

Prof.Dipl.Ing. Leonhard Zeisel

Ein Meßverfahren zur Bestimmung  
der Körperbelastung durch das  
elektrische Wechselfeld  
bei tiefen Frequenzen

Windach, den 20. 09. 93

Zur Ermittlung der Körperbelastung durch elektrische und magnetische Wechselfelder bedienen sich die Baubiologen, bzw. die Elektrobiologen der Meßgeräte, mit denen die magnetische Induktion in Tesla, die elektrische Feldstärke in Volt/m, bzw. die sogenannte kapazitive Ankopplung in Volt gemessen wird. Wichtig ist hier die Feststellung, daß dabei das extrakorporale Feld gemessen wird. Die Körperbelastung, also der Gegenstand der baubiologischen Untersuchung, ist allerdings durch das intrakorporale Feld, letztendlich durch die vom Feld verursachten intrakorporalen Ströme gegeben.

Wie kommt man aber an die im Körper fließenden Ströme heran, ohne invasive Techniken zu benutzen? Eine Teilantwort auf diese Frage will dieser Beitrag geben.

### **Einfluß des Magnetfeldes.**

Die Materialeigenschaften des menschlichen Körpers beeinflussen das Magnetfeld nicht, deshalb herrscht an einer bestimmten Körperstelle gleiches Feld wie es an gleicher Stelle bei Abwesenheit des Körpers gemessen wird. Aus der gemessenen Induktion kann der intrakorporale Wirbelstrom rechnerisch gut ermittelt werden.

### **Einfluß des elektrischen Feldes.**

Anders bei elektrischem Feld. Beim Eintauchen des menschlichen Körpers in das Feld wird dieses auf zweierlei Weise gegenüber ursprünglichem Zustand verändert:

- in der Form (Feldlinien verzerrung),
- in der Feldstärke (Feld stärkenerhöhung).

Die extra- und intrakorporalen Feldstärken sind unterschiedlich groß und verhalten sich zueinander wie die spezifischen Widerstände der Feldmedien außerhalb und innerhalb des Körpers.

Mit vertretbarem Aufwand ist nur die äußere Feldstärke meßbar. Die daraus resultierende innere Strombelastung kann daher nur sehr ungenau bestimmt werden.

In der Baubiologie ist es üblich als Maß für die Belastung durch das elektrische Wechselfeld die sog. kapazitiv angekoppelte Spannung anzugeben. Hierbei wird die Spannung zwischen der Erde (Schutzleiter des Stromnetzes) und dem im Feld befindlichen menschlichen Körper gemessen. Es wird also die Äquipotentiale und nicht die Feldstärke erfaßt. Nicht die Belastung des Menschen, sondern die des Raumes zwischen ihm und der Erde - Bett, Luft, Fußboden etc. - wird ermittelt.

Ein leicht zu verstehendes Beispiel soll dieses verdeutlichen:

Parallel zur Erdoberfläche, in einer Entfernung von 10 m befindet sich eine hinreichend große metallische Platte, welche an eine Spannung von 100 V gegenüber der Erde angeschlossen wird. Da es sich in diesem Falle um ein homogenes Feld handelt, herrscht an jeder Stelle des Feldes eine elektrische Feldstärke von 10 V/m. Taucht man einen Körper in dieses Feld, fließt im Körperinneren ein Strom, dessen Stärke dem äußeren Feld proportional ist. Weil die Feldstärke im homogenen Feld über den Raum konstant ist, ist in diesem Falle auch der intrakorporale Strom ortsunabhängig. Die Körperbelastung ist deshalb im Feld der Anordnung nach Bild 1 an jeder Stelle gleich

groß, egal ob der Mensch nah an der Erde, oder an der oberen Platte liegt. (Siehe Bild 1).

Im Gegensatz dazu zeigt die Messung nach der **"Kapazitiven Ankopplung"** ortsabhängige Belastung an. Weil mit dieser Methode - ideales Voltmeter vorausgesetzt - die Äquipotentiale gemessen wird, ist im Falle a) mit  $U_a = 10 \text{ V}$  eine kleinere Belastung als im Falle b) mit  $U_b = 90 \text{ V}$  vorgetäuscht worden.

Darüber hinaus berücksichtigt die kapazitive Ankopplung die Ortsabhängigkeit der Feldstärke im inhomogenen Feld nicht. Es kann daher auch nicht ermittelt werden, ob der Kopf, der Rumpf oder die Beine der größten Belastung ausgesetzt sind.

Mag auch in der Standardkonfiguration der Meßmethode (Mensch im Bett liegend) eine Korrelation zwischen gemessener Spannung und Körperbelastung zu finden sein, als allgemein gültige Meßmethode zur Bestimmung der Körperbelastung durch das elektrische Feld kann die "Kapazitive Ankopplung" nicht herangezogen werden.

Das in diesem Beitrag vorgeschlagene Meßverfahren stellt eine derart modifizierte Feldstärkemessung dar, bei der es keinerlei Umrechnung der extrakorporalen Feldstärke in intrakorporale Stromdichte bedarf. Das Verfahren beruht auf der Tatsache, daß an der Grenze Körper/Umgebung die extra- und intrakorporalen Stromdichten gleich sind. Mittels Messung der extrakorporalen Stromdichte an der Körperoberfläche, erhält man ohne Umweg einer Umrechnung die unter der Oberfläche wirkende intrakorporale Stromdichte.

#### **Prinzip des Meßverfahrens zur Bestimmung der intrakorporalen Stromdichte.**

Befindet sich ein menschlicher Körper (MK) im elektrischen Wechselfeld, fließt im Körper ein der Feldstärke proportionaler Verschiebungsstrom, dessen Stromdichte  $S = I/A$  über die Flächengröße  $A$  und Verschiebungsstrom  $I$  innerhalb dieser Fläche ermittelt werden kann (Bild 2a). Um die Stromstärke innerhalb der Teilfläche  $A$  messen zu können, muß vom Körper MK dieses Flächenstück abgetrennt, d.h. isoliert und zwischen ihm und dem restlichen Körperteil ein geeignetes Amperemeter eingefügt werden (Bild 2b). In so einer Anordnung ist der Verschiebungsstrom des Körpers, bzw. des Abgetrennten Flächenteils gleich dem Leitungsstrom des Amperemeters  $I_A$ . Aus gemessener Stromstärke und bekannter Flächengröße ergibt sich die gesuchte, am Meßort im Körper wirkende Stromdichte, oder bildlich, die Anzahl der Feldlinien pro Flächeneinheit.

Die Problematik der Messung reduziert sich auf die Realisierbarkeit des vom Körper isolierten Flächenteils. Verwirklicht wird dies mit einer leitenden Platte gleichen spezifischen Widerstandes wie es die Bindegewebsschichten an der Oberfläche des menschlichen Körpers haben. So eine Platte (Meßsonde) wird dicht, jedoch isoliert an die Körperstelle plaziert an welcher die Stromdichte gemessen werden soll.

Im inhomogenen Feld ist an jedem Ort des Körpers andere Stromdichte zu finden. Es ist Sache der Medizin diejenigen Körperteile, bzw. Orte zu benennen, welche die größte Empfindlichkeit gegenüber Feldströmen aufweisen. Die Messung kann dann auf diese Stellen beschränkt werden.

Aus bisherigen Erfahrungen weiß man, daß sich die größte Belastung ergibt bei Orientierung des elektrischen Feldes in der Körper-Längsachse und des magnetischen Feldes quer zu Längsachse in seitlicher "Arm zu Arm" Richtung.

Beide so gerichteten Feldarten haben zur Folge einen in Körper-Längsachse fließenden Strom. Es wird deshalb sinnvoll sein die Stromdichte vor allem an der Schädeldecke und den Fußsohlen zu messen. Die in der Regel vorhandene Inhomogenität des Feldes wird an diesen Meßstellen unterschiedliche Werte mit sich bringen. Die Erfahrung mit der Meßmethode muß zeigen wie das hinsichtlich der Grenzwerte zu bewerten ist.

### Grenzwerte der Stromdichte.

Wie hoch ist nun der Stromdichte-Grenzwert anzusetzen?

Die Grenzwerte des elektrischen Wechselfeldes sind stets in Einheiten der elektrischen Feldstärke (V/m) und für ein unverzerrtes Feld angegeben. Also ohne Anwesenheit des menschlichen Körpers, dessen Belastung ermittelt werden soll. Von einem so definierten Grenzwert der Feldstärke den für die Stromdichte abzuleiten führt zu großen Unsicherheiten.

Viel günstiger ist es, den gesuchten Stromdichte-Grenzwert von dem der magnetischen Induktion abzuleiten.

Aus dem Induktionsgesetz  $U = d\Phi/dt$  und  $R = \rho A/l$  mit  $U = RI$  ist die im Körper induzierte Stromdichte

$$S = 2\pi fAB/(\rho l) \text{ worin}$$

f Frequenz in Hz,

B magn. Induktion in T,

A Fläche in  $m^2$ ,

l Umfang der Fläche A in m,

p spez. Widerstand in  $\Omega m$  ist.

Unter Annahme durchschnittlicher Körpermaße mit  $A=0,14m^2$  und  $l=1,7m$  (siehe Bild 3),  $p=10\Omega m$  und für die Netzfrequenz  $f=50$  Hz, ergibt sich der Grenzwert für die intrakorporale Stromdichte zu

<b>S ≈ 2,5 B</b>
------------------

Die unterschiedlich festgelegten Grenzwerte der magnetischen Induktion ergeben dann diese gerundeten Grenzwertzahlen:

DIN-VDE	$S_{max} = 10mA/m^2$	(B= 5 mT)
RPA	$S_{max} = 2mA/m^2$	(B= 1 mT)
MPR	$S_{max} = 600nA/m^2$	(B=250 nT)
AEB, bzw. Baubiol.	$S_{max} = 50nA/m^2$	(B= 20 nT).

Mit dem hier vorgeschlagenen Verfahren wird der in den Körper fließende Wechselstrom in Form seiner Dichte gemessen und zwar an der, durch die Ortslage und Flächengröße der Meßsonde gegebener Körperstelle. Es kann freilich nicht auf einfache Weise ermittelt werden wie sich dieser Strom im Körper auf die einzelnen Organe verteilt.

Wie bei jeder Feldstärkemessung ist auch hier der Umstand zu beachten, daß die messende Person das Feld verzerrt. Ein hinreichend großer Abstand zum Probanden und dem Meßgerät ist einzuhalten.

Vom Verfasser wurde ein auf die Erfordernisse der Elektrobiologen angepaßtes Meßgerät zur Bestimmung elektrischen Stromdichte und magnetischen Flußdichte im Tieffrequenzbereich entwickelt. Zwei Prototypen wurden dem Arbeitskreis für Elektrobiologie e.V. zur praktischen Erprobung bereitgestellt. Nach einjähriger Erprobungszeit wurde 1994 mit der Kleinserienherstellung begonnen.

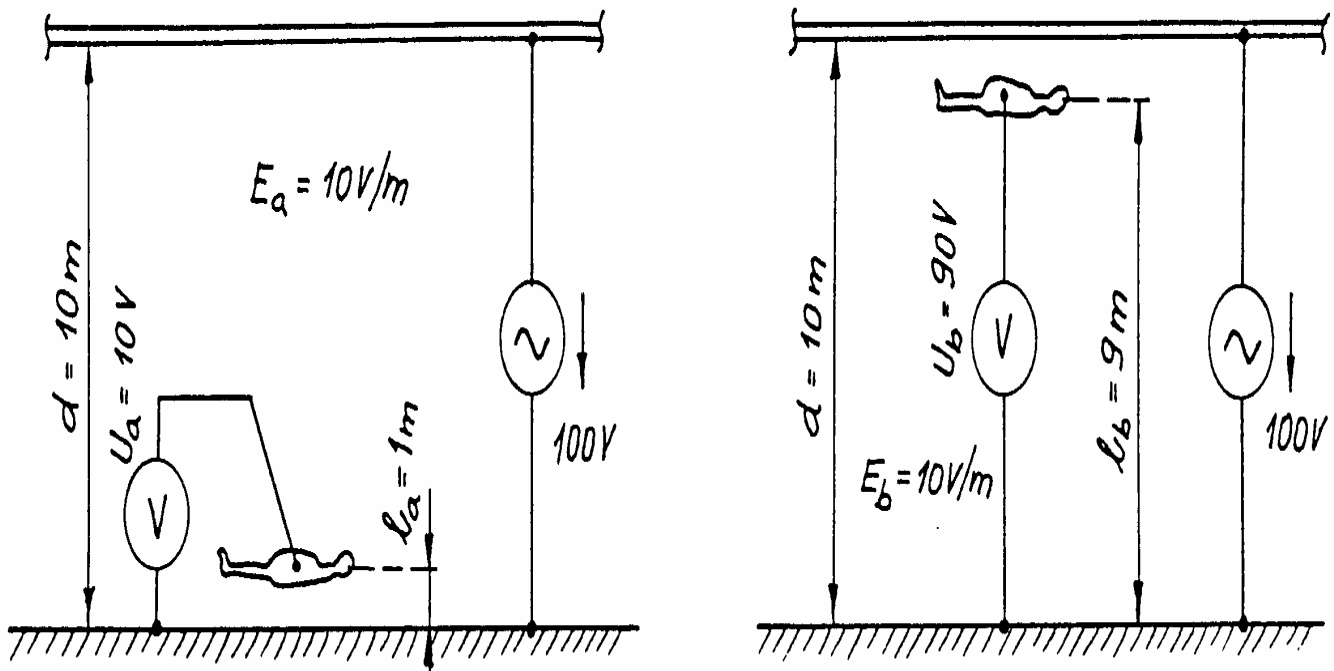


Bild 1. Zwei Ortslagen des Körpers im homogenen Feld. Die Feldstärke (E) als Maß der Belastung ist in beiden Fällen gleich, die Spannung (U) nach der "kapazitiven Ankopplung" ist verschieden

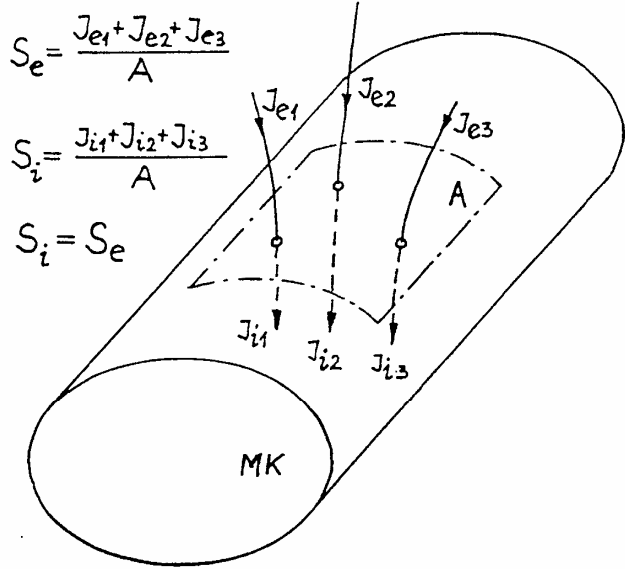


Bild 2a Zur Definition der extra- und intrakorporalen Stromdichte

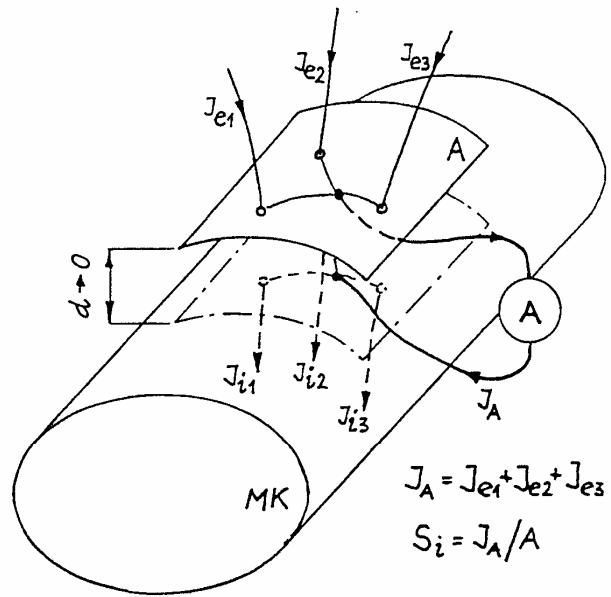


Bild 2b Prinzip der intrakorporalen Stromdichtemessung mittels Amperemeter

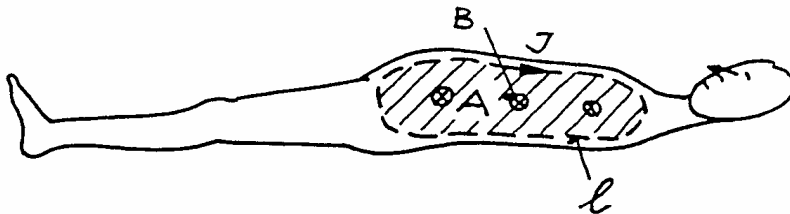


Bild 3 Magnetische Induktion (B) erzeugt am Umfang (l) der Schnittfläche (A) einen Wirbelstrom (I).

Leonard Zeisel  
 Professor für elektronische Schaltungstechnik an der FH München

20.09.93