



## **Mobilfunk-Emissionen und Gedächtnisleistungen**

Gibt es eine Beeinträchtigung der mentalen Prozesse durch gepulste Felder?

*Rüdiger Maier*

Anschrift des Verfassers

PD Rüdiger Maier

Dr. rer.nat. et med.habil.

Klinik für Kommunikationsstörungen

Universität Mainz

55101 Mainz

Tel.: 06131-17-2202

Fax: 06131-17-47-2202

## **Zusammenfassung**

In einer Pilotstudie sollte überprüft werden, ob elektromagnetische Felder, wie sie bei Mobil-Telefonen auftreten, den Regenerationsprozess kognitiver Prozesse beeinträchtigen. Die Untersuchungen erfolgten in einem elektrophysiologischen Labor, in dem elf Probanden in einer Ruhephase zeitlich begrenzt (50 Minuten) gepulsten Feldern (GSM-Standard) ausgesetzt waren. Zur Objektivierung der kognitiven Leistungen fand das psychophysiologische Verfahren zur Bewertung der „Ordnungsschwelle“ (OS) Verwendung.

In der Testsituation erbrachten neun der Probanden nach Feldemission im Vergleich zur Referenzsituation (ohne Feldemission) eine reduzierte mentale Regeneration. Die Untersuchung ergab, dass die Probanden auf Einwirkung gepulster elektromagnetischer Felder mit einem kognitiven Leistungsabfall reagieren, was sich im Test in einer Steigerung der Ordnungsschwellen widerspiegelt.

Herrn Prof. Dr. Hommel, Institut für Medizinische Statistik, Univ.-Mainz, sei für fachliche Beratung gedankt.

Herrn Dr. L. v. Klitzing danke ich für die Unterstützung bei der Messwerterfassung in seinem Labor.

### *Schlüsselwörter:*

Kognitive Prozesse, elektromagnetische Felder, psychophysiologischer Test, Ordnungsschwelle

## Summary

### **Emissions of Mobile Phones and Memory Efforts. Do Pulsed Electromagnetic Fields Impair CNS Activity?**

In the present pilot study we examined the effects of electromagnetic fields on the biological organism. The study was prompted by discussions on the possible effects on the nervous system and cognitive processes of fields produced by mobile phones. The experiments were performed in an electrophysiological laboratory. Eleven volunteers were exposed to pulsed electromagnetic fields (GSM standard). The psycho physiological method of assessing the order threshold (Ordnungsschwelle = OS) was used to examine cognitive performance. Under the test conditions, nine of the subjects showed a loss of mental regeneration, as reflected by an increase in the OS, in comparison with the field-free situation. The results of our experiments suggest an influence of pulsed fields on the cognitive regeneration process.

### *Key words:*

Cognitive processes, electromagnetical fields, psycho-physiological test, order threshold (Ordnungsschwelle)

Die Fragestellung hinsichtlich einer *elektromagnetische Verträglichkeit/ -Unverträglichkeit* der Mobilfunk-Emissionen wird in den Medien zunehmend thematisiert, was für eine allgemeine Verunsicherung in der Öffentlichkeit spricht. Spätestens, seit die Telekommunikationsindustrie als wirtschaftlicher Faktor sich etablieren konnte und ein wahrer Handy-Boom zu beobachten ist, wird vielerorts auch die Frage nach den Technik-Folgeabschätzungen gestellt und die gesundheitlichen Begleiterscheinungen der digitalen Signalübertragung auch unter diesem Gesichtspunkt diskutiert. Die Befürchtung wird geäußert, dass patho-physiologische Prozesse durch die gepulsten elektromagnetischen Felder der Mobil-Telefone, aber auch durch die Basis-Stationen, ausgelöst werden (5). Eine Probe einer solchen kontrovers geführten Debatte kann auch dem 'Deutschen Ärzteblatt' entnommen werden (1). Übereinstimmend wird die Meinung vertreten, dass hinsichtlich der Langzeit-Auswirkungen dieser Technologie noch Forschungsbedarf besteht.

So wird derzeit europaweit der Versuch unternommen, mittels einer breit angelegten epidemiologischen Studien die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenhanges von Feld-Emissionen und Krebs-Risiken zu ermitteln (3). Auf die Möglichkeit der Auslösung eines intraokularen Tumors, des malignen Uveamelanoms, durch Handy-Emissionen verweist eine epidemiologische Studie, wie sie jüngst an der Universität Essen vorgelegt wurde (11). Dagegen konnten die Autoren einer dänischen Feldstudie, durchgeführt an 400'000 Handy-Nutzern der Jahre 1982 bis 1995, keine Anhaltspunkte für ein erhöhtes Krebs-Risiko nachweisen. Allerdings wollen sie auch nicht ausschließen, dass durch elektromagnetische Emissionen z.B. Erkrankungen des Nervensystems verursacht werden könnten (6). In diesem Zusammenhang sei auch auf eine Studie der norwegischen Marine verwiesen, in der die Spätfolgen von Radar-Strahlung auf die Gesundheit der Schiffsbesatzung untersucht wird (12). Da für die Radar-Technik Frequenzen zwischen 0,5 und 30 GHz Verwendung finden, und die zukünftige Handy-Generation (UMTS) im HF-Bereich mit 4 GHz arbeitet, zudem auch bei der Radar-Technik gepulste Felder verwendet werden, können vergleichbare Auswirkungen beider genannter Techniken auf das biologische Substrat angenommen werden. Im Rahmen einer Pilotstudie sind wir der Frage nachgegangen, ob auch mentale Prozesse durch Feldemissionen beeinträchtigt werden. M.a.W. es sollte geprüft werden, ob die gepulsten elektromagnetischen Felder, wie sie bei dem derzeit geltenden GSM-Standard für die Telekommunikationstechnik Verwendung finden, einen messbaren Einfluss auf die Gedächtnisprozesse ausüben.

**'Ordnungsschwelle':**

Für die Wahrnehmung und bewusste Verarbeitung sensorischer Reize benötigt das Zentralnervensystem neben Energie auch Zeit. Während für die getrennte Perzeption zweier auditiver Reize ein Inter-Stimulus-Intervall (ISI) von mindestens 3 bis 5 ms vorliegen muss (10), ist der Zeitbedarf für die korrekte **kognitive** Bewertung der Reize wesentlich höher anzusetzen (8). Die *bewusste* Reizverarbeitung mittels einer Entscheidungsreaktion ist ein kognitiver Prozess, seine Verrechnung erfolgt in neuronalen Strukturen auf kortikaler Ebene. Damit unterliegen auch kognitive Prozeduren hinsichtlich ihrer Verarbeitungsgeschwindigkeit einer zeitlichen Limitierung. Der *minimale Zeitabstand*, bei dem

1. zwei sequentiell angebotene Reize noch als getrennt-appliziert erkannt werden und
2. die zeitliche Abfolge der Seitenzuordnung (r/l bzw. l/r), die Reiz- Lateralität, noch fehlerfrei vom Probanden bestimmt werden kann, ist als Ordnungsschwelle (OS) definiert.

### **Versuchsablauf**

Zur Überprüfung der auditiven OS verwendeten wir für die Datenerfassung das OSA 3.0 (MediTECH Electronic GmbH). Den Probanden wurden mittels Stereokopfhörer zwei zeitversetzte Klickreize angeboten. Das inter-stimulus-interval (ISI) zwischen beiden Reizen beträgt anfänglich 300 ms (Klickreize: 1 ms Rechteckimpulse, 86 dB). Die auditiven Reizungen erfolgte jeweils monaural und in randomisierter Abfolge (links/rechts bzw. rechts/links). Um eine breitbandige Signalübertragung auf die Cochlea zu ermöglichen, fand ein Kopfhörer mit piezoelektrischen Erregungseinheiten Verwendung.

Die Probanden hatten die Aufgabe, per Knopfdruck (zwei Reaktionstasten) die Lateralität des *jeweils ersten* der beiden Klick-Reize zu signalisieren. Nach jeder richtigen Antwortreaktion wurde das ISI um einen definierten Zeitwert  $\tau$  reduziert, jedoch bei fehlerhafter Reaktion um den Faktor  $4\tau$  vergrößert. Nach jeder Antwortreaktion erfolgte automatisch bei konstanter Zeitverzögerung die nächste Klickreiz-Applikation. Aus versuchstechnischen Gründen wurde eine relativ geringe Zeitverzögerung (500 ms) gewählt; der Gesamt-Zeitbedarf für die Datenerhebung setzt sich somit aus drei Faktoren zusammen, dem ISI (Reiz-Applikation), der jeweiligen Reaktionszeit des Probanden und einer Zeitverzögerung. Es war das Ziel, je Test-Durchlauf die 8-Minuten-Grenze nicht zu überschreiten, um den Probanden trotz der bestehenden Stress-Situation während der Sitzung auf vergleichbarem Vigilanz-Niveau zu halten. Die Datenerfassung wurde auf 200 Items begrenzt. Im try-and-error Verfahren kann so innerhalb weniger Minuten der individuelle OS-Wert durch den Versuchsteilnehmer selbst ermittelt werden.

11 gesunde Probanden beiderlei Geschlechts, Mitarbeiter/Innen der Lübecker Universitätsklinik (Durchschnittsalter: 39,1 J.), nahmen an dieser freiwilligen Studie teil<sup>1</sup>. Die Untersuchungen erfolgten in einem elektrisch abgeschirmten Raum. Das Versuchsprogramm sah vor, dass die Probanden an zwei unterschiedlichen Tagen sich nachfolgender Prozedur unterzogen (Bild 2):

a) Die OS-Messdaten des Probanden wurden erhoben (MPx.1).

b) Es folgte eine Ruhephase. Der Proband sollte auf einer Liege für die Zeitdauer von 50 Minuten relaxieren. In den meisten Fällen nutzten die Versuchsteilnehmer diese Arbeitspause für einen Schlaf.

c) Der Proband sollte nach der Ruhephase erneut die Daten für die OS ermitteln (MPx.2).

Unter Berücksichtigung der möglichen Auswirkungen der zirkadianen Aktivität erfolgten die Untersuchung jeweils vormittags, an beiden Untersuchungstagen zur gleichen Tagesstunde.

Die Test-Prozedur a) bis c) war an beiden Versuchstagen im Prinzip identisch, mit einer Einschränkung (Prozedur b): In vier cm Abstand vom linken Ohr der Probanden war ein programmierbares Handy (MOTOROLA CD 920 mit Test-SIM) positioniert, das jeweils nur an einem der beiden Untersuchungstage aktiviert war (902 MHz / 217 Hz, Leistungsflussdichte  $S = 1 \text{ mW/m}^2$ ). Der Versuchsablauf erfolgte im Sinne des doppelten Blindversuches. Je Proband konnten zwei Datensatz-Paare erhoben werden, die Datensätze für die Messphasen mit Feld-Exposition während der Ruhephase, und die Referenzwerte (ohne Feld-Exposition).

Die Verrechnung der Datensätze (Bild 3) gestattet den Rückschluss auf kognitive Leistungsveränderungen während der Ruhephase, den Grad der mentalen Regeneration, jeweils in Abhängigkeit von der gewählten Bedingung (Feld-Exposition/ Kontrollsituation).

Der Untersuchung lag die Annahme zugrunde, dass nach einer Ruhephase ohne Feld-Exposition (im Datenvergleich MP1.1/MP1.2) eine Verbesserung der Gedächtnisleistung sich widerspiegelt sollte (verbesserte Diskriminationsleistung, reduzierte OS). Dagegen sind unter der Bedingung 'Feld-Exposition' auf der kognitiver Ebene Leistungsdefizite zu erwarten: dem Datenvergleich MP2.1/MP2.2 sollte ein Anstieg der OS-Werte, somit eine Verschlechterung der Diskriminationsleistung zu entnehmen sein. Ein Zeitzuwachs im Kurvenverlauf (Bild 3c) entspricht aber einer *reduzierte* Gedächtnisleistung, mithin einem kognitiven Leistungsdefizit.

---

<sup>1</sup>Die Ergebnisse einer Vorgängerstudie an N=15 Probanden wurden von der TELEKOM für eine Publikation nicht freigegeben.

## Ergebnisse

Für die Auswertung der Messdaten fand die Software FAMOS / IMC Berlin, Verwendung. Über das Verrechnen der Datensätze (vor bzw. nach Ruhephase) und dem Vergleich der Bedingungen (mit/ohne Feld-Exposition) konnte ein situationsbedingter Trend in den kognitiven Leistungen (Test-Situation) ermittelt werden: Während der Wert *OS-Zuwachs* unter der Kontroll-Bedingung (ohne Feld) in der Regel keinen positiven Trend oder sogar auf Grund der kognitiven Regeneration einen negativen Trend aufweist (geringere Zeiten im Test, Leistungsanstieg), liegt im Falle der Bedingung *Feld-Exposition* ein positiver Trend vor (Bild 3). Der Anstieg dieses Wertes spricht aber für einen erhöhten kognitiven Zeitbedarf im Test, mithin für eine Verschlechterung der Diskriminationsleistungen, verglichen mit dem Vorzustand.

Keine Zeitdifferenz-Zuwächse traten dagegen im Falle der Referenz-Messungen auf. Der Test ergab in diesem Fall einen Leistungsgleichstand oder sogar eine Verbesserung der kognitiven Leistungen, was als Ergebnis einer Gedächtnis-Regeneration während der Ruhephase ohne Feld-Belastung gedeutet werden kann (Datenverrechnung MP1.1/MP1.2, Bild. 2).

Bild. 4 zeigt in graphischer Form die Zusammenfassung der Befunde: Oben die Datenverrechnungen der Messreihen vor bzw. nach der Ruhephase. Während ohne Feld-Exposition (links) im Vergleich (Datenerhebung vor/nach Ruhephase) ein Trend der Messpunkte zu kürzeren Zeiten besteht, kann bei identischem Testablauf, jedoch unter der Bedingung "Feld-Exposition", ein Trend zu höheren Zeitwerten ermittelt werden. In der diese Ergebnisse vereinigenden Darstellung (unten) wird die *Abhängigkeit der Zeitdifferenzverschiebung von der Feldbedingung* verdeutlicht: Wenn kein Effekt bestünde, lägen alle ermittelten Messpunkte auf der Diagonale. Neun der elf Probanden (81,8%) zeigen in den Messungen einen mit unserer Hypothese in Einklang stehenden Reaktionsverlauf, der Zunahme des Zeitbedarfs unter der Bedingung nach Feldeinwirkung. Zwei Vpn. (18,1%) zeigten gegenläufige Ergebnisse. Trotz Exposition mit gepulsten elektromagnetischen Feldern war bei ihnen im Test eine Leistungssteigerung (Abnahme der OS-Werte) nachzuweisen, was im Widerspruch zu unserer Ausgangshypothese steht.

Die statistische Absicherung der Ergebnisse erfolgte nach dem verbundenen zweiseitigen t-Test. Als Prüfgröße konnte  $t = -3,1408$  ermittelt werden, was zu einem  $p = 0,0105$  führt. Unsere Hypothese, die Möglichkeit der Beeinträchtigung mentaler Regenerationsprozesse durch gepulste elektromagnetische Felder auch geringer Feldstärken, wird damit bestätigt.

## Diskussion

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine Pilotstudie, die klären soll, ob mittels eines psychophysiologischen Verfahrens eine Bewertung der Wirkung von schwachen gepulsten elektromagnetischen Feldern auf den Organismus erfolgen kann. Die von uns verwendete Methode nutzt die hohe Sensibilität kognitiver Prozesse auf exogene Reize.

Den Denkprozessen, den mentalen Entscheidungen im erweiterten Sinn, liegen kognitive Elementarprozesse zugrunde. Es wird die Annahme vertreten, dass die Verrechnung dieser Prozesse in ihren Kernbereichen einer *internen Zeitstruktur* unterliegt, und dass dieses Zeitmaß auch für die Ausprägung der individuellen Ordnungsschwelle von Bedeutung ist (8).

Eindeutige Richtwerte für Ordnungsschwellen können der Literatur nicht entnommen werden. Die von einander abweichenden Werteangaben sind auf die unterschiedlichen Messverfahren zurückzuführen. Auch weisen die Probanden deutliche inter-individuelle Unterschiede in ihren OS auf. Eine Langzeitstudie spricht dafür, dass trotz großer interindividueller Unterschiede bei den Probanden die intra-individuellen Langzeit-Schwankungen der OS vergleichsweise geringfügig ausfallen (9). Auch soll darauf verwiesen werden, dass — im Gegensatz zu anderen Studien, in denen die OS per definitionem als singuläre Messgröße ermittelt wird — in dem von uns verwendeten Auswerteverfahren der gesamte Kurvenverlauf über 200 Messpunkte in die Bewertung mit eingeht.

Da aber die Zeitbasis der induzierten kognitiven Prozesse das Ergebnis einer Verrechnung auf neuronaler Ebene ist, und die verrechnenden neuronalen Strukturen externen Einflüssen unterliegen, ist auch zu erwarten, dass eine Dämpfung der informationsverarbeitenden, elektrochemischen Prozesse auftreten kann. Unter dieser Voraussetzung ist zu erwarten, dass auch die gepulsten Felder als systembeeinträchtigende Störgrößen auf die kognitiven Prozeduren einwirken.

Diese Annahme wird auch gestützt durch Befunde, wie sie von v. KLITZING (7) vorgestellt wurden. Danach ist eine Beeinträchtigung der neuronalen Aktivität durch niederfrequent gepulste HF-Felder zu beobachten; auf Grund der Feldbelastung weist das EEG in seinen Komponenten Veränderungen auf. Dass eine Beeinflussung der kreislauf-physiologischen Parameter durch gepulste Felder auftritt, kann übereinstimmend den Studien entnommen werden (2,4).

Untersuchungen zur bestehenden Fragestellung mittels *psychophysiologischer Methoden* sind in der Literatur bislang nicht beschrieben. Wir glauben daher, mit unserem Ansatz über die

Bewertung von Gedächtnisprozesse einen neuen Weg zur Objektivierung der Feldeinwirkung auf den Organismus beschränkt zu haben.

## Legenden

### Bild 1

Ermittlung der Ordnungsschwelle bei einer gesunden, erwachsenen Versuchsperson. Werteverlauf über 200 Ereignisse. Auf der Ordinate ist der zeitliche Abstand der paarweise angebotenen Klick-Reize (ISI) wiedergegeben. Die stochastisch auftretende Folge (l/r bzw. r/l) der Stimuli beginnt mit einem Ausgangs-ISI von 300 ms. Bei korrekter Antwort-Reaktion erfolgt eine schrittweise ISI-Reduzierung des nachfolgenden Klick-Paares um Zeitwert ( $\tau$ ). Falsch-Reaktionen werden mit einer ISI-Zunahme um den Wert  $4\tau$  geahndet. Im 'try-and-error Verfahren' kann so die individuelle OS in wenigen Minuten ermittelt werden (hier: OS = 52 ms in Item 166).

### Bild 2

Versuchs-Design. Abfolge der Messphasen je Proband in den Test-Situationen: MP2.1/MP2.2 mit Feld-Expositionen während der Ruhephase, MP1.1/MP1.2 Kontroll-Messung.

### Bild 3

Oben: Vergleich der ermittelten Kurvenverläufe (vor und nach der Ruhephase) für die Ordnungsschwelle eines Probanden, hier unter der Bedingung *mit Feld-Exposition*. Eine Regeneration der kognitiven Leistungen ist hier nicht erfolgt, die positiven Trends in den Feldern *Differenz\_Kurve* und (nach Integration) *OS-Zuwachs* belegen eine OS-Wertezunahme und damit im Test eine Leistungs-Verschlechterung.

.

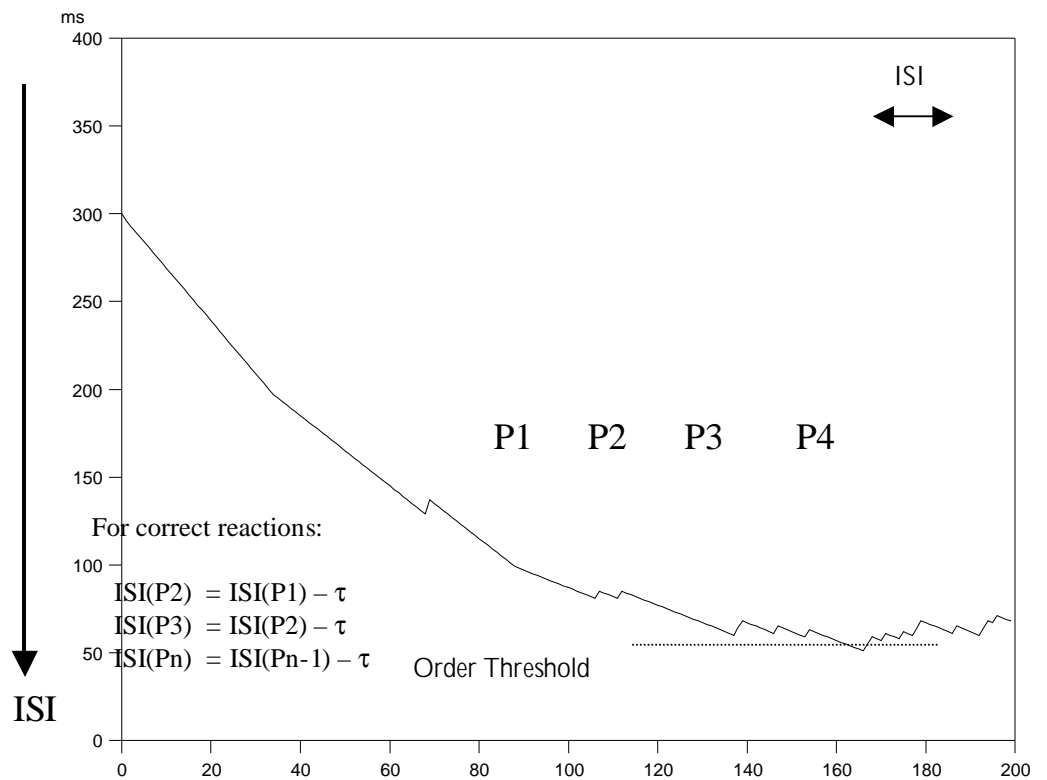
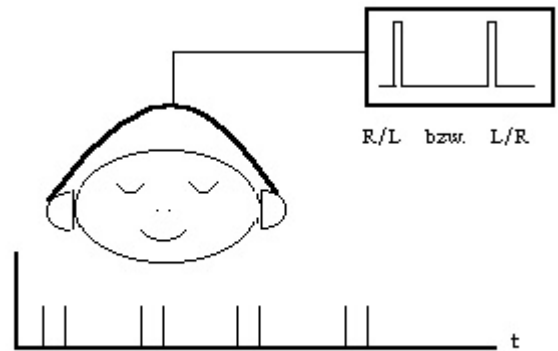
### Bild 4

OS-Messwerte vor und nach der Ruhephase, oben links *Kontrollmessung*, oben rechts *mit Feld-Expositionen*. Unter Feldbedingung ist eine Verlagerung der Messpunkte zu größeren Zeitwerten zu beobachten. In Zusammenfassung dieser Ergebnisse (unten): OS Werte-Verschiebung (Differenzwerte der Messungen: vor/nach Ruhephase) unter den Bedingungen mit und ohne Feld-Expositionen. Läge kein Effekt vor, müssten alle Messpunkte sich auf der eingetragenen Diagonalen befinden. Die Asymmetrie der Punkteverteilung längs der Diagonalen, die Verlagerung von 9 der 11 Probanden-Messdaten in Richtung höherer Zeitwerte, spricht aber für eine Beeinträchtigung der kognitiven Regenerationsprozesse unter der Bedingung *Feld-Exposition*.



## Literatur

1. Bernhardt JH et al.: Gesundheitliche Aspekte des Mobilfunks (Diskussionsbeiträge). Deutsches Ärzteblatt 1999; 44: B-2277-2280.
2. Braune, S. et al.: Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. The Lancet 351 (1998) 1857 - 1858
3. Cordis E, Kilkenny M: International case-control study of adult brain, head and neck tumors: Results of the feasibility-study. Radiat protect dosimetry 199; 83: 179-183.
4. David E: Biologische Wirkung von elektromagnetischen Feldern. In: Weingarten J: Probleme mit Elektromog? Gesundheit, Sicherheit und Gesetzgebung in der Diskussion über elektromagnetische Felder. Idar-Oberstein: Literaturverlag und digitale Medien. 1997.
5. Fedorowski A, Steciwko A: Electromog as a health risk factor: sources of artificial electromagnetic fields, evaluation of health risk, prevention methods. Med-Pr. 1997; 48 : 507-519.
6. Johansen C, et al: Cellular telephones and cancer – a nationwide cohort study in Denmark. J Natl Cancer Inst 2001; 93: 203 – 207.
7. Klitzing L v.: Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. Physica Med. 1995; XI: 77-80.
8. Maier R: Kognitive Prozesse sprachverarbeitender Gedächtnisleistungen. Zur Interaktion von Sprach- und Musikverarbeitung aus psychophysiologischer Sicht. Z. f. Angewandte Linguistik 2000; Beiheft 107: 89 – 104.
9. Maier R, Keilmann A: Die Ordnungsschwelle und die Bewertung zentraler auditiver Leistungen. In: Gross M: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte 1997. Berlin: Renate Gross Verlag 1998; 300-304.
10. Spitznagel A, Macek U: Auditiver Fusionspunkt bei Nichtsprachauffälligen und Sprachauffälligen verschiedener Altersgruppen. Forschungsbericht, Univ. Gießen. FB Psychologie, Gießen 1994.
11. Stang A. et al.: The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. Epidemiology 2001; 12: 7-12.
12. Investigation into a possible causal link between high frequency electromagnetic fields and congenital malformations. SFK/T-TKK-EMC&M. Norwegian Navy, report 633-71331-100-002E (February 9th, 1998)



P – Click stimuli, presented in pairs

ISI – Inter stimulus interval

$\tau$  – ISI-time difference between two successive items

(for correct reactions)

For incorrect reactions:

$$ISI(P_{n+1}) = ISI(P_n) + 4\tau$$

Fig.2

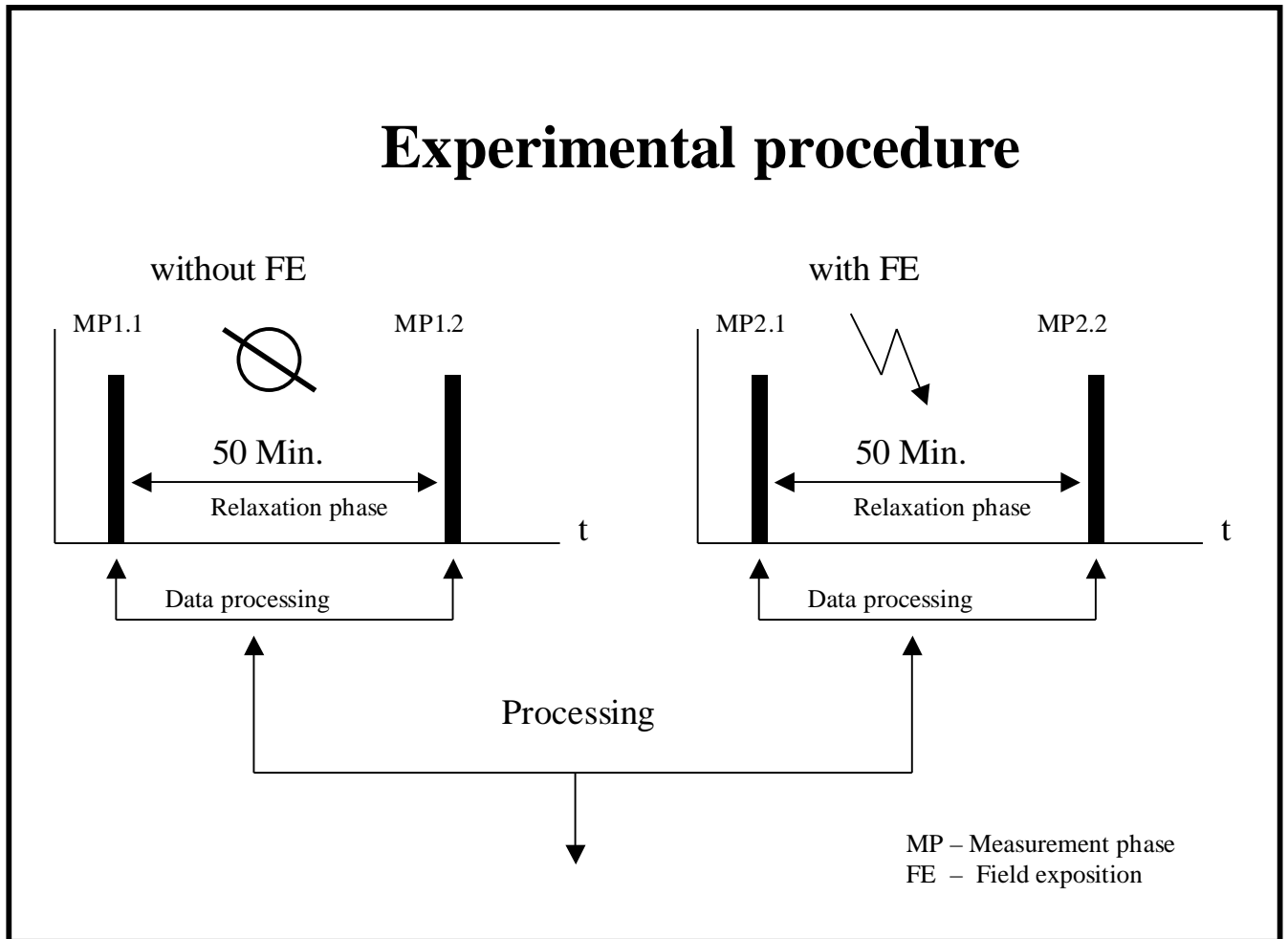
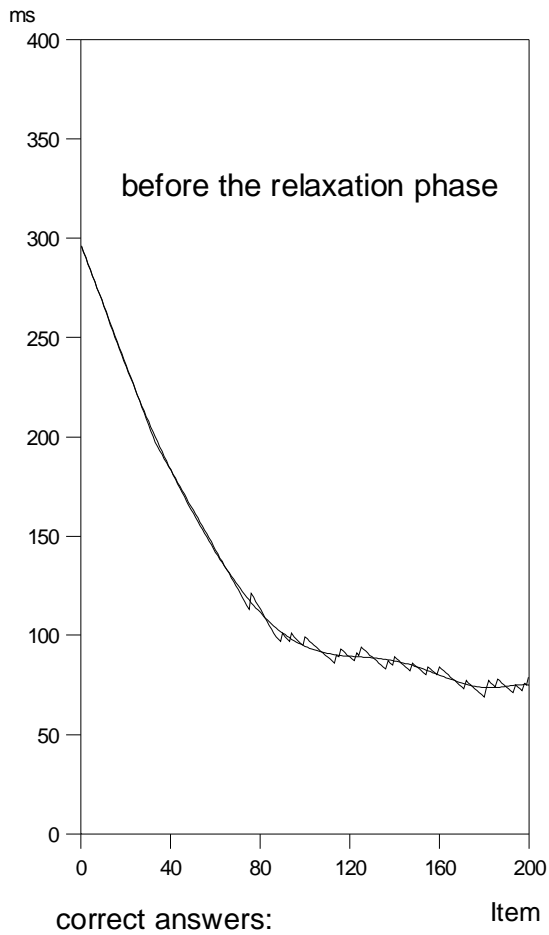
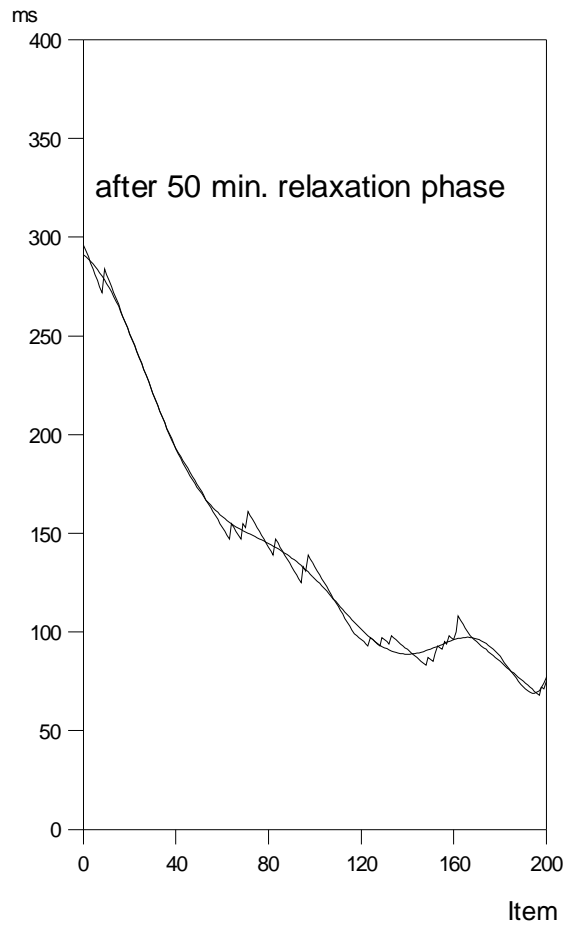


Fig.3



left : 100, right : 81  
OK: l=93.46%, r=86.17%,



left : 102, right : 80  
OK: l=91.89%, r=88.89%

