51
	<b>+16</b>	37	+26 / <b>+10</b>	63		
			+27 / <b>+11</b>	64	+27 / <b>+17</b>	52
<b>p_f: Feld aus</b>			+28 / <b>+12</b>	65	+28 / <b>+0</b>	53
			+29 / <b>+13</b>	66		
			+30 / <b>+14</b>	67	+30 / <b>+2</b>	54
			+31 / <b>+15</b>	68		
<b>c_f : Präparat entfernt</b>			+32 / <b>+16</b>	69		
<b>c_f : Schale entfernt</b>			+33 / <b>+17</b>	70		
<b>c_f: Feld aus</b>			+34 / <b>0</b>			
					+35 / <b>+7</b>	55
			+36 / <b>+2</b>	71		

Das zur Registrierung verwendete Felsenbeinpräparat ist parallel zur äußeren Schädeldwand etwa in Höhe des Bodens einer vorhandenen Antrotomiehöhle, lateral des Mittelohrs geschnitten. Damit entsteht ein Präparat mit einer knöchernen Schichtdicke in der Schnittebene von 18 mm.

Dieses Präparat wird analog zur Haltung bei Handybenutzung so über dem Handy der Expositionseinrichtung positioniert, dass der äußere Gehörgang über dem Lautsprecher liegt.

Die Abbildung 3.42 zeigt diese Messanordnung. In der Abbildung ist die größere Öffnung im Präparat die Antrotomiehöhle, die kleinere der äußere Gehörgang.

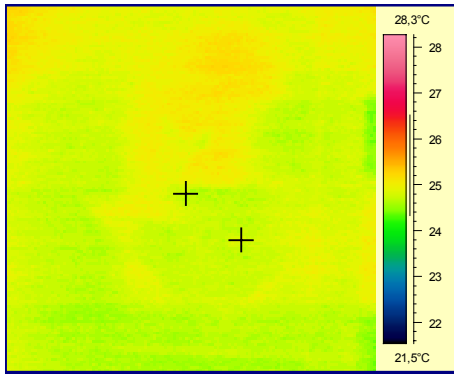


**Abb. 3.42**  
Messanordnung mit Felsenbeinpräparat

### 3.5.1 Trockenes Präparat – Kontinuierliches Feld

Messungen (siehe Tab. 3.4) erfolgen zunächst mit trockenem Präparat unter Applikation des kontinuierlichen Feldes, einen Auszug der Registrierungen zeigen die Abbildungen 3.43 bis 3.47. In den Thermogrammen sind die Konturen des Präparates schwach zu erkennen. Durch den äußeren Gehörgang und die Öffnung der Antrotomiehöhle ist die Erwärmung des darunter liegenden Handys zu beobachten. Eine Erwärmung des Gewebes unter Feldeinwirkung ist in der Schnittebene nicht nachzuweisen.

Die Abbildung 3.46 zeigt eine Thermographie nach Entfernen des Präparates aus der Messanordnung, Abbildung 3.47 nach zusätzlichem Entfernen der Piacryl-Schale.

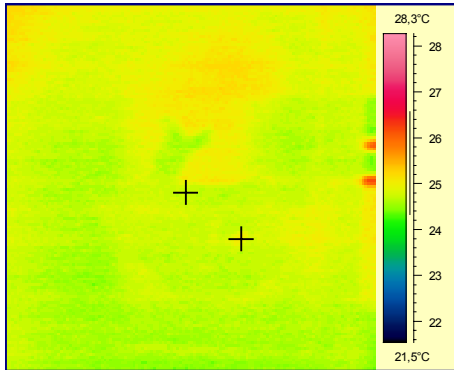
**Abb. 3.43**

Handy aus

Thermo-Nr.: Feld\_c\_tr / 27

Antenne 24,7°C

Hörer 24,9°C

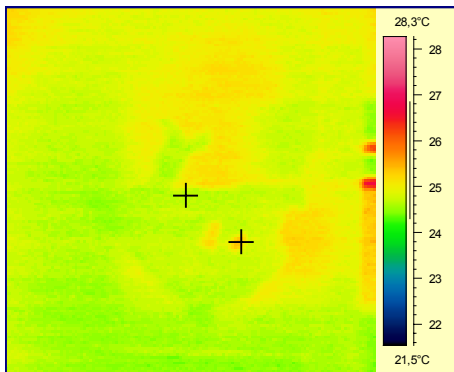
**Abb. 3.44**

Handy ein + 3 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c\_tr / 30

Antenne 24,8°C

Hörer 25,1°C

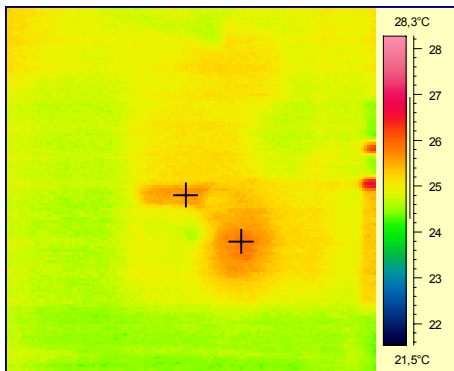
**Abb. 3.45**

Handy ein + 13 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_c\_tr / 35

Antenne 24,7°C

Hörer 25,3°C

**Abb. 3.46**

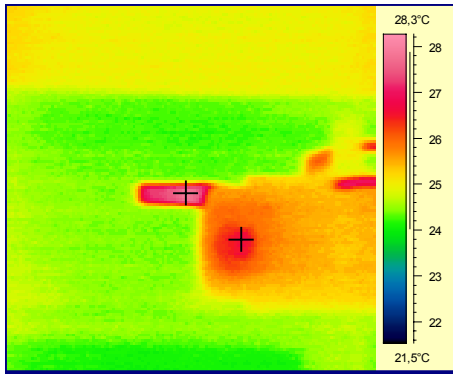
Handy ein + 14 Minuten

Präparat entfernt

Thermo-Nr.: Feld\_c\_tr / 36

Antenne 25,7°C

Hörer 25,8°C

**Abb. 3.47**

Handy ein + 16 Minuten

Präparat und Piacryl-Schale entfernt

Thermo-Nr.: Feld\_c\_tr / 37

Antenne 27,9°C

Hörer 26,8°C

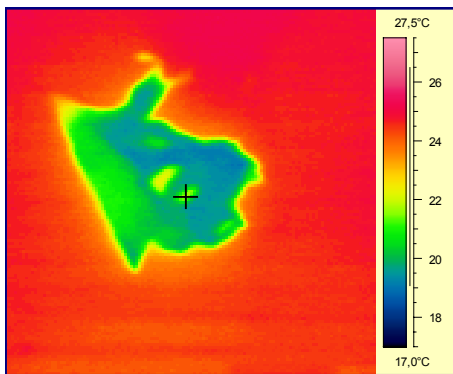
### 3.5.2 Feuchtes Präparat – Kontinuierliches und gepulstes Feld

Nach 24-stündiger Lagerung des Präparates in Wasser erfolgten die Messungen mit dem feuchten Präparat (Messablauf siehe Tab. 3.4).

Nach Einrichtung der Messanordnung mit dem Präparat diente eine 10minütige Wartezeit zum Ausgleich möglicher Verdunstungseffekte und Stabilisierung der Präparattemperatur.

Sowohl mit kontinuierlichem als auch mit gepulstem Feld ist keine Erwärmung des Gewebes unter Einwirkung des HF-Feldes nachweisbar.

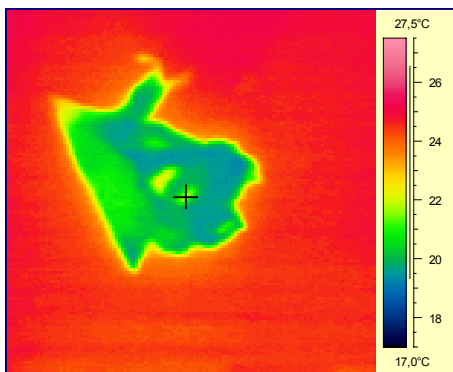
Die Abbildungen 3.48 bis 3.53 zeigen einen Auszug aus der Registrierung unter Wirkung des gepulsten Feldes.

**Abb. 3.48**

Handy aus

Thermo-Nr.: Feld\_p\_f / 40

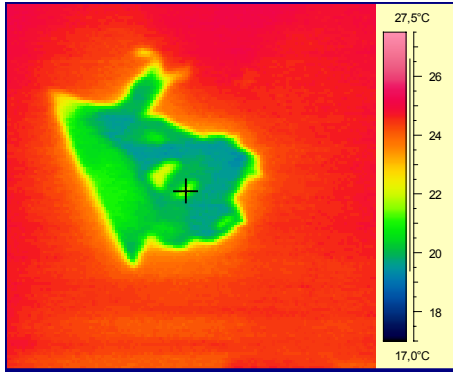
Hörer 21,9°C

**Abb. 3.49**

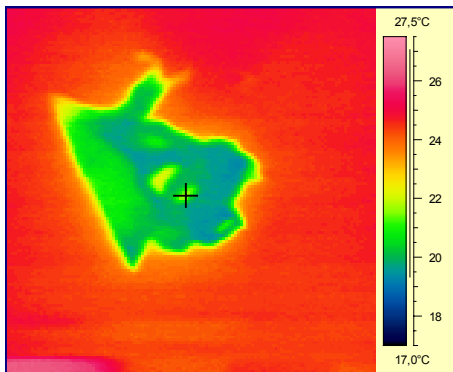
Handy aus + 7 Minuten

Thermo-Nr.: Feld\_p\_f / 43

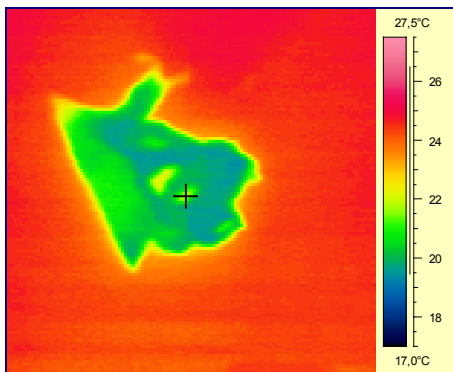
Hörer 21,7°C



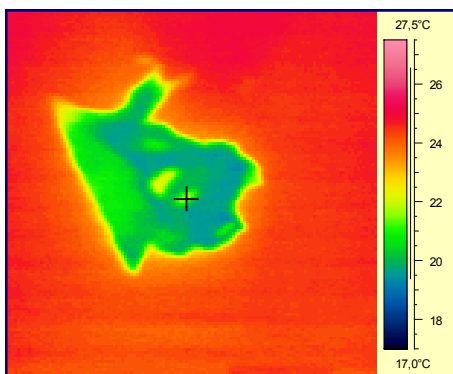
**Abb. 3.50**  
 Handy ein + 1 Minute  
 Thermo-Nr.: Feld\_p\_f / 44  
 Hörer 21,7°C



**Abb. 3.51**  
 Handy ein + 7 Minuten  
 Thermo-Nr.: Feld\_p\_f / 47  
 Hörer 21,7°C



**Abb. 3.52**  
 Handy ein + 13 Minuten  
 Thermo-Nr.: Feld\_p\_f / 50  
 Hörer 21,7°C



**Abb. 3.53**  
 Handy ein + 17 Minuten  
 Thermo-Nr.: Feld\_p\_f / 52  
 Hörer 21,7°C



### **3.6 Schlussfolgerungen**

Bei den durchgeführten Untersuchungen an verschiedenen Modell-Materialien zeigten sich nur bei Applikation des ungeladenen, kontinuierlichen Feldes deutliche Temperaturerhöhungen in der Größenordnung von 2 K.

Am Felsenbeinpräparat mit einer Knochenstärke von 18 mm wurde in keinem Fall ein Temperaturanstieg unter Einwirkung des HF-Feldes nachgewiesen.

Die Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass durch das Handy keine Temperaturerhöhungen induziert werden, die zu einem relevanten Stimulus für das Hör- sowie Gleichgewichtssystem führen.

## 4 Wirkung von HF-Feldern auf das vestibuläre System

Arbeitshypothese für die Suche nach Wirkungen der elektromagnetischen Strahlung auf das Gleichgewichtssystem ist neben möglicher zentralnervöser Wirkungen die Auslösung thermischer Effekte im Bogengang durch das HF-Feld.

Solche thermischen Effekte führen in Abhängigkeit von ihrer Größe zu einer vestibulären Stimulation, die ihren Ausdruck in der Generierung nystagmischer Augenbewegungen im vestibulo-okulären Reflexbogen findet.

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand führt eine Temperaturänderung am lateralen Bogengang von 0,1 K zur Auslösung eines peripher-vestibulären Nystagmus.

In der Untersuchungsserie war also nach dem Auftreten nystagmischer Augenbewegungen zu suchen, die durch Exposition mit einem HF-Feld ausgelöst wurden.

### 4.1 Material und Methode

In der Untersuchungsserie V1 wurden mit 13 vestibulär unauffälligen, ohrgesunden Probanden (5 männlich, 8 weiblich, Alter zwischen 29 und 58 Jahren, Durchschnittsalter 47,5 Jahre) ohne zusätzliche vestibuläre Stimulation Registrierungen mit der Video-Nystagmographie realisiert. Dabei kam die am 24.07.2001 erprobte und eingemessene Probanden-Expositionseinrichtung zur Anwendung.

Es wurden für jedes Ohr Messungen jeweils ohne und mit eingeschaltetem Handy mit kontinuierlichem sowie gepulstem HF-Feld durchgeführt. So ergeben sich für jeden Probanden 8 Registrierungen, für 26 Innen-Ohren je 4 Registrierungen.

In diesen Messreihen ist nach dem Auftreten von Nystagmen durch den Einfluss des HF-Feldes zu suchen.

Entsprechend der Einmessung des Probanden-Expositionssystems wurde vor und nach jeder Messung mit eingeschaltetem Handy mit dem Leistungsmesser die am Mobiltelefon eingespeiste Leistung von 2,2 W kontrolliert.

Im Gegensatz zur Voruntersuchung wurden die Untersuchungen nicht am sitzenden, sondern liegenden Probanden bei um 30 Grad angehobenem Oberkörper durchgeführt (Abb. 4.1). Mit dieser sogenannten Optimumstellung nach Brünings wird erreicht, dass mögliche thermische Wirkungen des elektromagnetischen Feldes auf die Endolympe der Bogengänge (hier insbesondere des lateralen Bogenganges) eine größtmögliche Stimulierung des vestibulären Rezeptors bewirken.

Die Untersuchungen erfolgten im abgedunkelten Raum mit abgedeckter Videobrille (Abb. 4.1). Dadurch wurde eine visuelle Suppression möglicher durch Wirkung des HF-Feldes ausgelöster vestibulärer Nystagmen ausgeschlossen.

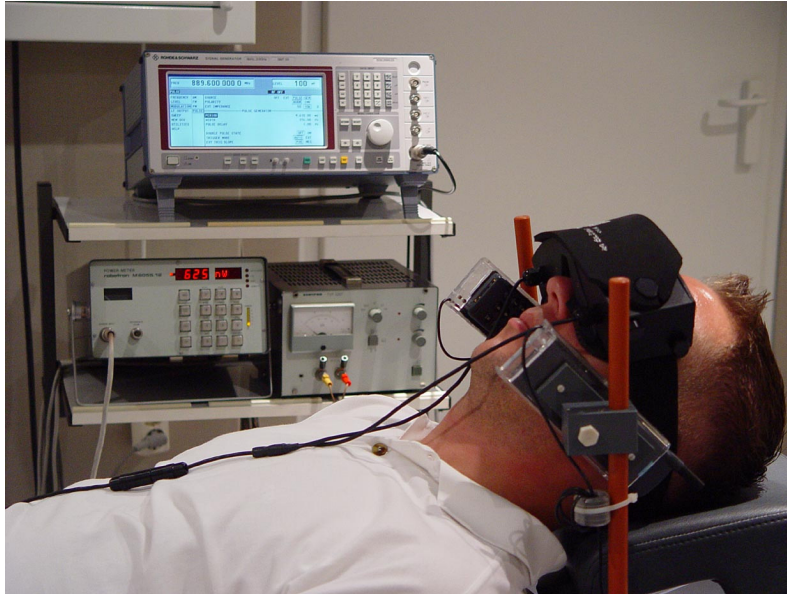
Die Registrierung erfolgte mit dem Video-Computer-Nystagmographen der Firma Hortmann mit dem in der klinischen Routine angewendeten Messablauf für die thermische Vestibularisprüfung in zwei Messreihen:

V1c: Exposition mit kontinuierlichem HF-Feld

V1p: Exposition mit gepulstem HF-Feld.

Jede Messreihe umfasst dabei 4 Registrierungen der Augenbewegungen mit einer dreiminütigen Pause zwischen den Messungen für das linke und das rechte Ohr:

1. 2 Minuten Registrierung linkes Ohr / ohne HF-Feld
2. 2 Minuten Registrierung linkes Ohr / mit HF-Feld
3. 2 Minuten Registrierung rechtes Ohr / ohne HF-Feld
4. 2 Minuten Registrierung rechtes Ohr / mit HF-Feld



**Abb. 4.1**  
Messanordnung bei der  
Video-  
Nystagmographie

## 4.2 Ergebnisse

Zur Darstellung und Auswertung der Registrierungen wird die Standard-Software des Computer-Nystagmographen für die thermische Prüfung eingesetzt. Die Abbildungen 4.2 und 4.3 zeigen beispielhaft die Messprotokolle dieser Software für den Probanden 1.

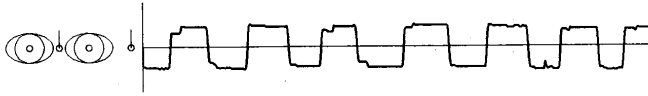
In den Protokollen ist das Feld Patient als Probandenbezeichnung V1R-NK in folgender Weise gebildet:

- 1. und 2. Stelle: V1
- 3. Stelle: R = Messsituation = p: gepulstes Feld  
= c: kontinuierliches Feld
- 4. Stelle: –
- 5. Stelle: N = laufende Nummer des Probanden
- 6. Stelle: K = leer: Ergebnisse nach automatischer Nystagmuserkennung  
K = k: Ergebnisse nach manueller Korrektur der automatischen Nystagmuserkennung

Es gilt folgende Zuordnung der einzelnen Registrierungen zu denen der thermischen Prüfung in der Routineanwendung der Software, wie sie in den Messprotokollen bezeichnet sind:

- |                       |   |          |
|-----------------------|---|----------|
| 1. Links / ohne Feld  | → | 30 °C LO |
| 2. Links / mit Feld   | → | 44 °C LO |
| 3. Rechts / ohne Feld | → | 30 °C RO |
| 4. Rechts / mit Feld  | → | 44 °C RO |

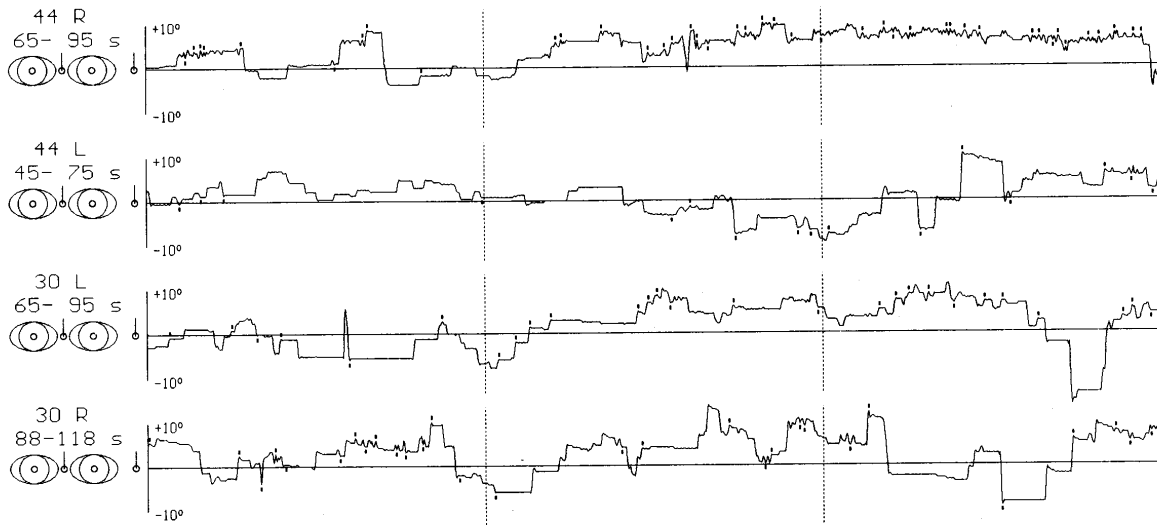
KALIBRIERKURVE



SPONTANNYSTAGMUS

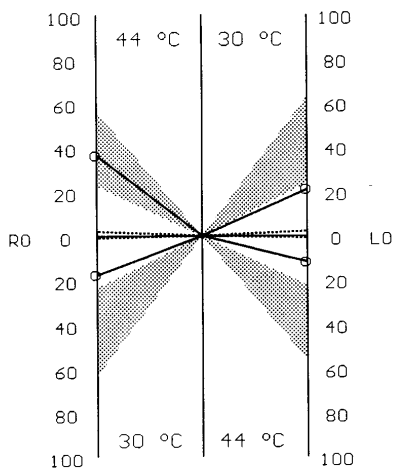


KALORISCHE PRÜFUNG



FREQUENZ-KALORIGRAMM

Kalorischer Nystagmus

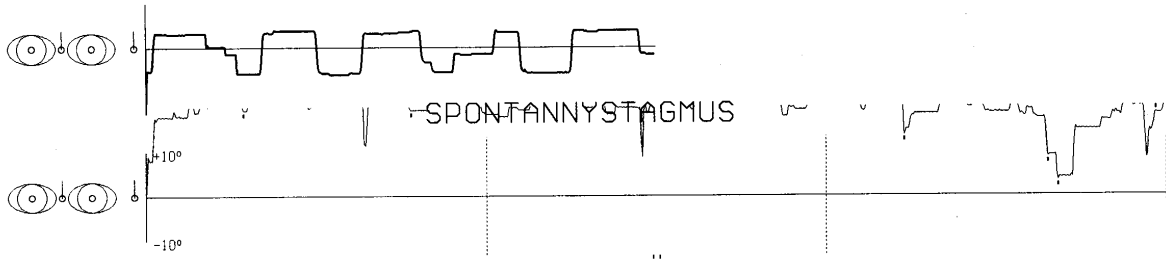


Stim	Freq [N/30s]	Kulm * [s]	Ampl [µV]
R 44	36	65- 95	17.8
L 44	12	45- 75	31.3
L 30	21	65- 95	24.2
R 30	18	88-118	27.0
Sp R	2		
Sp L	1		
EB	re 54	li 33	
ED	$\frac{\langle RW+RK \rangle - \langle LW+LK \rangle}{\langle RW+RK+LW+LK \rangle}$		24.1
RÜ	$\frac{\langle RW+LK \rangle - \langle LW+RK \rangle}{\langle RW+RK+LW+LK \rangle}$		31.0

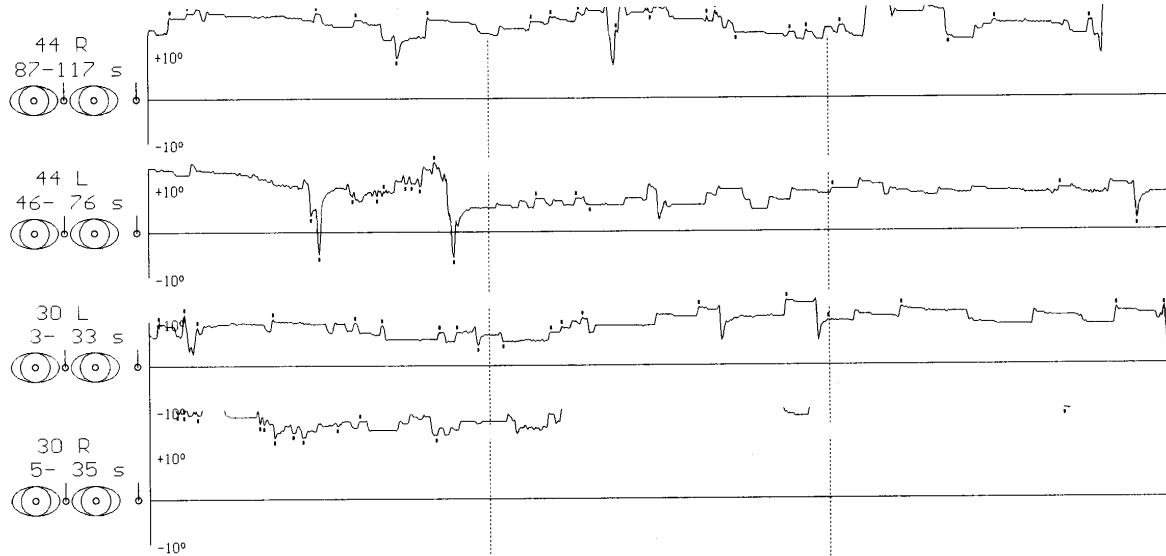
\* Plus Dauer der Spülung

Abb. 4.2 Video-Computer-Nystagmographie Proband 1, kontinuierliches Feld

KALIBRIERKURVE

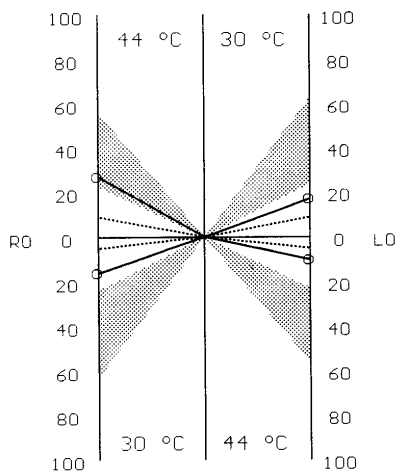


KALORISCHE PRÜFUNG



FREQUENZ-KALORIGRAMM

Kalorischer Nystagmus



Stim	Freq [N/30s]	Kulm * [s]	Ampl [µU]
R 44	27	87-117	25.2
L 44	10	46- 76	45.2
L 30	17	3- 33	22.5
R 30	16	5- 35	20.1
Sp R	9		
Sp L	5		
EB	re 43	li 27	
ED	$\frac{<RW+RK> - <LW+LK>}{<RW+RK+LW+LK>}$		22.9
RÜ	$\frac{<RW+LK> - <LW+RK>}{<RW+RK+LW+LK>}$		25.7

\* Plus Dauer der Spülung

Abb. 4.3 Video-Computer-Nystagmographie Proband 1, gepulstes Feld

Als Kriterien für die automatische Nystagmuserkennung werden die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

Minimale Amplitude [Winkelgrad]	Maximale Amplitude [Winkelgrad]	Maximale FPV [Winkelgrad/Sekunde]	SPV/FPV [%]
1,0	35,5	200	5,0

FPV = Fast Phase Velocity – Geschwindigkeit der schnellen Nystagmusphase

SPV = Slow Phase Velocity – Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase

Die Ergebnisse der Ableitungen für Probanden 1 zeigt Abb. 4.2 für das kontinuierliche HF-Feld, Abb. 4.3 für das gepulste Feld. Dargestellt sind die Resultate der automatischen Auswertung durch das Nystagmographie-System ohne vorherige manuelle Korrektur der Nystagmuserkennung.

Die Graphik zeigt nach der Kalibrierkurve und einer 30-Sekunden-Registrierung zur Kontrolle auf Spontannystagmus den automatisch ermittelten 30-Sekunden-Abschnitt der Kulminationsphase für die 4 Registrierungen. Dies ist der Abschnitt innerhalb der Messzeit von 2 Minuten, in dem die Zahl der erkannten Nystagmusschläge ein Maximum erreicht.

Im Frequenz-Kalorigramm ist diese „zentrale Nystagmusfrequenz“ für die 4 Messsituationen entsprechend den oben genannten Zuordnungen graphisch dargestellt.

In der Tabelle sind die Zahlenwerte für den Zeitabschnitt der Kulminationsphase, die Frequenz sowie die durchschnittliche Nystagmusamplitude wiedergegeben.

Unsymmetrien im Frequenz-Kalorigramm zugunsten der Messungen mit HF-Feld (in der Darstellung mit 44 R bzw. 44 L bezeichnet) können eine vestibuläre Reaktion unter der Feldwirkung vermuten lassen.

Solche Unsymmetrien treten bei den Messungen mit kontinuierlichem Feld V1c bei den Probanden 1 (Abb. 4.2) sowie 5, 7, 8 und 10 auf, bei Messungen mit gepulstem Feld V1p bei den Probanden 1 (Abb. 4.3) sowie 5, 7 und 9.

Diese Unsymmetrien sind in allen Fällen nur für ein Ohr zu beobachten.

Da sich diese Unsymmetrien in der Größe der mittleren Nystagmusamplitude bei den Probanden 1 (Tabelle in Abb. 4.2), 5, 7 und 8 der Messreihe V1c sowie bei den Probanden 1 (Tabelle in Abb. 4.3), 5 und 9 der Messreihe V1p nicht bestätigen, können sie für diese Probanden nicht als Hinweis auf eine vestibuläre Reaktion gewertet werden.

Für die verbleibenden Probanden V1c-10 und V1p-7 wurde eine manuelle Korrektur der Nystagmuserkennung durchgeführt. Damit verschwinden die Unsymmetrien im Frequenz-Kalorigramm und somit Hinweise auf eine durch das HF-Feld ausgelöste vestibuläre Reaktion.

Nystagmische Augenbewegungen nur in der Ableitung mit Feldexposition sind in der Untersuchungsserie im Fall des Probanden 13 zu beobachten. Nystagmen treten sowohl bei der Exposition mit kontinuierlichem als auch gepulstem Feld jeweils nur auf der rechten Seite auf.

Dieser Proband gab an, bei länger dauernden Gesprächen über Handy deutliche Wärmeempfindungen auf der Handyseite zu haben. Eine Seitenzuordnung konnte von ihm nicht angegeben werden.

Die in den ersten Ableitungen (kontinuierliches und gepulstes Feld) beobachteten nystagmischen Augenbewegungen konnten bei jeweils drei zeitgetrennten Wiederholungen nicht reproduziert werden.

### **4.3 Schlussfolgerungen**

Die video-nystagmografischen Ableitungen an 26 Innenohren ergaben sowohl für das gepulste als auch das kontinuierliche HF-Feld keine Hinweise auf durch die Feldwirkungen ausgelöste vestibuläre Reaktionen.

Die in der ersten Sitzung bei einem Probanden in der Ableitung unter Feldexposition registrierten nystagmischen Augenbewegungen konnten in insgesamt 3 Wiederholungs-Ableitungen nicht reproduziert werden. Sie konnten somit nicht als vestibuläre Reaktion auf das HF-Feld gewertet werden.

## 5 Wirkung von HF-Feldern auf das Hörsystem

### 5.1 Ableitung akustisch evozierter Potentiale – BERA

Zur Untersuchung auf Wirkungen der HF-Felder auf das Hörsystem wurden frühe akustisch evozierte Potentiale mit der Methode der Click-BERA (Brainstem Electric Response Audiometrie – Hirnstammaudiometrie) abgeleitet. Die Anwendung der frequenzspezifischen Notched-Noise-BERA wurde nach Vorversuchen verworfen. Diese Methode liefert weniger stabile Ergebnisse mit größeren intraindividuellen Variabilitäten.

Die frühen akustisch evozierten Potentiale sind durch das Auftreten der Wellen I bis V innerhalb bestimmter Latenzen und damit auch durch bestimmte Interpeak-Latenzen zwischen den einzelnen Wellen gekennzeichnet.

Welle I hat ihren Ursprung im Nervus cochlearis, Welle III im oberen Olivenkomplex und Welle V im Colliculus inferior im Hirnstamm. Die Interpeak-Latenz zwischen Welle I und Welle V wird daher auch als Hirnstammlaufzeit bezeichnet.

Diese Potentiale werden durch akustische Stimuli bestimmter Form-Clicks evoziert. Latenz und Amplitude der Potentiale sind vom Pegel des akustischen Stimulus (hier dB Hearing Level) abhängig.

In die Bewertung der Potentiale werden in der Regel die Wellen I, III und V einbezogen.

In dieser Studie wurden zur Bewertung eines möglichen Einflusses der HF-Felder auf das Innenohr die Absolutlatenzen der Wellen I, III und V sowie die Interpeak-Latenz zwischen den Wellen I und V heran gezogen. Damit sind Aussagen zu Einflüssen auf das Innenohr sowie neurale Strukturen bis hin zum Hirnstamm möglich. Höhere neurale Strukturen werden nicht erfasst.

#### 5.1.1 Material und Methode

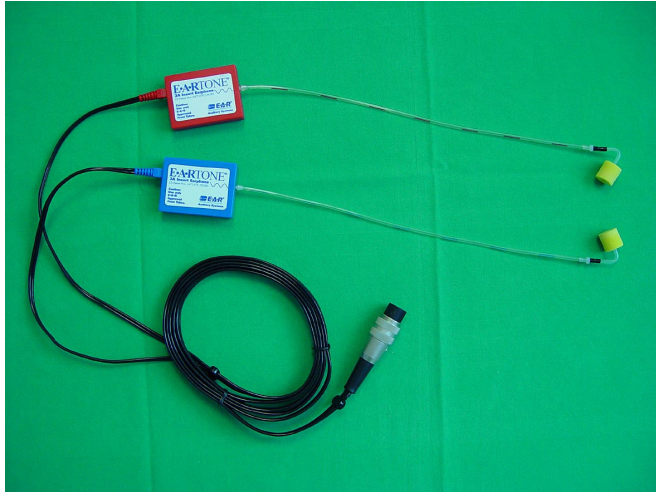
In die Untersuchung einbezogen wurden 12 ohrgesunde, normalhörende Probanden (5 männlich, 7 weiblich, Alter zwischen 19 und 57 Jahren, Durchschnittsalter 27,8 Jahre).

Zur Anwendung kam das Messsystem evoselect der Firma Pilot Blankenfelde. Die Stimulusfrequenz betrug 16 Hz. Die akustisch evozierten Potentiale für jeden Stimuluspegel wurden durch Mittelwertberechnung aus jeweils 2000 Sweeps dargestellt. Für jeden Stimuluspegel ergab sich damit bei artefaktfreier Ableitung eine Messzeit von 125 s. Diese Messzeit erhöhte sich durch auftretende Artefakte auf durchschnittlich 3 min. Zur Optimierung der Darstellung wurden die Potentiale mit einem 1500-Hz-Tiefpassfilter und einem 50-Hz-Kerbfilter gefiltert.

Zur Ableitung der Potentiale wurden Napf-Elektroden (Silber-Silberchlorid) mit einem klebenden Elektrodengel auf dem linken und dem rechten Mastoid, der Stirn und dem Vertex platziert.

Zur akustischen Stimulierung der Hörorgane kamen speziell an das BERA-System angepasste Einsteckhörer zur Anwendung (Abb. 5.1). Im Gegensatz zu sonst verwendeten herkömmlichen Kopfhörern sind bei diesen die Schallerzeuger entfernt vom Ohr platziert, und der Schall wird über einen Schlauch zum äußeren Gehörgang geleitet. Dadurch konnten bei den Untersuchungen die Handys der Expositionseinrichtung in normaler Gebrauchshaltung positioniert werden (Abb. 5.2).





**Abb. 5.1**  
Einsteckhörer für BERA-Ab-  
leitung

### Versuchsablauf

In jeder Messsituation erfolgten für das linke und das rechte Ohr in der Regel Ableitungen mit den Stimuluspegeln 50 dB, 55 dB und 60 dB. Dieser Pegelbereich wurde gewählt, um über der Hörschwelle der Probanden zu stimulieren und damit sicher zu identifizierende und zu bewertende Potentiale zu erhalten.

Nach Applikation der Elektroden und Positionierung der Expositionseinrichtung (Abb. 5.2) erfolgten zunächst Registrierungen an beiden Ohren ohne Feld. Dann wurde mit gepulstem Feld, danach mit kontinuierlichem Feld abgeleitet. Anschließend wurde erneut ohne Feldwirkung registriert. Zwischen den unterschiedlichen Messsituationen lagen Pausen von je 3 Minuten. Innerhalb dieser Zeit wurde der Sitz der Ableitelektroden durch Bestimmung des Elektroden-Haut-Übergangswiderstandes kontrolliert und wenn notwendig korrigiert.

Somit ergab sich folgender Versuchsablauf mit 4 Messsituationen zu je 2 Registrierungen:

(a) Messsituation v

- 3 Minuten Registrierung linkes Ohr / ohne HF-Feld
- 3 Minuten Registrierung rechtes Ohr / ohne HF-Feld
- 3 Minuten Pause

(b) Messsituation p

- 3 Minuten Registrierung linkes Ohr / mit gepulstem HF-Feld
- 3 Minuten Registrierung rechtes Ohr / mit gepulstem HF-Feld
- 3 Minuten Pause

(c) Messsituation c

- 3 Minuten Registrierung linkes Ohr / mit kontinuierlichem HF-Feld
- 3 Minuten Registrierung rechtes Ohr / mit kontinuierlichem HF-Feld
- 3 Minuten Pause

(d) Messsituation n

- 3 Minuten Registrierung linkes Ohr / ohne HF-Feld
- 3 Minuten Registrierung rechtes Ohr / ohne HF-Feld

Die Registrierzeit von jeweils 3 Minuten ist ein Durchschnittswert. Diese Zeit variierte zwischen den einzelnen Probanden und Ableitungen infolge der unterschiedlichen Zahl auftretender Artefakte.

Der Artefaktminimierung diene eine ausführliche Darstellung des Messablaufes für den Probanden und eine damit erreichte möglichst ruhige Grundhaltung der Versuchsperson. Um Artefakte durch Muskelaktivitäten zu minimieren, wurden die Ableitungen in halbliegender, muskulär möglichst entspannter Position der Probanden durchgeführt.



**Abb. 5.2**  
Messanordnung bei BERA-  
Registrierung

### 5.1.2 Ergebnisse

Unter Anwendung der Software des Gerätesystems zur Bewertung der abgeleiteten Potentiale wurden die Wellen I, III und V manuell identifiziert.

Der Probandenname wurde in folgender Weise gebildet:

- |                   |                               |  |
|-------------------|-------------------------------|--|
| 1. und 2. Stelle: | Initialen des Probandennamens |  |
| 3. Stelle:        | Geschlecht                    | m: männlich<br>w: weiblich   |
| 4. Stelle:        | –                             |  |
| 5. Stelle         | Messsituation                 | v: vor Feldwirkung<br>p: gepulstes Feld<br>c: kontinuierliches Feld<br>n: nach Feldwirkung |

Die Abbildungen 5.3 bis 5.6 zeigen als Beispiel die Mess- und Auswerteprotokolle für das rechte und das linke Ohr zu den Messsituationen v, p, c und n für den Probanden 9.

Im Messprotokoll stellen die beiden kleineren Grafiken oben die Absolutlatenzen der Wellen I, III und V in Abhängigkeit von den angewendeten Stimuluspegeln für das rechte und das linke Ohr dar.

In der angewendeten Software wird bei der Triggerung der Potentialableitung durch den Stimulus der längere Schallübertragungsweg vom Schallerzeuger des Einsteckhörers über den Schallschlauch zum äußeren Gehörgang nicht berücksichtigt. Dadurch ist erklärt, dass für alle Ableitungen die ermittelten Werte der Absolutlatenzen über den Normwerten liegen, die bei Verwendung herkömmlicher Kopfhörer gelten. Dieser Umstand hat keinen Einfluss auf das Ergebnis der Studie, da hier eine Aussage durch Vergleich zwischen den ermittelten Absolut- und Interpeak-Latenzen der verschiedenen Messsituationen gewonnen wurde.

Die beiden größeren Grafiken in der Mitte des Messprotokolls zeigen für die angewendeten Stimuluspegel die abgeleiteten Potentiale mit den Markierungen der identifizierten Wellen I, III und V. Unter den Werten der Stimuluspegel ist hier die Häufigkeit von Artefakten in Prozent für diese Ableitung angegeben.

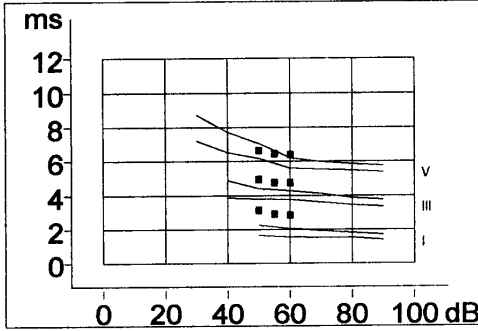
Die Tabellen enthalten die vom System berechneten Absolut- und Interpeak-Latenzen.

Die Werte der Absolutlatenzen und der Interpeak-Latenz I-V wurden zur statistischen Auswertung in Dateien des Statistik-Programmsystems SPSS übertragen. Dabei wurde die Gruppengröße dadurch verdoppelt, dass das rechte und das linke Ohr als getrennte Systeme betrachtet wurden.

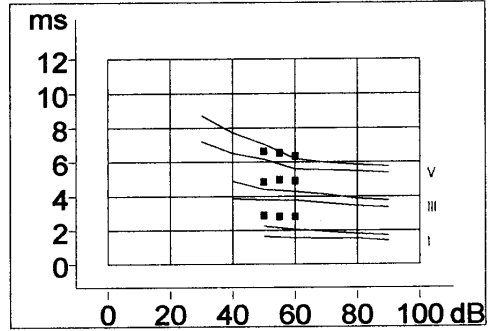


# Latenzauswertung Klick

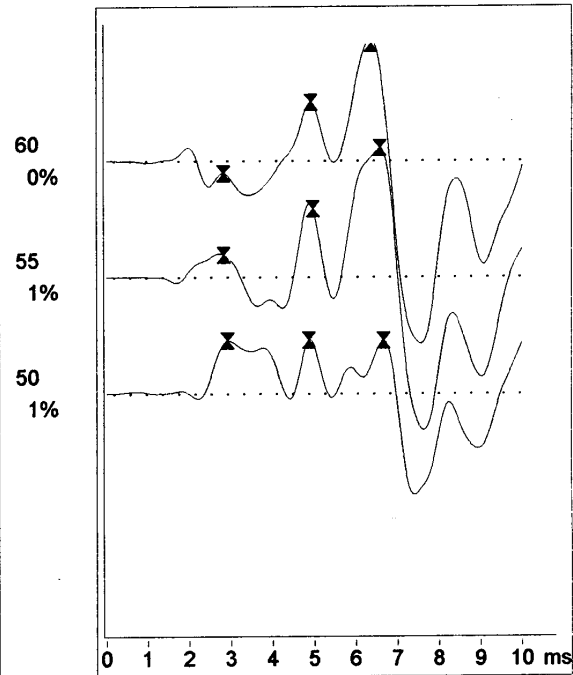
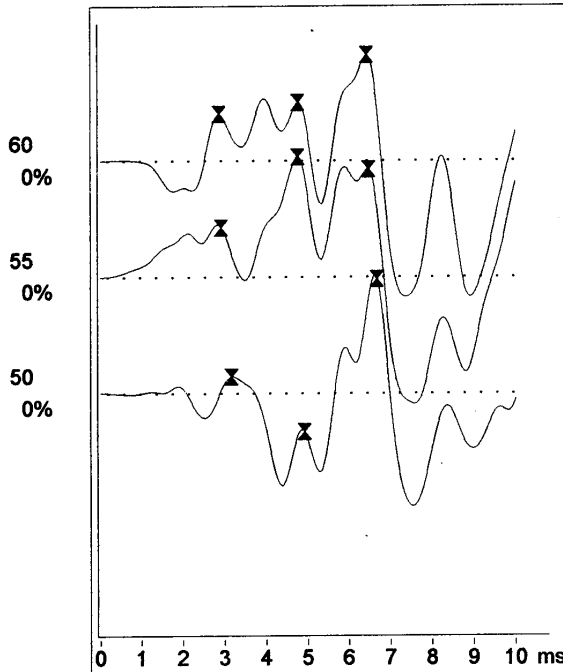
Name: SMw\_v  
 Vorname: M  
 Geb: 28.7.1984



Rechts



Links



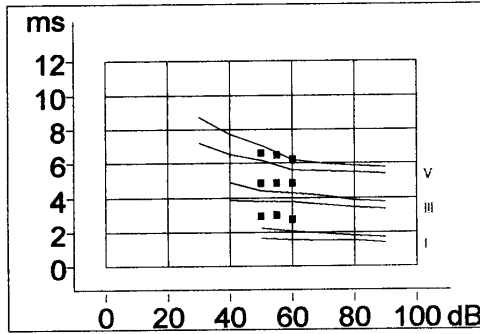
P	I	II	III	IV	V	I-III	I-V	III-V	I	II	III	IV	V	I-III	I-V	III-V	d(I-III)	d(I-V)	d(III-V)	d(V)
60	2.85		4.75		6.40	1.90	3.55	1.65	2.82		4.90		6.35	2.08	3.53	1.45	0.18	0.02	0.20	0.05
55	2.92		4.75		6.45	1.83	3.53	1.70	2.82		4.98		6.55	2.15	3.73	1.57	0.32	0.20	0.13	0.10
50	3.16		4.93		6.65	1.77	3.49	1.72	2.90		4.85		6.65	1.95	3.75	1.80	0.18	0.26	0.08	0.00

Abb. 5.3 Hirnstammaudiometrie Proband 9 – vor Feldwirkung

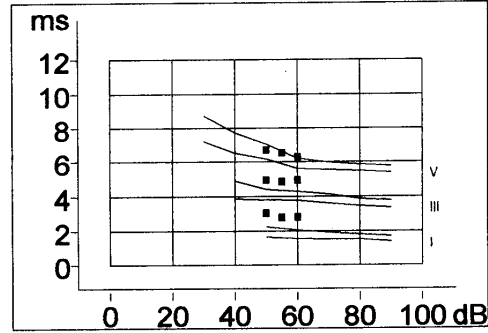


# Latenzauswertung Klick

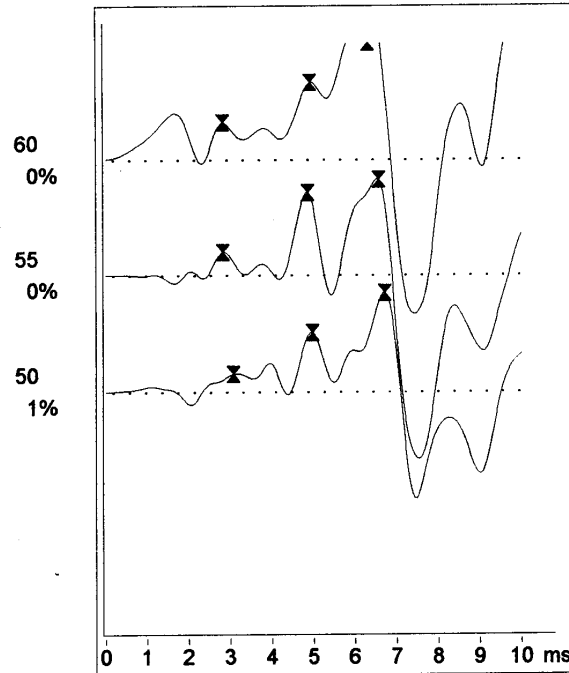
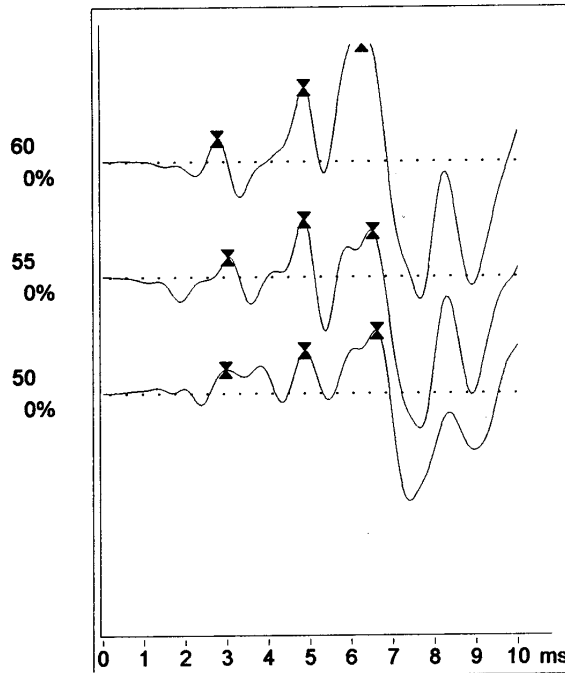
Name: SMw\_p  
 Vorname: M  
 Geb: 28.7.1984



Rechts



Links



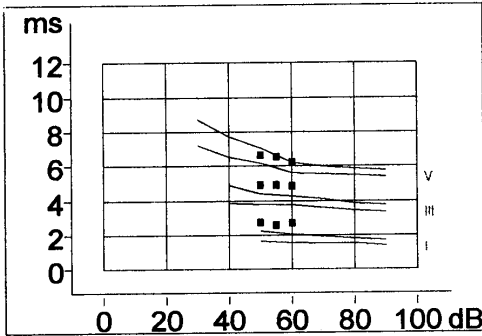
P	I	II	III	IV	V	I-III	I-V	III-V	I	II	III	IV	V	I-III	I-V	III-V	d(I-III)	d(I-V)	d(III-V)	d(V)
60	2.75		4.85		6.25	2.10	3.50	1.40	2.82		4.93		6.30	2.11	3.48	1.37	0.01	0.02	0.03	0.05
55	3.00		4.85		6.50	1.85	3.50	1.65	2.80		4.85		6.55	2.05	3.75	1.70	0.20	0.25	0.05	0.05
50	2.95		4.85		6.60	1.90	3.65	1.75	3.05		4.95		6.70	1.90	3.65	1.75	0.00	0.00	0.00	0.10

Abb. 5.4 Hirnstammaudiometrie Proband 9 – gepulstes Feld

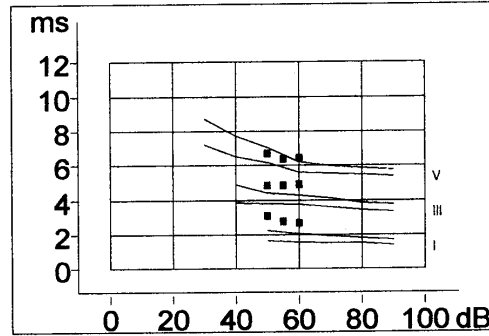


# Latenzauswertung Klick

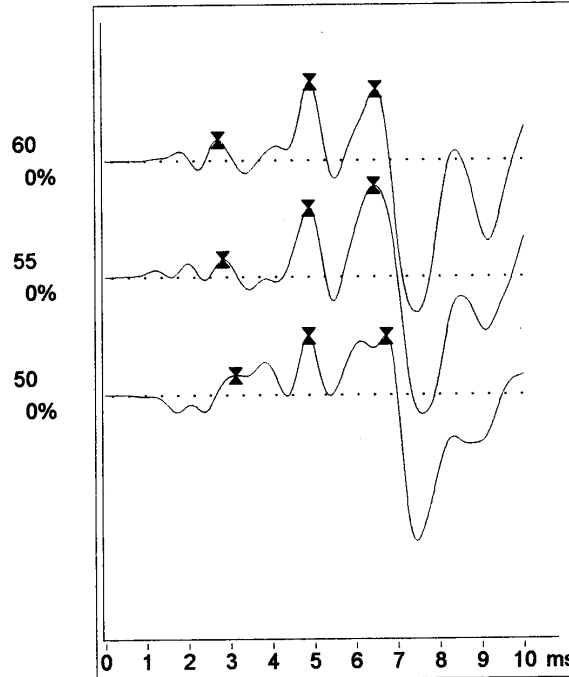
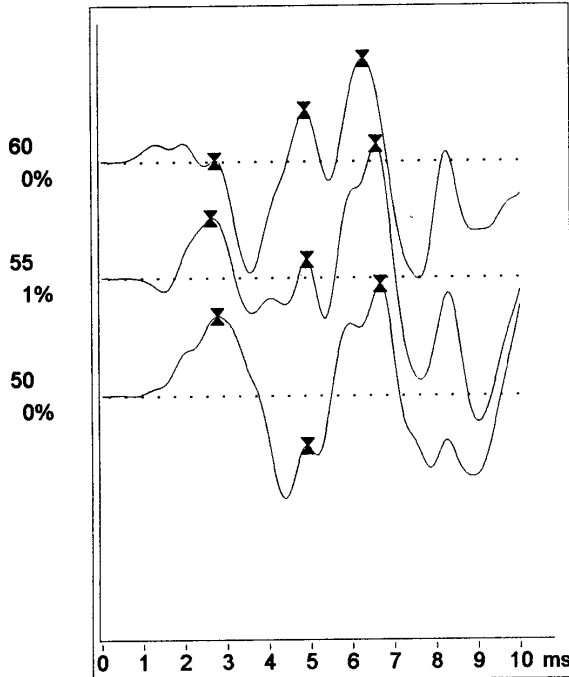
Name: SMw\_c  
 Vorname: M  
 Geb: 28.7.1984



Rechts



Links



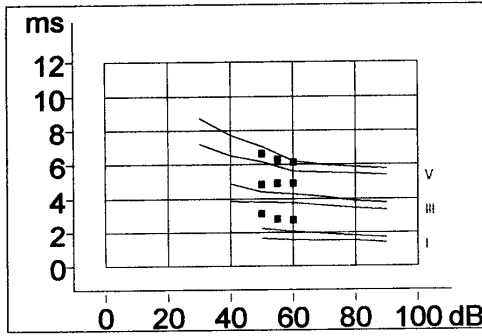
P	Rechts							Links							Differenzen					
	I	II	III	IV	V	I-III	I-V	III-V	I	II	III	IV	V	I-III	I-V	III-V	d(I-III)	d(I-V)	d(III-V)	d(V)
60	2.73		4.85		6.25	2.12	3.52	1.40	2.70		4.90		6.45	2.20	3.75	1.55	0.08	0.23	0.15	0.20
55	2.60		4.90		6.55	2.30	3.95	1.65	2.80		4.85		6.40	2.05	3.60	1.55	0.25	0.35	0.10	0.15
50	2.75		4.90		6.65	2.15	3.90	1.75	3.10		4.85		6.70	1.75	3.60	1.85	0.40	0.30	0.10	0.05

Abb. 5.5 Hirnstammaudiometrie Proband 9 – kontinuierliches Feld

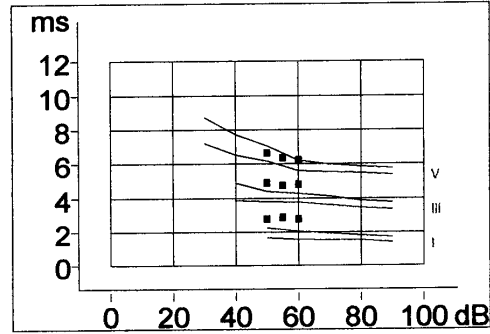


# Latenzauswertung Klick

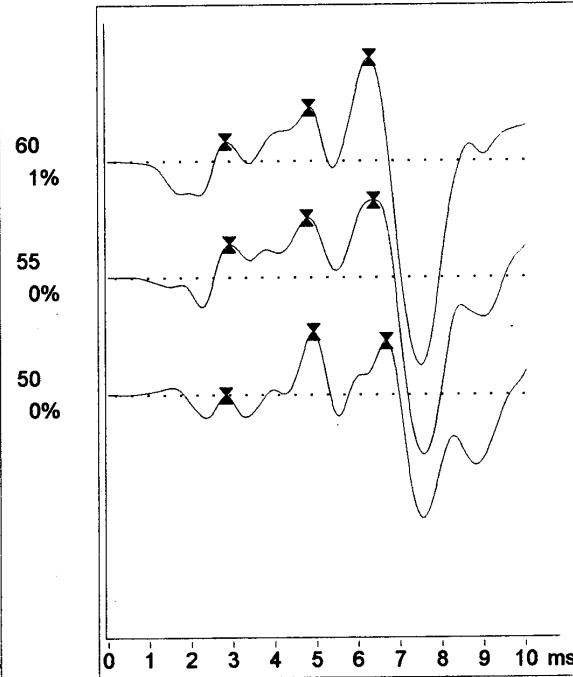
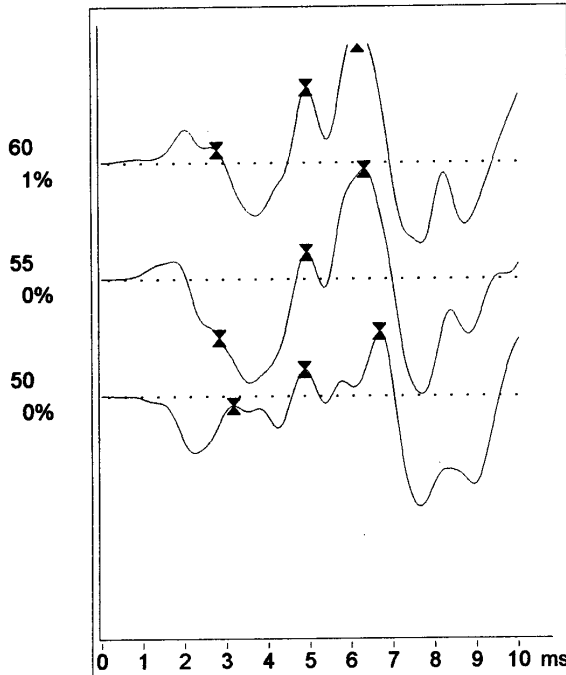
Name: SMw\_n  
 Vorname: M  
 Geb: 28.7.1984



Rechts



Links



P	I	II	III	IV	V	I-III	I-V	III-V	I	II	III	IV	V	I-III	I-V	III-V	d(I-III)	d(I-V)	d(III-V)	d(V)
60	2.77		4.90		6.15	2.12	3.38	1.25	2.80		4.80		6.25	2.00	3.45	1.45	0.12	0.07	0.20	0.10
55	2.82		4.90		6.30	2.08	3.48	1.40	2.90		4.75		6.35	1.85	3.45	1.60	0.23	0.03	0.20	0.05
50	3.16		4.85		6.65	1.69	3.49	1.80	2.80		4.90		6.65	2.10	3.85	1.75	0.41	0.36	0.05	0.00

Abb. 5.6 Hirnstammaudiometrie Proband 9 – nach Feldwirkung

Die Abbildungen 5.7 bis 5.15 zeigen die mit SPSS bestimmten Verteilungen der Absolutlatenzen der Wellen I, III und V für die Stimuluspegel 50 dB, 55 dB und 60 dB in den vier Messsituationen. Den Abbildungen gegenübergestellt sind die Tabellen 5.1 bis 5.9. Diese enthalten die berechneten Mittelwerte der Absolutlatenzen für die drei Stimuli, aufsteigend nach Größe des Mittelwertes sortiert.

Die Tabellen lassen keinen regelmäßigen Zusammenhang zwischen den Mittelwerten und der Messsituation, also keine Abhängigkeit der Absolutlatenzen von der jeweils vorliegenden Feldsituation erkennen.

Die Abbildungen 5.16 bis 5.18 stellen die Verteilungen der Interpeak-Latenzen I-V für die drei Stimuluspegel in den vier Messsituationen dar. Ihnen gegenübergestellt sind in den Tabellen 5.10 bis 5.12 die hier ebenfalls aufsteigend sortierten Mittelwerte der Interpeak-Latenzen bei den drei Stimuli. Auch hier ist kein regelmäßiger Zusammenhang zwischen Messsituation und Interpeak-Latenz zu erkennen.

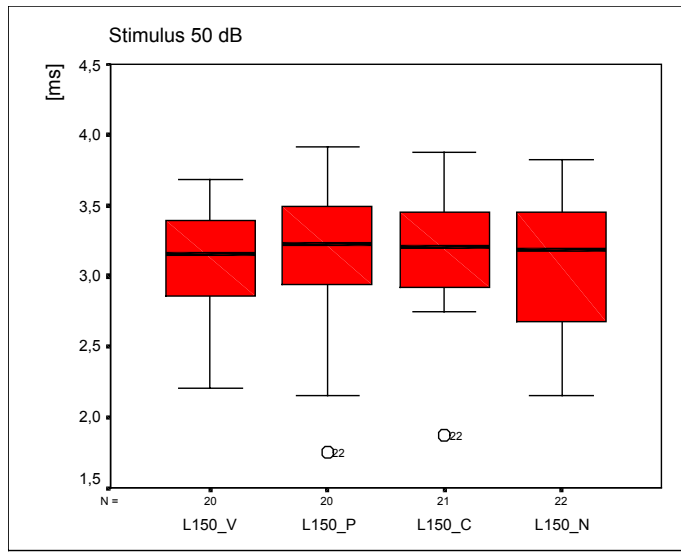
In den Darstellungen der Verteilungen (Abb. 5.7 bis 5.15 sowie Abb. 5.16 bis 5.18) enthalten die grauen Balken das zweite und dritte Quartil der betrachteten Werte, umfassen also 50% aller Werte. Als schwarze Linie enthalten die Balken den Median des dargestellten Messwertes. Ebenfalls dargestellt sind die Maximal- und Minimalwerte sowie eventuelle Ausreißer.

Aus diesen Darstellungen der Verteilungen ist zu schließen, dass die Messwerte für Absolut- und Interpeak-Latenzen nicht normalverteilt sind. Daher wurde als statistischer Test zum Prüfen auf Unterschiede der parameterfreie Paarvergleichstest für abhängige Stichproben nach Wilcoxon berechnet.

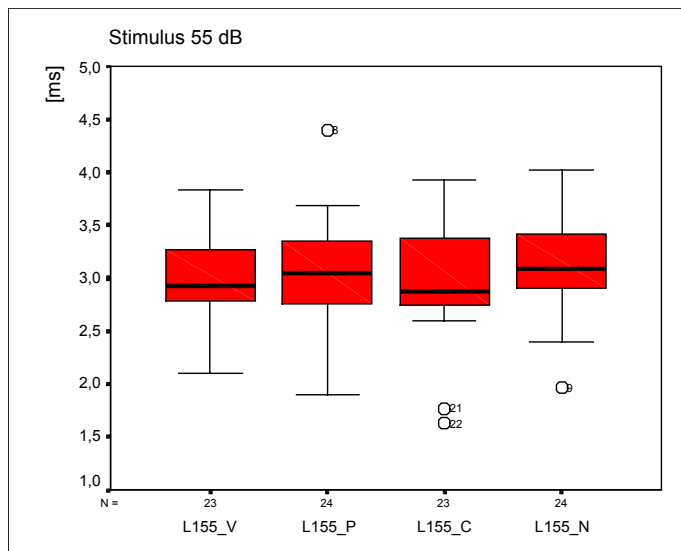
Die Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für die Absolutlatenzen zeigt die Tabelle 5.13, für die Interpeak-Latenzen die Tabelle 5.14.

Die Tests zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den betrachteten Parametern in den unterschiedlichen Messsituationen.

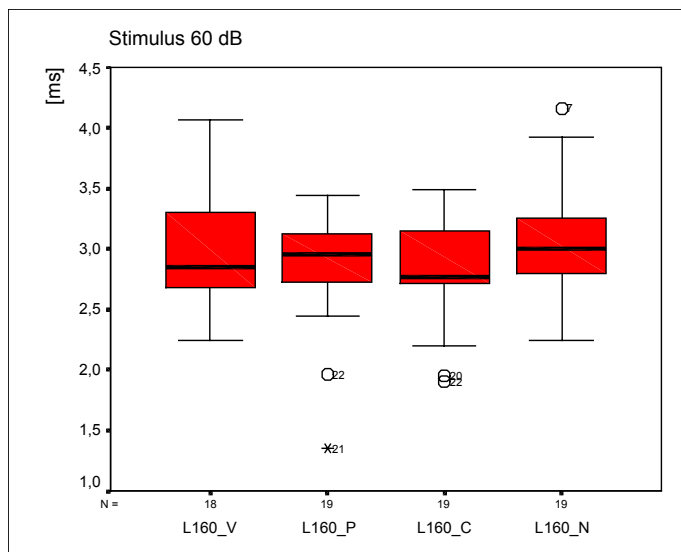


**Abb. 5.7**

Verteilungen  
 Absolutlatenzen Welle I / 50 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung  
 \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld  
 \_N: Nach Feldwirkung

**Abb. 5.8**

Verteilungen  
 Absolutlatenzen Welle I / 55 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung  
 \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld  
 \_N: Nach Feldwirkung

**Abb. 5.9**

Verteilungen  
 Absolutlatenzen Welle I / 60 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung  
 \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld  
 \_N: Nach Feldwirkung

**Tab. 5.1** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle I / 50 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

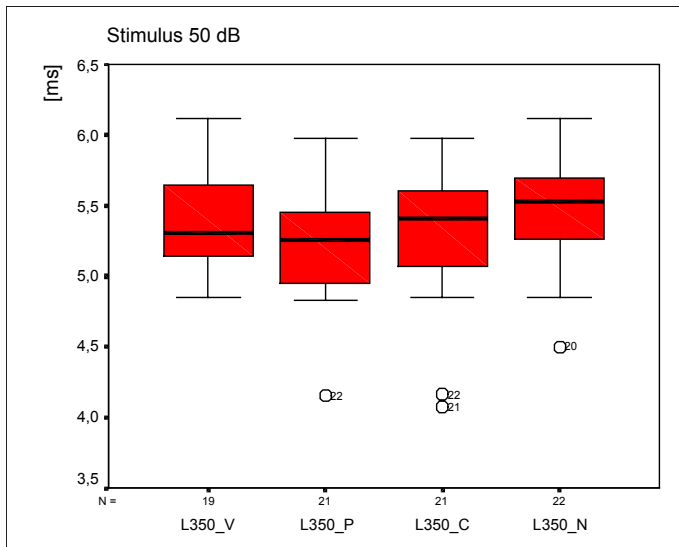
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L150_N	22	2,15	3,83	3,0823	,5354
L150_V	20	2,20	3,68	3,0850	,4279
L150_P	20	1,75	3,92	3,1115	,5887
L150_C	21	1,87	3,88	3,1605	,4320

**Tab. 5.2** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle I / 55 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L155_V	23	2,10	3,83	2,9896	,3900
L155_C	23	1,63	3,92	2,9913	,5582
L155_P	24	1,90	4,40	3,0083	,5780
L155_N	24	1,96	4,02	3,0875	,4617

**Tab. 5.3** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle I / 60 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L160_P	19	1,35	3,44	2,8232	,4951
L160_C	19	1,90	3,49	2,8437	,4590
L160_V	18	2,25	4,07	2,9872	,4435
L160_N	19	2,25	4,16	3,0763	,4395

**Abb. 5.10**

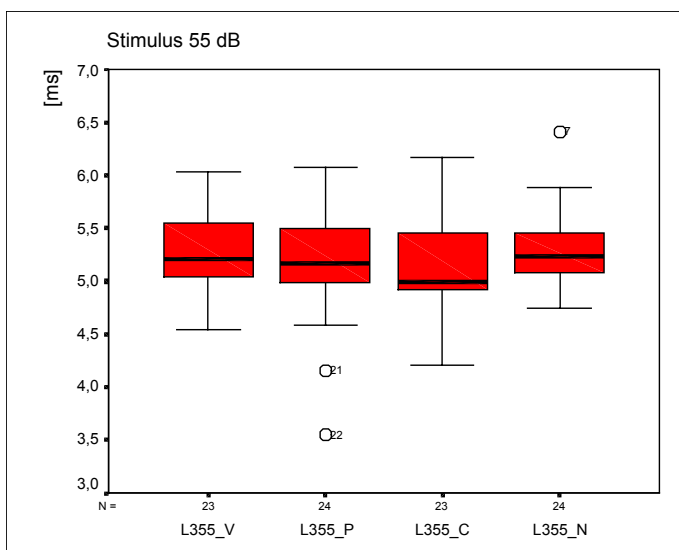
Verteilungen Absolutlatenzen  
Welle III / 50 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Abb. 5.11**

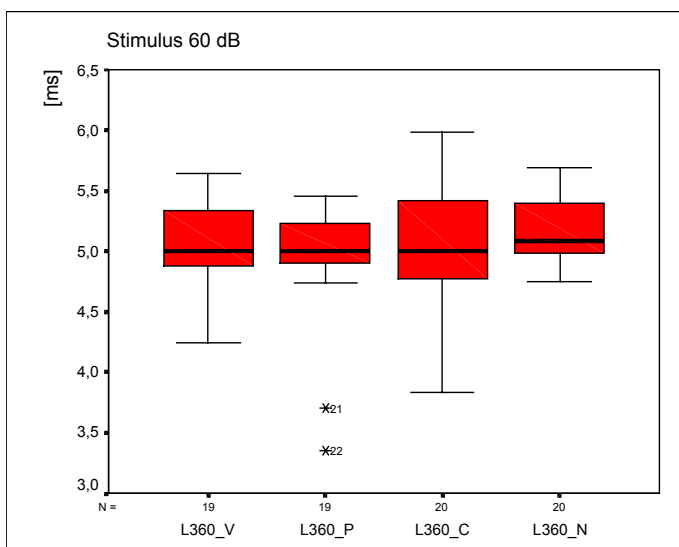
Verteilungen Absolutlatenzen  
Welle III / 55 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Abb. 5.12**

Verteilungen Absolutlatenzen  
Welle III / 60 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Tab. 5.4** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle III / 50 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

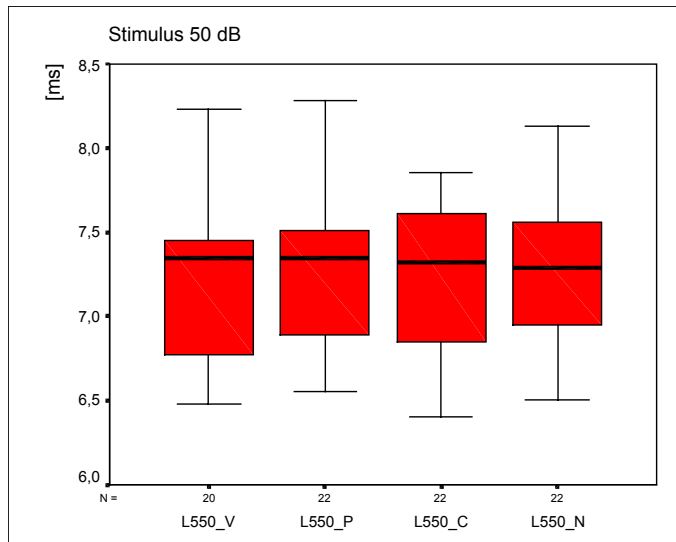
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L350_P	21	4,15	5,98	5,2319	,4166
L350_C	21	4,07	5,98	5,2852	,5099
L350_V	19	4,85	6,12	5,4037	,3744
L350_N	22	4,50	6,12	5,4664	,4019

**Tab. 5.5** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle III / 55 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L355_P	24	3,55	6,08	5,1412	,5211
L355_C	23	4,21	6,17	5,1600	,5118
L355_V	23	4,54	6,03	5,2839	,3938
L355_N	24	4,75	6,41	5,3167	,3867

**Tab. 5.6** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle III / 60 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L360_P	19	3,35	5,45	4,9321	,5434
L360_C	20	3,83	5,98	4,9820	,5566
L360_V	19	4,25	5,64	5,0553	,3612
L360_N	20	4,75	5,69	5,1820	,2982

**Abb. 5.13**

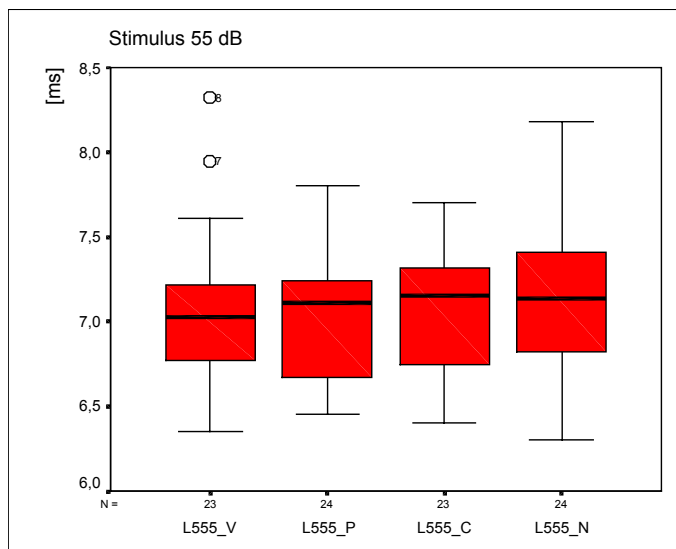
Verteilungen Absolutlatenzen  
Welle V / 50 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Abb. 5.14**

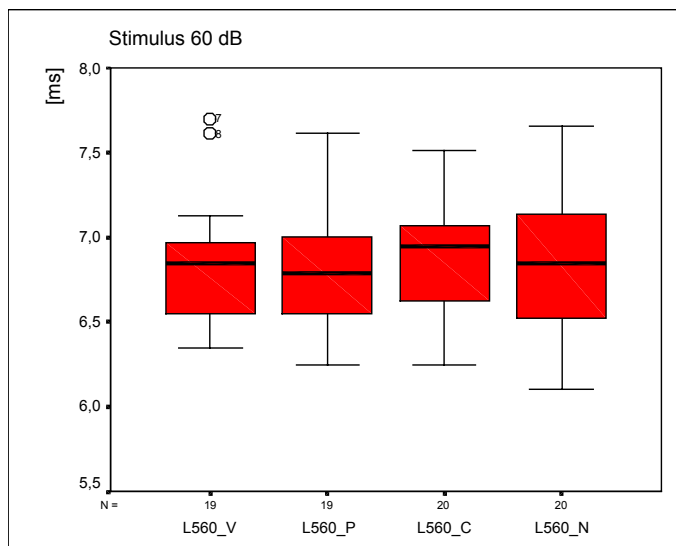
Verteilungen Absolutlatenzen  
Welle V / 55 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Abb. 5.15**

Verteilungen Absolutlatenzen  
Welle V / 60 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Tab. 5.7** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle V / 50 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

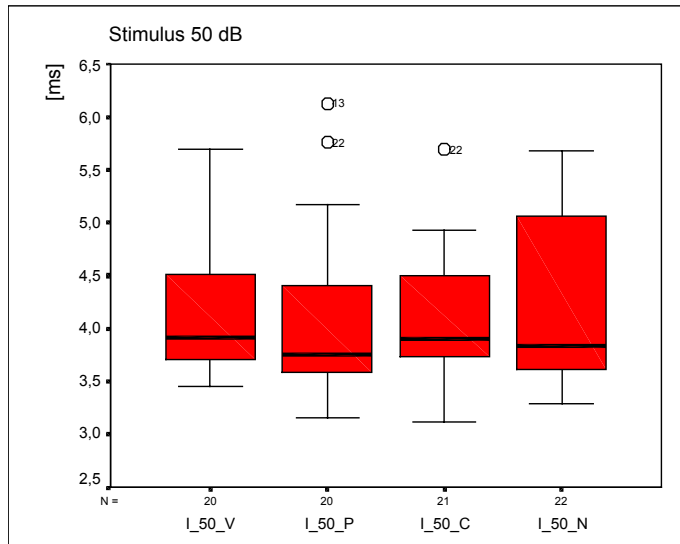
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L550_V	20	6,48	8,23	7,2125	,4572
L550_C	22	6,40	7,85	7,2364	,4137
L550_P	22	6,55	8,28	7,2641	,4543
L550_N	22	6,50	8,13	7,2986	,4629

**Tab. 5.8** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle V / 55 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L555_P	24	6,45	7,80	7,0433	,3875
L555_V	23	6,35	8,32	7,0517	,4650
L555_C	23	6,40	7,70	7,0609	,3928
L555_N	24	6,30	8,18	7,1233	,4737

**Tab. 5.9** Mittelwerte der Absolutlatenzen der Welle V / 60 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
L560_P	19	6,25	7,61	6,7926	,3698
L560_V	19	6,35	7,70	6,8463	,3765
L560_N	20	6,10	7,66	6,8480	,4398
L560_C	20	6,25	7,51	6,8875	,3377

**Abb. 5.16**

Verteilungen

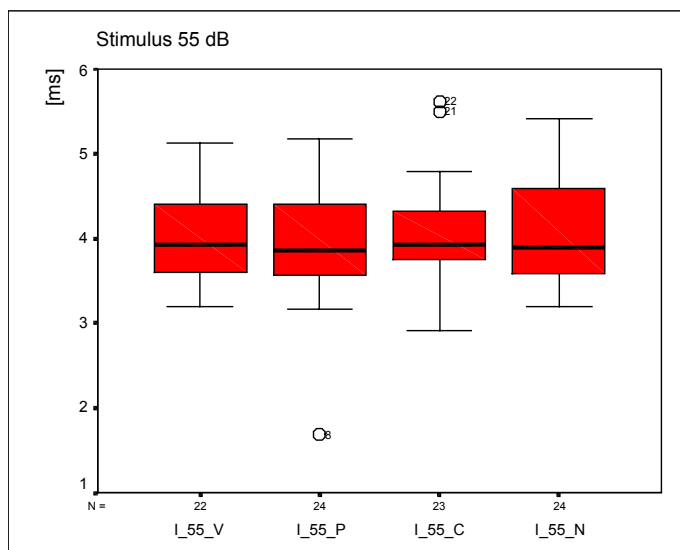
Interpeak-Latenzen I – V / 50 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Abb. 5.17**

Verteilungen

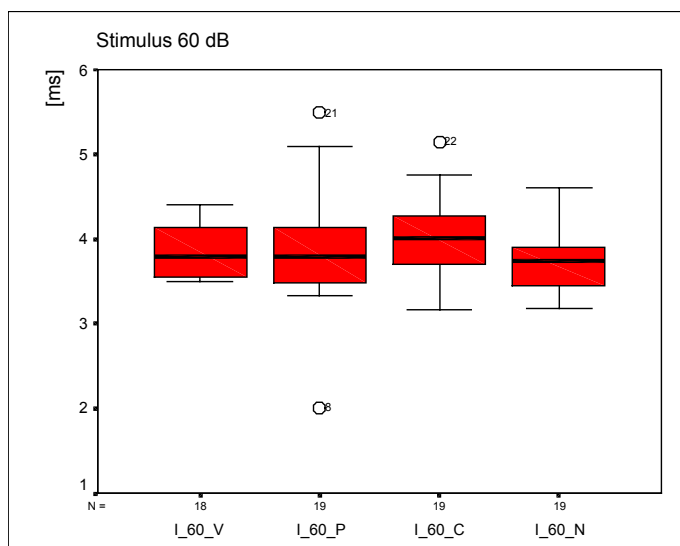
Interpeak-Latenzen I – V / 55 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Abb. 5.18**

Verteilungen

Interpeak-Latenzen I – V / 60 dB

\_V: Vor Feldwirkung

\_P: Gepulstes Feld

\_C: Kontinuierliches Feld

\_N: Nach Feldwirkung

**Tab. 5.10** Mittelwerte Interpeak-Latenzen I – V / 50 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
I_50_C	21	3,12	5,69	4,0638	,6229
I_50_P	20	3,16	6,13	4,0855	,8382
I_50_V	20	3,45	5,69	4,1455	,6326
I_50_N	22	3,29	5,68	4,2164	,7939

**Tab. 5.11** Mittelwerte Interpeak-Latenzen I – V / 55 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
I_55_P	24	1,68	5,17	3,9696	,7746
I_55_N	24	3,20	5,41	4,0358	,5867
I_55_V	22	3,19	5,12	4,0564	,4974
I_55_C	23	2,91	5,62	4,0704	,6457

**Tab. 5.12** Mittelwerte Interpeak-Latenzen I – V / 60 dB  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
I_60_N	19	3,18	4,60	3,7547	,3566
I_60_V	18	3,50	4,40	3,8539	,3008
I_60_P	19	2,01	5,49	3,8568	,7580
I_60_C	19	3,16	5,15	4,0342	,5035



**Tab. 5.13** Paarvergleich Absolut-Latenz Welle V / 60 dB – Wilcoxon Test  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
L560_N - L560_V	Negative Ränge	9	9,94	89,50
	Positive Ränge	10	10,05	100,50
	Bindungen	0		
	Gesamt	19		
L560_C - L560_V	Negative Ränge	6	10,33	62,00
	Positive Ränge	11	8,27	91,00
	Bindungen	2		
	Gesamt	19		
L560_P - L560_V	Negative Ränge	10	9,80	98,00
	Positive Ränge	6	6,33	38,00
	Bindungen	3		
	Gesamt	19		
L560_C - L560_P	Negative Ränge	5	6,70	33,50
	Positive Ränge	10	8,65	86,50
	Bindungen	4		
	Gesamt	19		

	L560_N - L560_V	L560_C - L560_V	L560_P - L560_V	L560_C - L560_P
Z	-,222 <sup>a</sup>	-,687 <sup>a</sup>	-1,552 <sup>b</sup>	-1,506 <sup>a</sup>
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,825	,492	,121	,132

a. Basiert auf negativen Rängen.

b. Basiert auf positiven Rängen.

**Tab. 5.14** Paarvergleich Interpeak-Latenzen I - V / 60 dB – Wilcoxon Test  
 \_V: Vor Feldwirkung \_P: Gepulstes Feld  
 \_C: Kontinuierliches Feld \_N: Nach Feldwirkung

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
I_60_N - I_60_V	Negative Ränge	10	8,70	87,00
	Positive Ränge	7	9,43	66,00
	Bindungen	1		
	Gesamt	18		
I_60_C - I_60_V	Negative Ränge	5	8,50	42,50
	Positive Ränge	12	9,21	110,50
	Bindungen	0		
	Gesamt	17		
I_60_P - I_60_V	Negative Ränge	9	9,33	84,00
	Positive Ränge	9	9,67	87,00
	Bindungen	0		
	Gesamt	18		
I_60_C - I_60_P	Negative Ränge	6	8,67	52,00
	Positive Ränge	12	9,92	119,00
	Bindungen	0		
	Gesamt	18		

	I_60_N - I_60_V	I_60_C - I_60_V	I_60_P - I_60_V	I_60_C - I_60_P
Z	-,497 <sup>a</sup>	-1,610 <sup>b</sup>	-,065 <sup>b</sup>	-1,459 <sup>b</sup>
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,619	,107	,948	,145

a. Basiert auf positiven Rängen.

b. Basiert auf negativen Rängen.

### 5.1.3 Schlussfolgerungen

Wirkungen der HF-Strahlung auf das Hörsystem im hier untersuchten Rahmen der frühen akustisch evozierten Potentiale sind in drei Variationen denkbar:

- (a) Wirkungen nur auf das Innenohr, hier insbesondere auf die Sinneszellen des Corti-Organs
- (b) Wirkungen sowohl auf das Innenohr als auch auf die neuralen Strukturen
- (c) Wirkungen nur auf die neuralen Strukturen

Die isolierten Wirkungen auf das Innenohr (a) sollten bei unveränderter Interpeak-Latenz der Wellen I und V durch Änderungen der Absolutlatenz der Welle I erkennbar sein, die sich gleichsinnig an den Absolutlatenzen der Wellen III und V zeigen.

Wirkungen sowohl auf Innenohr als auch neurale Strukturen (b) sollten durch Änderungen an allen betrachteten Latenzwerten kenntlich sein. Nur theoretisch denkbar sind Wirkungen am Innenohr, die Änderungen der Latenz der Welle I verursachen, während der Einfluss auf die neuralen Strukturen die Auswirkung dieser Änderung auf die anderen Parameter kompensiert.

Die mit geringster Wahrscheinlichkeit zu erwartenden Wirkungen nur auf die neuralen Strukturen (c) sollten bei unveränderter Absolutlatenz der Welle I Änderungen der Absolutlatenzen III und/oder V sowie der Interpeak-Latenz I-V verursachen.

Mit den durchgeführten Untersuchungen konnten sowohl für das gepulste als auch das kontinuierliche Feld keine durch die Wirkung des HF-Feldes verursachten Änderungen der betrachteten Parameter Absolutlatenz der Wellen I, III, V sowie der Interpeak-Latenz zwischen den Wellen I und V nachgewiesen werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die im Handy-Betrieb auftretenden elektromagnetischen Felder keine Wirkung auf das Hörsystem im oben diskutierten Sinn haben.

## 5.2 Ableitung otoakustischer Emissionen

Otoakustische Emissionen (OAE) sind aktive akustische Aussendungen des Innenohres sehr geringen Pegels als Reaktion auf akustische Reize. Ihre Quelle sind die äußeren Haarzellen des Cortiorgans, die sich unter der Wirkung von Schallenergie kontrahieren und wieder entspannen. Während die transient evozierten otoakustischen Emissionen (TEOAE) nicht frequenzspezifisch sind, werden mit dem Distorsionsprodukt otoakustischer Emissionen (DPOAE) Emissionen im Frequenzbereich von 1 kHz bis 6 kHz abgeleitet.

Mit der Ableitung evozierter otoakustischer Emissionen ist eine Aussage über die Funktion des Innenohres und über Änderungen dieser Funktion möglich.

### 5.2.1 Material und Methode

In einer Untersuchungsserie wurde an 10 ohrgesunden, normalhörenden Probanden (2 männlich, 8 weiblich, Alter zwischen 59 und 17 Jahren, Durchschnittsalter 34,4 Jahre) geprüft, ob durch das elektromagnetische Feld des Mobiltelefons Veränderungen der Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE) initiiert werden. Zur Anwendung kam dabei ein System der Firma Hortmann zur Ableitung von OAE

mit dem Otoacoustic Distortion Product Analyser ILO92(F) der Firma OTodynamics. Mess- und Bewertungssystem waren mit dem in der klinischen Routine angewendeten identisch. Zur Durchführung der Messungen wurde eine Sonde im äußeren Gehörgang plaziert, die sowohl den akustischen Stimulus von 65 dB SPL liefert als auch das zu analysierende Nutzsignal aufnimmt.

Registriert wurde für das linke und das rechte Ohr jeweils ohne Feldwirkung, mit gepulstem Feld und mit kontinuierlichem Feld nach folgendem Messschema:

#### 1. Linkes Ohr

- 1.1 Messsituation v: Registrierung ohne Feld
- 1.2 Messsituation p: Registrierung mit gepulstem Feld
- 1.3 Messsituation c: Registrierung mit kontinuierlichem Feld

#### 2. Rechtes Ohr

- 2.1 Messsituation v: Registrierung ohne Feld
- 2.2 Messsituation p: Registrierung mit gepulstem Feld
- 2.3 Messsituation c: Registrierung mit kontinuierlichem Feld

### 5.2.2 Ergebnisse

Der Patient ID wurde in folgender Weise gebildet:

- 1. und 2. Stelle: Initialen des Probandennamens
- 3. Stelle: Geschlecht
  - m: männlich
  - w: weiblich
- 4. Stelle: Seite
  - l: links
  - r: rechts
- 5. Stelle Messsituation
  - v: vor Feldwirkung
  - p: gepulstes Feld
  - c: kontinuierliches Feld

Die Abbildungen 5.19 bis 5.21 zeigen für den Probanden SS die Messprotokolle der Registrierungen am rechten Ohr in den Messsituationen v, p und c des oben beschriebenen Messablaufs.

Das Liniendiagramm stellt die Pegel der abgeleiteten Emissionen mit den Frequenzen 1 kHz bis 6 kHz über dem als Fläche grau/schraffiert dargestellten Rauschen dar.

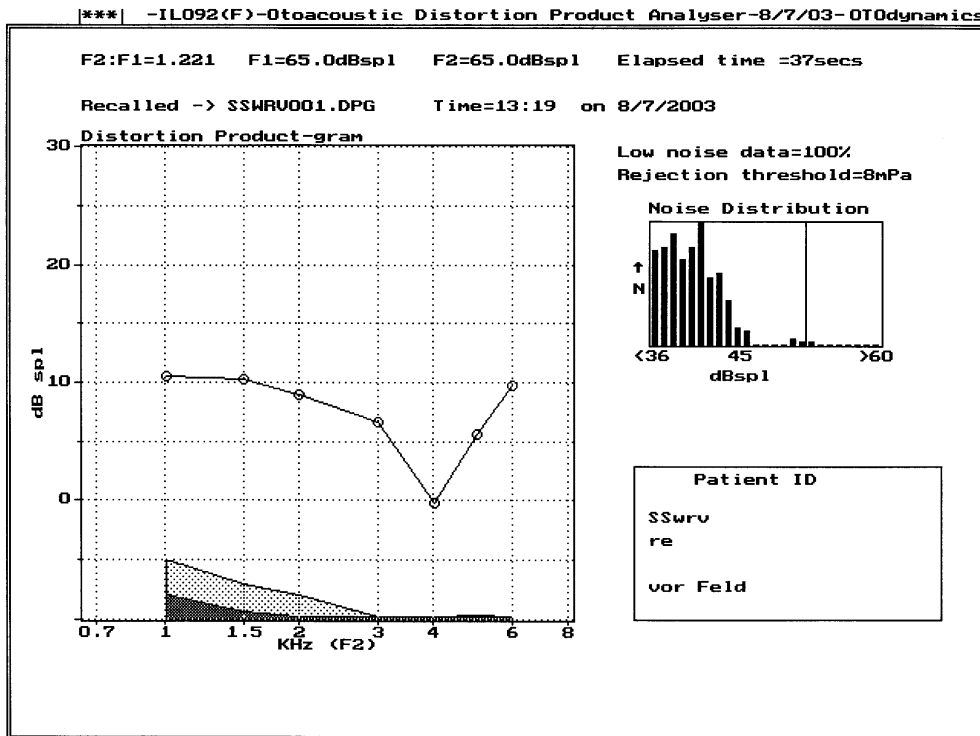


Abb. 5.19 DPOAE Proband SS rechtes Ohr – vor Feldwirkung

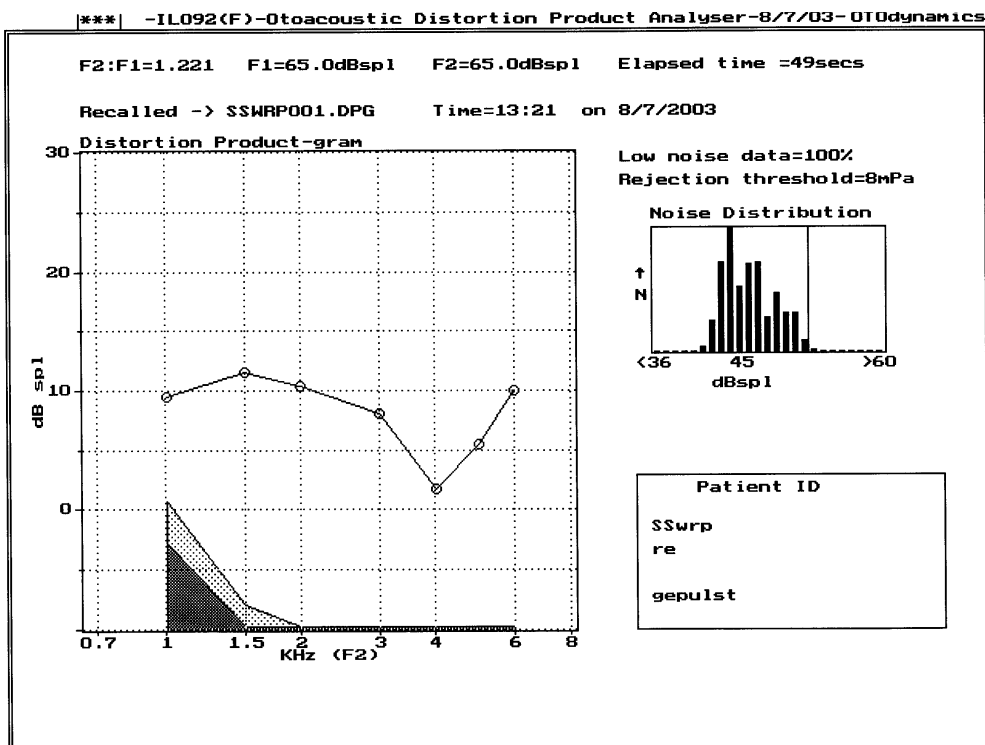
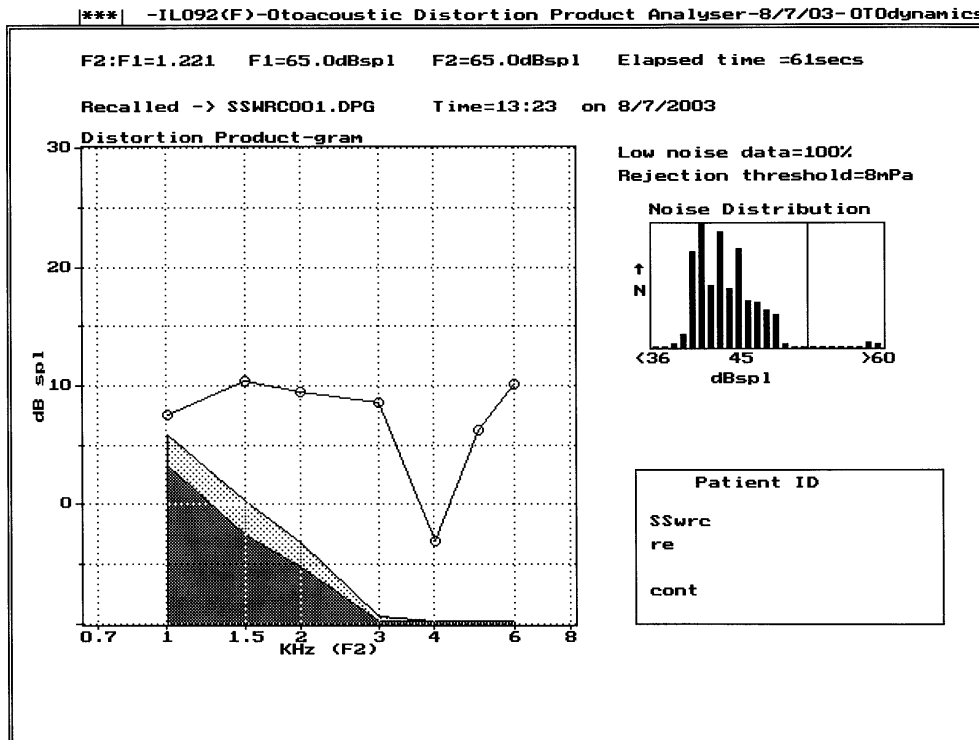


Abb. 5.20 DPOAE Proband SS rechtes Ohr – gepulstes Feld



**Abb. 5.21** DPOAE Proband SS rechtes Ohr – kontinuierliches Feld

Es ist zu beachten, dass grundsätzlich kein strenger Zusammenhang besteht zwischen den hier dargestellten Distorsionsprodukten otoakustischer Emissionen und der Hörschwelle im Reintonaudiogramm - trotz der Analogie der Darstellung der Emissionen zur Darstellung der Hörschwelle im Reintonaudiogramm.

Die grafischen Darstellungen der abgeleiteten Emissionen geben im Vergleich der drei Messsituationen: vor Feldwirkung, gepulstes Feld und kontinuierliches Feld für keinen Probanden einen Hinweis auf mögliche Einflüsse des HF-Feldes auf das Spektrum oder die Pegel der Emissionen. Aus diesem Grund wurde keine weitergehende statistische Analyse der Parameter der abgeleiteten Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen durchgeführt.

## 6 Zusammenfassung

### 6.1 Thermographische Untersuchungen

Bei den durchgeführten thermographischen Untersuchungen an verschiedenen Modell-Materialien zeigten sich nur bei Applikation des un gepulsten, kontinuierlichen Feldes deutliche Temperaturerhöhungen in der Größenordnung von 2 K.

Am Felsenbeinpräparat wurde in der Schnittebene bei einer Knochenstärke von 18 mm am lateralen Bogengang in keinem Fall ein Temperaturanstieg unter Einwirkung des gepulsten oder un gepulsten HF-Feldes nachgewiesen.

Die thermographischen Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass durch das Handy keine Temperaturerhöhungen induziert werden, die zu einem relevanten Stimulus für das Hör- sowie Gleichgewichtssystem führen.

### 6.2 Untersuchungen zum vestibulären System

Auf Grund ihrer Physiologie stellen die vestibulären Rezeptoren insbesondere der horizontalen Bogengänge auch empfindliche Sensoren für Temperaturänderungen mit einer Auflösung von 0,1 K dar. Ab Temperaturänderungen dieser Größenordnung in einem Bogengang kommt es zu vestibulären Reaktionen, die sich in nystagmischen Augenbewegungen manifestieren.

Die video-nystagmografischen Ableitungen an 26 Innenohren ergaben sowohl für das gepulste als auch das kontinuierliche HF-Feld keine Hinweise auf durch die Feldwirkungen ausgelöste vestibuläre Reaktionen.

Auf Grund der oben diskutierten Sensibilität des vestibulären Systems gegenüber Temperaturänderungen im horizontalen Bogengang kann dies als Beweis dafür gelten, dass die im Betrieb des Mobiltelefons auftretenden elektromagnetischen Felder im Bereich der horizontalen Bogengänge keine Temperaturerhöhung  $\geq 0,1$  K induzieren.

### 6.3 Untersuchungen zum Hörsystem

Wirkungen der HF-Strahlung auf das Hörsystem im hier untersuchten Rahmen der frühen akustisch evozierten Potentiale sind in drei Variationen denkbar:

- (a) Wirkungen nur auf das Innenohr, hier insbesondere auf die Sinneszellen des Corti-Organ
- (b) Wirkungen sowohl auf das Innenohr als auch auf die neuralen Strukturen
- (c) Wirkungen nur auf die neuralen Strukturen.

Mit den durchgeführten Untersuchungen an 24 Ohren konnte sowohl für das gepulste als auch das kontinuierliche Feld gezeigt werden, dass das HF-Feld keine Änderungen der betrachteten Parameter Absolutlatenz der Wellen I, III, V sowie der Interpeak-Latenz zwischen den Wellen I und V bewirkt.

Die abgeleiteten Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen an 20 Ohren geben im Vergleich der drei Messsituationen (vor Feldwirkung, gepulstes Feld und konti-

nuierliches Feld) für keinen Probanden einen Hinweis auf mögliche Einflüsse des HF-Feldes auf das Spektrum oder die Pegel der Emissionen.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die im Handy-Betrieb auftretenden elektromagnetischen Felder zeitgleich keine Wirkung auf das Innenohr und das Hörsystem im Bereich bis Colliculus inferior im Hirnstamm sowie auf die vestibulären Rezeptoren im Innenohr und das vestibuläre System haben.

Nach dem Gesamtbild aller Ergebnisse dieser Studie kann davon ausgegangen werden, dass auch Studien mit größeren Stichproben zu keinem anderen Ergebnis führen.

## Literaturverzeichnis

- /1/ European Specification ES 59005: Considerations for the evaluation of human exposure to Electromagnetic Fields (EMFs) from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in the frequency range 30 MHz – 6 GHz. CENELEC Brussels 1998