

Bericht über Messungen  
an E-Feldstärkemessgeräten  
für den  
Niederfrequenzbereich

08.03.2002

**Durchführung:**

Dr.-Ing. Georg Bahmeier      Grünauer Allee 33      82008 Unterhaching

Dr.-Ing. Martin H. Virnich      Dürerstraße 36      41063 Mönchengladbach

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

<b>0</b>	<b>VORWORT</b> .....	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>HINTERGRUND</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>ZWECK DER STUDIE</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>BESCHREIBUNG DER TESTKANDIDATEN</b> .....	<b>10</b>
<b>4.1</b>	<b>Potenzialfreie Messgeräte</b> .....	<b>10</b>
4.1.1	Eindimensionale potenzialfreie Messgeräte (1D) .....	10
4.1.2	Dreidimensionale potenzialfreie Messgeräte (3D) .....	11
<b>4.2</b>	<b>Messgeräte zur Messung gegen Erdpotenzial</b> .....	<b>14</b>
4.2.1	Messgeräte für TCO-Messungen (Tellersonden).....	16
4.2.2	Kleinsonden .....	19
<b>5</b>	<b>UNTERSUCHUNGEN IM HOMOGENEN ELEKTRISCHEN FELD</b> .....	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>Beschreibung des Testaufbaus</b> .....	<b>21</b>
<b>5.2</b>	<b>Testdurchführung (potenzialfreie Messgeräte)</b> .....	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>Messergebnisse (potenzialfreie Messgeräte)</b> .....	<b>23</b>
<b>5.4</b>	<b>Auswertung (potenzialfreie Messgeräte)</b> .....	<b>26</b>
5.4.1	Messung in unbekanntem Feldkonfigurationen.....	26
5.4.2	Messgenauigkeit.....	27
5.4.3	Messung an der Oberfläche von leitfähigen Objekten .....	28
<b>5.5</b>	<b>Testdurchführung (Messgeräte für TCO-Messungen)</b> .....	<b>30</b>
<b>5.6</b>	<b>Messergebnisse (Messgeräte für TCO-Messungen)</b> .....	<b>31</b>

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

5.6.1	Felderzeugende Platten ungeerdet.....	31
5.6.2	Untere felderzeugende Platte geerdet.....	33
5.6.3	Obere felderzeugende Platte geerdet.....	34
<b>5.7</b>	<b>Testdurchführung (Kleinsonden).....</b>	<b>36</b>
<b>5.8</b>	<b>Messergebnisse (Kleinsonden).....</b>	<b>37</b>
5.8.1	Felderzeugende Platten ungeerdet.....	37
5.8.2	Untere felderzeugende Platte geerdet.....	38
5.8.3	Obere felderzeugende Platte geerdet.....	39
<b>5.9</b>	<b>Fazit der Untersuchungen im homogenen elektrischen Feld .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>UNTERSUCHUNGEN IN REALEN SITUATIONEN (BETT/MENSCH).....</b>	<b>41</b>
<b>6.1</b>	<b>Versuchsordnung 1 .....</b>	<b>41</b>
6.1.1	Aufbau der Versuchsordnung 1 .....	41
6.1.2	Feldverzerrung durch eingebrachte Körper .....	42
6.1.3	Messung am menschlichen Körper: Potenzialfrei und erdbezogen .....	46
6.1.4	Messung am menschlichen Körper: Potenzialfrei, erd- und körperbezogen .....	49
<b>6.2</b>	<b>Versuchsordnung 2 .....</b>	<b>50</b>
6.2.1	Aufbau der Versuchsordnung 2.....	50
6.2.2	Potenzialfreie Messung (3D) in verschiedenen Feldsituationen, ohne Person.....	52
6.2.3	Potenzialfreie Messung (3D) in verschiedenen Feldsituationen, mit Person.....	57
6.2.4	Erdbezogene Messung in verschiedenen Feldsituationen .....	63
6.2.5	Körperbezogene Messung in verschiedenen Feldsituationen.....	68
6.2.6	Körperspannungsmessung in verschiedenen Feldsituationen .....	70
<b>7</b>	<b>QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>71</b>

## 0 Vorwort

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse von Untersuchungen zusammen, die von der Fa. Martin Schauer Elektrotechnik, 97074 Würzburg, Gertrud-von-le-Fort-Str. 10, initiiert wurden. Die Arbeiten wurden im Rahmen des Mittelständischen Technologie-Beratungs-Programms von der LGA - Landesgewerbeanstalt Bayern - finanziell unterstützt. Die Verfasser bedanken sich bei allen Beteiligten für die gute und erfolgreiche Zusammenarbeit.

## 1 Zusammenfassung

Im Rahmen der hier vorliegenden Studie wurden verschiedene Geräte zur Messung von niederfrequenten elektrischen Feldern

1. auf Messgenauigkeit und Handhabung,
2. auf Ihre Eignung zur Messung von Feldern direkt an der Körperoberfläche des Menschen und
3. auf Ihre Eignung zur realistischen Vergleichsmessung (Sanierungskontrolle) von Feldern, nachdem die Feldsituation durch das Einbringen großflächiger, geerdeter Abschirmungen verändert worden ist, untersucht.

Für die Untersuchungen wurden die Messgeräte nach ihrer Konstruktion und ihrem Messprinzip in drei Gruppen unterteilt:

1. „Potenzialfreie“ Messgeräte
2. „Erdbezogene“ Messgeräte für TCO-Messungen (Tellersonden)
3. „Erdbezogene“ Messgeräte mit Kleinsonden

Bei den unter 2. und 3. aufgeführten Messgeräten muss laut Bedienungsanleitung eine leitfähige Verbindung mit dem Erdpotenzial hergestellt werden. Man nennt die Messmethodik, nach der diese Geräte messen, deshalb auch „Messung gegen Erdpotenzial“ oder „erdbezogen“.

Bei den unter 1. genannten Messgeräten wird eine solche Verbindung nicht hergestellt. Die hier zu Grunde liegende Messmethodik wird deshalb „potenzialfreie Messung“ genannt.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Aus den Ergebnissen der im Folgenden detailliert beschriebenen Versuche lassen sich aus Sicht der Autoren folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Mit potenzialfreien Messgeräten kann im freien Raum<sup>1</sup> in jeder Feldsituation<sup>2</sup> richtig gemessen werden, vorausgesetzt:
  - die Handhabung ist korrekt und
  - das Feld ist - in Relation zur Sondengröße - nicht stark inhomogen<sup>3</sup>.
2. Durch den Näherungseffekt [1] zeigen potenzialfreie Messgeräte zu hohe Messwerte an, wenn direkt an der Oberfläche von elektrisch leitenden Objekten (z.B. an der menschlichen Körperoberfläche) gemessen wird. Die Messwerte können mit einem Korrekturfaktor korrigiert werden, der für jedes Messgerät unterschiedlich ist und mit einem einfachen Versuchsaufbau (zwei Metallplatten) ermittelt werden kann [1].
3. Potenzialfreie Messgeräte (Sensoren) zur Messung niederfrequenter elektrischer Felder gibt es in verschiedenen Ausführungen. Sinnvolle Bauformen sind Würfel für dreidimensionale (3D) Messungen und flache Quader für eindimensionale (1D) Messungen.

Im freien Raum kann das elektrische Feld eine beliebige Richtung haben. Würfelförmige 3D-Sensoren sind besser zur Messung im freien Raum geeignet als flache Quader, weil sie alle drei orthogonalen Feldkomponenten ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ ) gleichzeitig messen können.

Auf der Oberfläche leitender Objekte steht das elektrische Feld immer senkrecht. Flache 1D-Sensoren sind besser zur Oberflächenmessung geeignet als würfelförmige Sensoren, weil sie das elektrische Feld weniger verzerren. Dies gilt auch und insbesondere am

---

<sup>1</sup> Im freien Raum bedeutet: mindestens 20 cm Abstand von Objekten, insbesondere elektrisch leitenden Objekten.

<sup>2</sup> „jede Feldsituation“ bedeutet, dass die leitfähigen Körper und Objekte, von denen das elektrische Feld ausgeht, auf beliebigem Potenzial liegen dürfen.

<sup>3</sup> Beispiel: Wenn sich die elektrische Feldstärke innerhalb von 5 cm sehr stark ändert, kann die Feldstärke nicht mit Sensoren gemessen werden, deren Kantenlänge 10 cm beträgt. In diesem Fall ist das Feld zu inhomogen für eine korrekte Messung.

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

menschlichen Körper. Hiermit ist es möglich, die elektrische Feldstärke direkt am menschlichen Körper zu messen.

4. Mit erdbezogenen Messgeräten (Messgeräte der Gruppen 2. und 3.) kann nur korrekt gemessen werden, wenn die Feldsituation genau bekannt ist. Trotz gleicher Feldstärke können sich sehr unterschiedliche Messwerte ergeben, wenn die felderzeugenden Leitungen und Objekte bei den einzelnen Messungen auf unterschiedlichem Potenzial liegen. Im Rahmen dieser Studie wurde häufig eine wesentlich zu hohe Feldstärkeanzeige beobachtet. Bei erdbezogenen Messungen in unbekanntem Feldsituationen besteht daher das Risiko der Fehlmessung und der Ableitung falscher Sanierungsempfehlungen. Je nach Handhabung und Ausrichtung der Geräte sind aber auch zu geringe Feldstärkeanzeigen möglich. Die Gefahr der Unterschätzung besteht insbesondere bei Sanierungsmaßnahmen mit großflächigen, geerdeten Abschirmungen und vergleichenden Messungen. Dies ist aus Personenschutzgründen kaum zu tolerieren.
5. Bei erdbezogenen Geräten müssen die Ausrichtung des Sensors und die Verlegung der Erdungsleitung - unter Kenntnis der Feldkonfiguration und Feldverteilung - sehr sorgfältig geplant werden, wenn keine großen Messfehler auftreten sollen.
6. Es gibt Feldkonfigurationen, in denen keine korrekte Messung mit erdbezogenen Messgeräten möglich ist<sup>4</sup>.
7. Bei der erdbezogenen Messung an leitenden Oberflächen (z.B. an der menschlichen Körperoberfläche) sind sehr große Messfehler möglich. Je nach Feldkonfiguration können dabei zu große oder zu kleine Messwerte angezeigt werden. Ein pro Messgerät einheitlicher Korrekturfaktor - wie für den Näherungseffekt bei potenzialfreien 3D-Sonden - existiert hier nicht.
8. Als Ersatz für den menschlichen Körper bei Messungen an der Körperoberfläche erscheinen leitfähige Dummies mit einfacher quaderförmiger Geometrie und leitfähige Vliese in körperähnlichen Abmessungen nicht geeignet, da sie nicht zu Feldveränderungen in vergleichbarer Größenordnung und räumlicher Differenzierung führen, wie sie der menschliche Körper hervorruft.

---

<sup>4</sup> Z.B. wenn keines der felderzeugenden Objekte auf Erdpotenzial liegt.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

9. Eine überschlägige Betrachtung des Einsatzes erdbezogener Feldsonden für das Verfahren der körperbezogenen Feldmessung zeigte positive Ansätze. Bei der körperbezogenen Messung wird die „Erd“-Messleitung nicht an das Erdpotenzial angeschlossen, sondern durch Hautkontakt auf das Potenzial des im Feld liegenden menschlichen Körpers gelegt. Alle untersuchten erdbezogenen Messsonden zeigen bei körperbezogener Verwendung eine deutliche Reduzierung des Effektes zur Anzeigeüberhöhung, wie er bei erdbezogener Verwendung auftritt. Eine Tendenz zur stärkeren lokalen Differenzierung als bei der erdbezogenen Verwendung erscheint wahrscheinlich. Vergleichende Messungen in verschiedenen Feldsituationen, auch bei Einbringen großflächiger, geerdeter Abschirmungen, geben die Veränderungstrends richtig wieder. Insgesamt erscheint das Verfahren der körperbezogenen Messung als interessant genug, um weiter detailliert und mit höherem Messaufwand untersucht zu werden.

**Die Kapitel 4.1 und 5 wurden von Dr.-Ing. Georg Bahmeier verfasst, die Kapitel 4.2 und 6 von Dr.-Ing. Martin H. Virnich.**

## 2 Hintergrund

Es ist wissenschaftlich gesichert, dass starke niederfrequente<sup>5</sup> elektrische Felder zu Gesundheitsschäden führen. Schwache niederfrequente elektrische Felder, wie sie beispielsweise im häuslichen Bereich auftreten, stehen im Verdacht, gesundheitliche Beschwerden auszulösen. Es ist daher im Sinne der gesundheitlichen Vorsorge sinnvoll, die elektrischen Felder in Wohnbereichen, insbesondere in Schlafräumen, möglichst gering zu halten. Bei Neubauten kann dies durch eine sorgfältig geplante Verlegung der elektrischen Leitungen in den Wänden und durch die Verwendung von geschirmten Elektroinstallationskomponenten erreicht werden. Bei bereits bestehenden Gebäuden müssen unter Umständen aufwändige Veränderungen an den elektrischen

---

<sup>5</sup> Unter „niederfrequenten Feldern“ werden hier Felder mit Frequenzen unter 30 kHz verstanden.



# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Installationen und/oder großflächige, geerdete Abschirmungen an Wänden, Decken und Fußböden vorgenommen werden.

Um die Notwendigkeit solcher Maßnahmen festzustellen und um entsprechende Sanierungsmaßnahmen sinnvoll zu planen, sind möglichst genaue Messungen des niederfrequenten elektrischen Feldes notwendig. Elektrische Felder im Niederfrequenzbereich sind jedoch verhältnismäßig schwer zu messen, weil nahezu jeder Gegenstand (auch der menschliche Körper) das elektrische Feld beeinflusst, bzw. verändert<sup>6</sup>. Bei An- oder Abwesenheit einer Person am Schlafplatz können sich sehr unterschiedliche Feldsituationen ergeben. Im Schlafbereich können Messungen nach zwei verschiedenen Verfahren vorgenommen werden:

- Mit oder
- ohne Anwesenheit einer Person bzw. eines Ersatzmodells (Dummy) im Bett.

Die Messergebnisse sind dementsprechend unterschiedlich zu interpretieren und zu bewerten. Außer durch die Anwesenheit einer Person am Schlafplatz werden elektrische Felder im Niederfrequenzbereich auch durch das Feldstärkemessgerät selbst und durch denjenigen, der das Gerät bedient, beeinflusst. Für eine zuverlässige Messung niederfrequenter elektrischer Felder gelten deshalb zwei Grundsätze:

1. Die Beeinflussung (Verzerrung) des zu messenden elektrischen Feldes durch das E-Feldmessgerät bzw. dessen Sensor sollte so gering wie möglich sein.
2. Derjenige, der die Messung durchführt, muss so weit vom Messort entfernt sein, dass er das elektrische Feld am Messort nicht mehr beeinflusst.

---

<sup>6</sup> Nur Materialien, die keine Leitfähigkeit aufweisen und deren Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  ungefähr gleich 1 ist, beeinflussen das elektrische Feld nicht.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Dies gilt auch, wenn eine Messung am Menschen durchgeführt wird, um dessen Feldbelastung festzustellen. In diesem Fall befindet sich ein Mensch als Testobjekt (z.B. am Schlafplatz) im Feld, während sich derjenige, der das Messgerät bedient, einige Meter entfernt aufhält.

## 3 Zweck der Studie

Zur Zeit gibt es eine Reihe von Geräten zur Messung niederfrequenter elektrischer Felder auf dem Markt, die auf unterschiedlichen Konzepten beruhen. Die hier vorliegende Studie soll Beiträge zur Klärung folgender Fragestellungen liefern:

1. Welche Konzepte sind grundsätzlich zur Messung von niederfrequenten elektrischen Feldern in unbekanntem Feldsituationen<sup>7</sup> geeignet?
2. Welche Messfehler treten bei den Messungen auf?
3. Welche Risiken bestehen hinsichtlich einer gravierenden Fehleinschätzung der Feldsituation und einer daraus resultierenden Abgabe falscher Sanierungsempfehlungen?
4. Wie kann die Feldstärke an der Oberfläche<sup>8</sup> oder eines menschlichen Körpers in einer unbekanntem Feldverteilung möglichst verlässlich gemessen werden?
5. Wie muss ein Objekt beschaffen sein, das als Ersatzmodell für einen Menschen im elektrischen Feld verwendet werden soll?

---

<sup>7</sup> Mit „unbekannte Feldsituationen“ sind hier Felder gemeint, deren Verteilung nicht bekannt ist und bei denen ebenfalls nicht klar ist, auf welchem Potenzial die Leitungen und Objekte liegen, von denen die Felder ausgehen.

<sup>8</sup> Da der Mensch aus leitfähigem „Material“ besteht, enden die niederfrequenten elektrischen Felder praktisch auf seiner Körperoberfläche. Im Innern des menschlichen Körpers sind nur noch sehr schwache elektrische Felder vorhanden.

## 4 Beschreibung der Testkandidaten

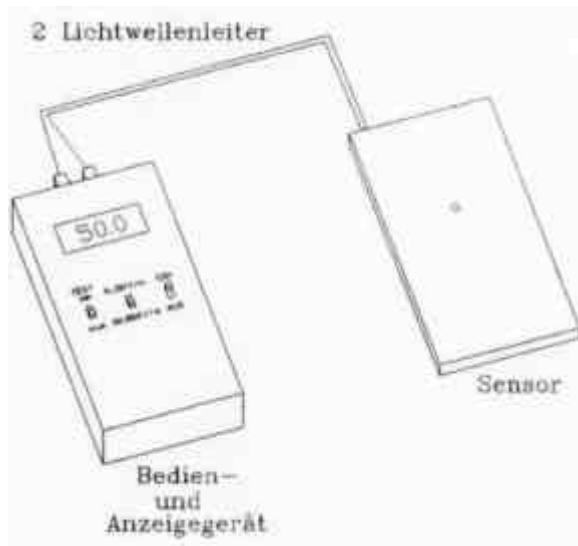
Bei den Testkandidaten werden zwei Gruppen unterschieden:

1. Messgeräte, deren Sensoren ins Feld eingebracht werden, ohne dass sie leitfähig mit anderen entfernten Objekten (wie z.B. geerdeten Leitern, Schutzkontakten oder ähnlichem) verbunden werden. Diese Messgeräte werden als „potenzialfrei“ bezeichnet.
2. Messgeräte, die über eine Messleitung geerdet und damit auf das Niveau des Gebäudepotenzialausgleichs gebracht werden. Die Messung mit solchen Messgeräten wird als „Messung gegen Erdpotenzial“ oder „erdbezogen“ bezeichnet.

### 4.1 Potenzialfreie Messgeräte

#### 4.1.1 Eindimensionale potenzialfreie Messgeräte (1D)

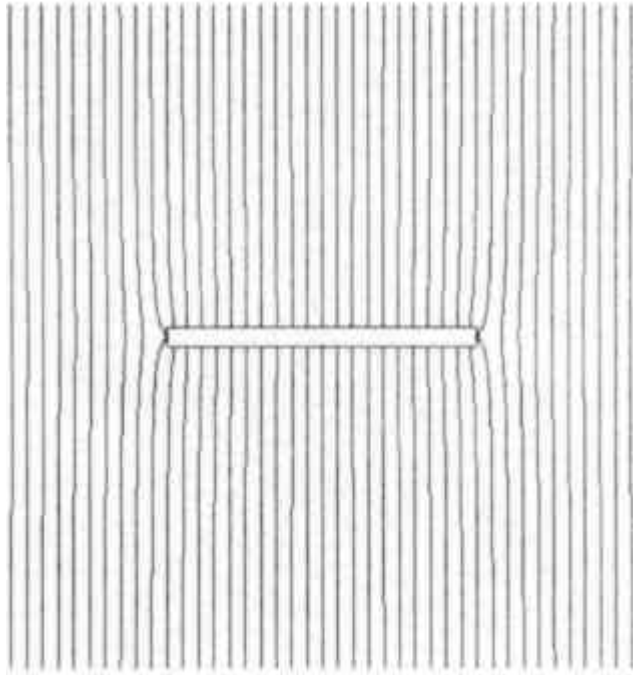
##### PFE 10000



Das PFE 10000 wurde von der Firma EMTEC hergestellt. Es besteht aus einem flachen Sensor und einem Bediengerät. Beide Komponenten sind über zwei Lichtwellenleiter miteinander verbunden sind (Abb. 4.1-1).

Die Messung mit dem PFE 10000 erfolgt eindimensional, weil es nur die elektrischen Felder messen kann, die senkrecht zur Ober- bzw. Unterseite des Sensors stehen.

**Abbildung 4.1-1** Potenzialfreies Messgerät mit flachem Sensor



Der Sensor verzerrt ein homogenes elektrisches Feld nur minimal (Abb. 4.1-2). Er ist deshalb sehr gut für die Messung solcher Felder geeignet.

**Abbildung 4.1-2** Feldverzerrung durch einen flachen potenzialfreien E-Feldsensor

### 4.1.2 Dreidimensionale potenzialfreie Messgeräte (3D)

#### **EFA-3      Wandel & Goltermann (heute: Narda)**

Der Sensor des Wandel & Goltermann-Gerätes ist würfelförmig (Abb. 4.1-3) und verfügt über drei Plattenpaare, mit denen die drei möglichen orthogonalen Komponenten (x, y, und z) des elektrischen Feldes gleichzeitig getrennt gemessen werden können. An der unteren y-Platte befindet sich ein Schraubanschluss zur Stativmontage des Gerätes. Bei den hier durchgeführten Messungen wurde das Messgerät ohne Stativ benutzt.

Der Sensor ist potenzialfrei und wird über Lichtwellenleiter mit dem Bediengerät verbunden.

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---



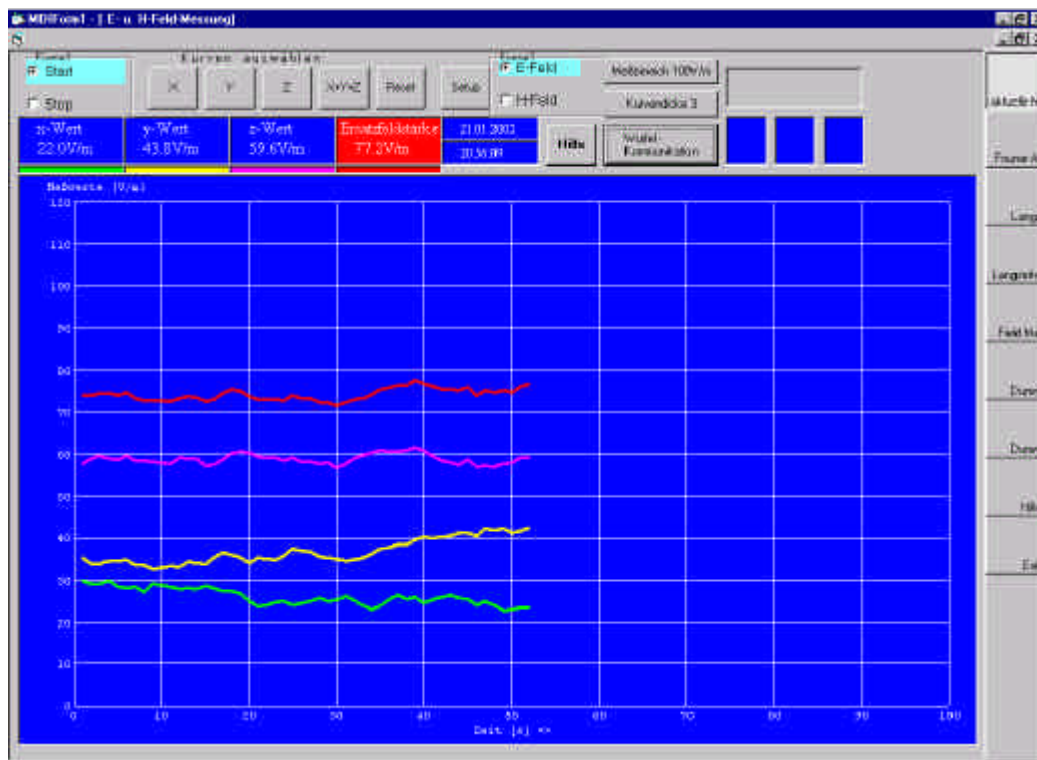
**Abbildung 4.1-3** 3D-Sonde Wandel & Goltermann EFA-3

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## 3D-EFM ROM-Elektronik-GmbH

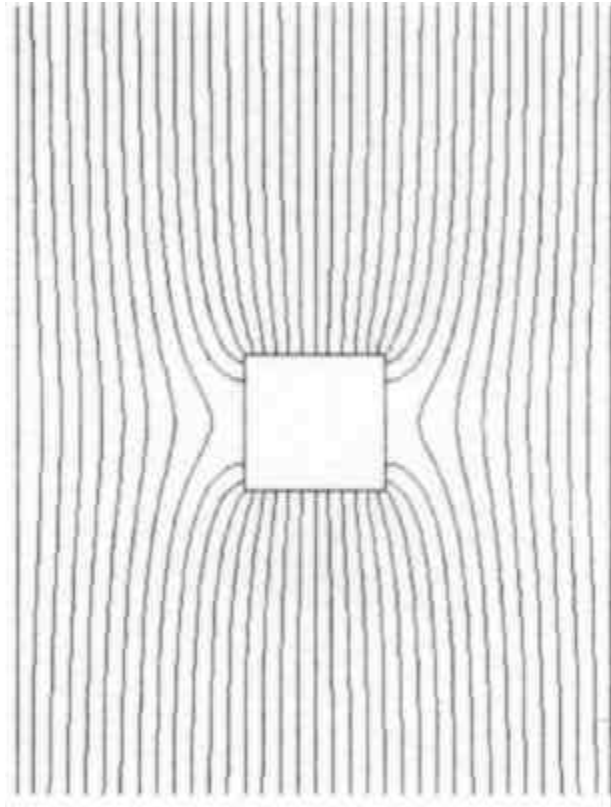
Der Sensor der Firma ROM-Elektronik ist dem der Firma Wandel&Goltermann sehr ähnlich. Er verfügt ebenfalls über drei Plattenpaare für die Messung der drei orthogonalen Feldkomponenten und einen Lichtwellenleiteranschluss. Der Sensor wird direkt an den seriellen Port eines Computers angeschlossen und von diesem über ein Programm gesteuert. Der Sensor wurde bisher nur in Einzelexemplaren gefertigt und steht kurz vor der Serienfertigung. Für die Messungen wurde ein nicht kalibrierter Prototyp benutzt.

Abbildung 4.1-4 zeigt eine typische Bildschirmdarstellung während der Messung



**Abbildung 4.1-4** Bildschirmdarstellung für den Würfelsensor der Firma ROM-Elektronik

Würfelförmige Sensoren verzerren das elektrische Feld im allgemeinen stärker als flache Sensoren (Abb. 4.1-5), können dafür aber dreidimensional (3D) und richtungsunabhängig (isotrop) messen. Die stärkere Feldverzerrung hat Konsequenzen bei der Messung in der Nähe von leitfähigen Objekten, wie z.B. der menschlichen Körperoberfläche.



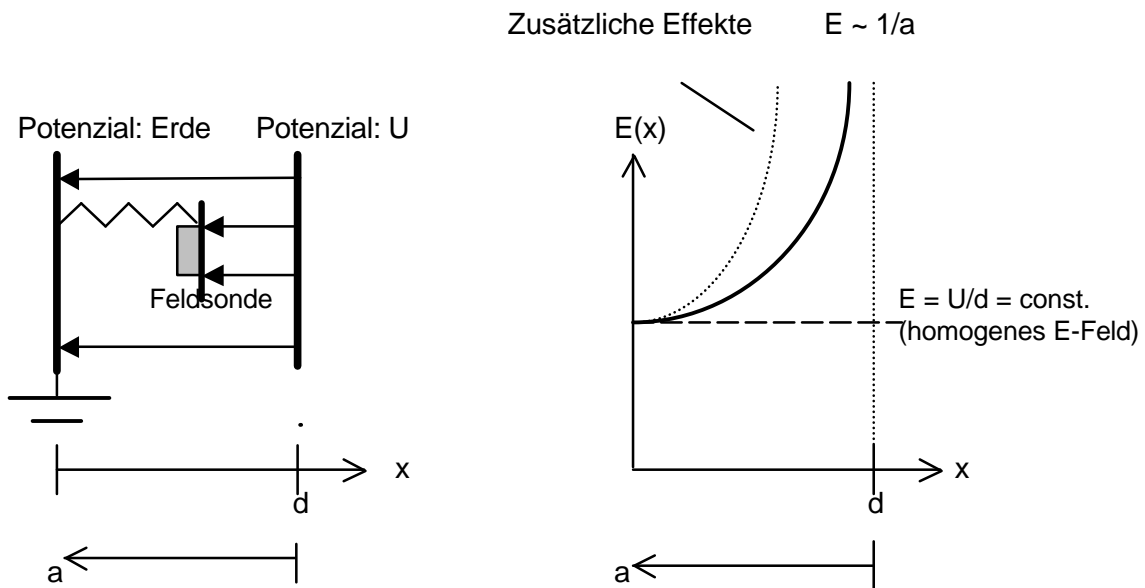
**Abbildung 4.1-5** Feldverzerrung durch einen würfelförmigen potenzialfreien E-Feldsensor

## 4.2 Messgeräte zur Messung gegen Erdpotenzial

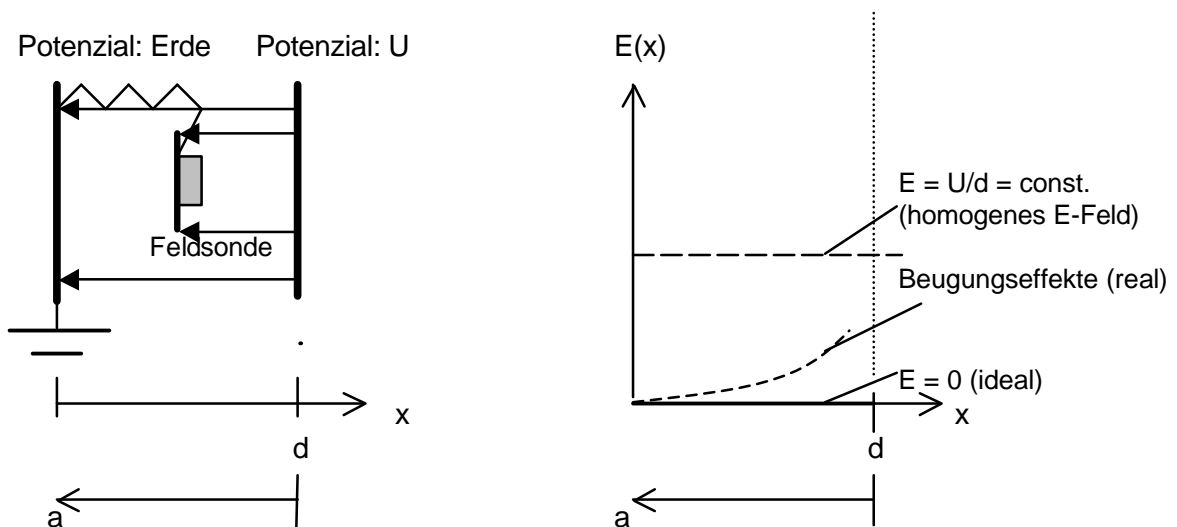
Bei Sonden zur erdbezogenen Messung ist eine der beiden Sondenplatten geerdet (Gegenelektrode). Damit ist die Feldstärke, die sich zwischen der Messsonde und einer Feldquelle ausbildet, direkt abhängig vom Abstand und der Ausrichtung der Messsonde zur Feldquelle sowie dem Potenzial der Feldquelle.

Nur wenn  $x = 0$  und somit  $a = d$  ist und die Potenziale sowie die Sondenausrichtung entsprechend der Abbildung 4.2-1 gegeben sind, wird die gleiche Feldstärke wie im ungestörten bzw. potenzialfreien Fall gemessen. Am Ort  $x = 0$  (und nur an diesem Ort) liegt auch die natürliche Äquipotenzialfläche auf Erdpotenzial und wird daher durch das „aufgezwungene“ Erdpotenzial der Feldsonde nicht gestört.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich



**Abbildung 4.2-1** Durch die erdbezogene Messung beeinflusstes elektrisches Feld (aus [2]), Tendenz zur erhöhten Feldstärkeanzeige gegenüber der Situation ohne eingebrachte Sonde



**Abbildung 4.2-2** Erdbezogene Messung mit umgekehrter Sondenrichtung wie in Abb. 4.2-1, Tendenz zur verringerten Feldstärkeanzeige gegenüber der Situation ohne eingebrachte Sonde

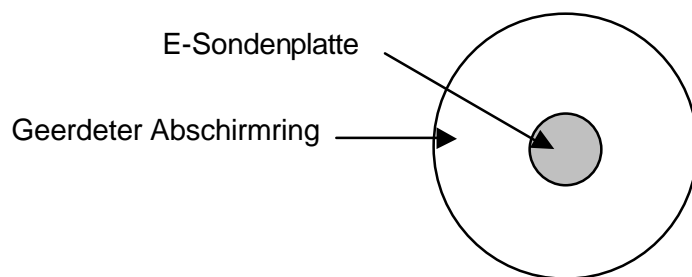
Beim erdbezogenen Messverfahren wird durch das Einbringen des Potenzials „Erde“ das Ursprungsfeld gestört. Entsprechend der örtlichen Verteilung der Potentiale und der Messsonden-



# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

ausrichtung werden entweder zu hohe oder zu niedrige Messwerte gegenüber dem Ursprungsfeld(wert) angezeigt.

Bei der Messung von Feldemissionen nach den schwedischen Computerstandards „MPR“ und „TCO“ werden das Messverfahren und der Messaufbau sehr genau definiert. Diese „vergleichenden Messungen“ haben das Ziel der Bewertung der eingesetzten Abschirmmaßnahmen gegenüber elektrischen Feldern z.B. an Bildschirmgeräten bei unterschiedlichen Gerätetypen und Fabrikaten, unabhängig von Umgebungseinflüssen. Ergebnis ist die Vergabe einer Prüfplakette für das untersuchte Gerät unter den Messbedingungen der MPR- bzw. TCO-Norm (genau definierter Ort des Erdpotenzials). Die dabei gewonnenen Messergebnisse sagen jedoch wenig über die tatsächliche Feldsituationen im praktischen Einsatz der Bildschirmgeräte aus (beliebige Orte des Erdpotenzials). Außerdem ist zu berücksichtigen, dass zu den Anfangszeiten von MPR und TCO die potenzialfreie Messmethode noch nicht zur Verfügung stand.



**Abbildung 4.2-3** Prinzipieller Aufbau einer TCO-Tellersonde (Vorderansicht)

## 4.2.1 Messgeräte für TCO-Messungen (Tellersonden)

Verwendet wurden folgende TCO-Sonden.

Hersteller	Sondentyp
EnviroMentor	EMM-4
Fauser Elektrotechnik	EFS-6 mit Anzeigeeinheit FM 6
Gigahertz Solutions	ETC 3951 A
Merkel Messtechnik	EM 1 light

Außerdem wurde eine modifizierte Sonde Gigahertz Solutions „ME 3951 A modifiziert“ eingesetzt, deren Sondenometrie allerdings deutlich von der TCO-Spezifikation abweicht (wesentlich kleinere Flächen der Sondenplatten und des Abschirmrings).



**Abbildung 4.2-4** TCO-Sonde EnviroMentor EMM-4 (Rückansicht)  
(Foto: EnviroMentor)



**Abbildung 4.2-5** TCO-Sonde Fauser Elektrotechnik EFS-6 (Rückansicht) mit Anzeigeinheit FM 6  
(Foto: Fauser Elektrotechnik)

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---



**Abbildung 4.2-6** TCO-Sonde Gigahertz Solutions ETC 3951 A (Rückansicht)  
(Foto: Gigahertz Solutions)



**Abbildung 4.2-7** TCO-Sonde Merkel Messtechnik EM 1 light (Rückansicht)



**Abbildung 4.2-8** TCO-Sonde Gigahertz Solutions ME 3951 A „modifiziert“ (Vorderansicht), mit flachem Sensor, Geometrie gegenüber TCO-Spezifikation verkleinert und rechteckig; zusätzliche Anzeigeeinheit DP 3000A

## 4.2.2 Kleinsonden

Als Kleinsonden werden erdbezogene Sonden bezeichnet, deren Sondenfläche nur einige Quadratzentimeter beträgt und die über keinen Abschirmring verfügen. Die Kalibrierung erfolgt entweder für körpernahe oder körperferne Haltung.

Verwendet wurden folgende Kleinsonden.

Hersteller	Sondentyp
Fauser Elektrotechnik	FM 6
Gigahertz Solutions	ME 3851 A
Merkel Messtechnik	EM 1

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---



**Abbildung 4.2-9** Kleinsonde und Anzeigeeinheit Fauser Elektrotechnik FM 6  
(Foto: Fauser Elektrotechnik)



**Abbildung 4.2-10** Kleinsonde Gigahertz Solutions ME 3851 A  
(Foto: Gigahertz Solutions)



Abbildung 4.2-11 Kleinsonde Merkel Messtechnik EM 1

## 5 Untersuchungen im homogenen elektrischen Feld

Die Untersuchung im homogenen elektrischen Feld sollte Antwort auf die Frage geben, welche Feldsondenkonzepte grundsätzlich zur Messung von niederfrequenten elektrischen Feldern in unbekanntem Feldsituationen<sup>9</sup> geeignet sind. Außerdem sollte ein Eindruck gewonnen werden, mit welchen Messfehlern man bei den Messungen rechnen muss.

### 5.1 Beschreibung des Testaufbaus

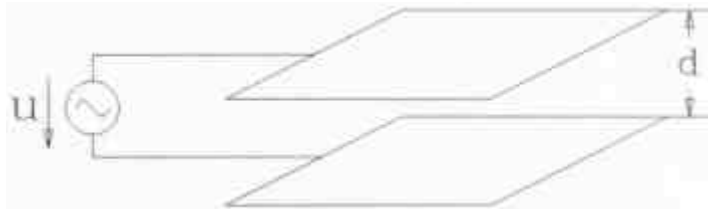


Abbildung 5.1-1 Testaufbau mit zwei Platten

Der Testaufbau bestand aus zwei Metallplatten mit der Größe 1m x 0,75m (siehe Abb. 5.1-1). Die Metallplatten wurden durch vier Styroporstützen auf einen Abstand von  $d = 40$  cm gebracht. Die untere Platte wurde auf vier jeweils 50 cm hohe Styroporstützen gelegt und

somit auf einen Abstand von 50 cm zum Boden gebracht.

Durch das Anlegen einer Spannung an zwei Platten mit einem bestimmten Abstand entsteht zwischen den Platten ein homogenes elektrisches Feld, vorausgesetzt, es findet keine Wechselwirkung der Platten mit unter Spannung stehenden Objekten in der Umgebung statt.

Um eine solche Wechselwirkung zu vermeiden, wurde der Messraum durch Abtrennung von Stromkreisen<sup>10</sup> soweit wie möglich feldfrei gemacht (Restfeld  $< 1$  V/m, potenzialfreie 3D-Messung mit Wandel&Goltermann EFA-3). Dann wurde von außen Spannung mit einem Kabel zugeführt.

---

<sup>9</sup> Siehe Fußnote 4

<sup>10</sup> Die Abtrennung der Stromkreise erfolgte durch Ausschalten der entsprechenden Sicherungen.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

An das Kabel wurden ein Trenntrafo und ein Stelltrafo angeschlossen. Der Ausgang des Stelltrafos wurde mit den beiden Platten verbunden. Die anliegende Spannung wurde mit einem Multimeter ständig gemessen und auf  $40 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$  gehalten, so dass zwischen den Platten ein homogenes elektrisches Feld mit einer Feldstärke von  $100 \text{ V/m} \pm 0,5 \text{ V/m}$  und einem Volumen von circa  $60 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$  erwartet werden konnte.

Die Homogenität des Feldes wurde mit dem flachen 1D-E-Feldsensor PFE 10000 überprüft. Bei ungeerdeten Platten war keine Inhomogenität des Feldes im oben angegebenen Volumen feststellbar.

Bei Erdung jeweils einer der Platten gab es eine leichte Inhomogenität:

Bei der Erdung der unteren Platte nahm die Feldstärke zwischen den Platten nach oben hin um circa 10% zu.

Bei der Erdung der oberen Platte nahm die Feldstärke zwischen den Platten nach unten hin um circa 10% zu. Diese Inhomogenität konnte nicht beseitigt werden.

## 5.2 Testdurchführung (potenzialfreie Messgeräte)

In der Mitte der Horizontalebene des homogenen Feldes wurden Messungen in verschiedenen Höhen - also mit verschiedenen Abständen zu den felderzeugenden Platten - vorgenommen. Die Abstände wurden dadurch hergestellt, dass die Messgeräte bzw. Sensoren auf Styroporunterlagen<sup>11</sup> gelegt wurden. Gemessen wurde in vier verschiedenen Abständen<sup>12</sup> zur unteren Platte:

1cm, 5cm, 15cm, 20cm.

Gemessen wurde so, dass jeweils nur ein Mess-Plattenpaar (x, y oder z) an der Messung beteiligt war. Wenn es möglich war, wurden bei jedem Abstand Doppel-Messungen vorgenommen. Dabei wurde ein Messwert jeweils mit einer bestimmten Orientierung des Sensors im Feld aufge-

---

<sup>11</sup> Styropor beeinflusst das elektrische Feld praktisch nicht.

<sup>12</sup> Dies ist der Abstand zwischen der unteren Platte und dem Teil des Sensors, der der unteren Platte am nächsten war.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

nommen (Messung (1) in den folgenden Diagrammen) und ein zweiter Messwert nach Drehung des Sensors um  $180^\circ$  (gegenüber einer horizontalen Achse, Messung (2) in den folgenden Diagrammen). Es ergaben sich somit bei einer Messung in vier verschiedenen Abständen zur unteren Platte insgesamt  $4 \times 2$  Messwerte für jedes Sensor-Plattenpaar (x,y,z).

Die vier Doppelmessungen für jedes Sensor-Plattenpaar wurden für jeden Sensor in drei verschiedenen Platten- bzw. Feldkonfigurationen durchgeführt:

## 1. Ohne Erdung der felderzeugenden Platten

Bei dieser Messung wurde keine Erdung einer der beiden felderzeugenden Platten vorgenommen.

## 2. Mit Erdung der unteren felderzeugenden Platte

Hier wurde die untere Platte am Schutzkontakt der Stromzuführung geerdet.

## 3. Mit Erdung der oberen felderzeugenden Platte

Hier wurde die obere Platte am Schutzkontakt der Stromzuführung geerdet.

## 5.3 Messergebnisse (potenzialfreie Messgeräte)

Im Folgenden sind die Messergebnisse für die drei Messgeräte PFE 10000 (1D), EFA-3 (3D) und 3D-EFM (3D) dargestellt. Die drei Diagramme zeigen:

1. die Messergebnisse, wenn die felderzeugenden Platten ungeerdet sind,
2. die Messergebnisse, wenn die untere felderzeugende Platte geerdet ist,
3. die Messergebnisse, wenn die obere felderzeugende Platte geerdet ist.

In den einzelnen Diagrammen sind an der horizontalen Achse die einzelnen Messhöhen<sup>13</sup> in [cm] aufgetragen und an der vertikalen Achse die Messwerte in [V/m].

Die mittlere Linie in den Diagrammen gilt für das eindimensionale Messgerät PFE 10000. Die Linien darüber sind die Messwerte für das EFA-3 und die Linien darunter für das 3D-EFM. Wegen des Kabelanschlusses konnte bei einem Sensorabstand von 1cm zur unteren Platte jeweils

---

<sup>13</sup> Messhöhe ist hier gleichzusetzen mit dem Abstand zur unteren felderzeugenden Platte.



## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

ein Messwert beim EFA-3 und beim 3D-EFM (ROM) nicht ermittelt werden. Hieraus resultieren die schrägen Linien zum Punkt (1cm / 0V/m) in den Diagrammen.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

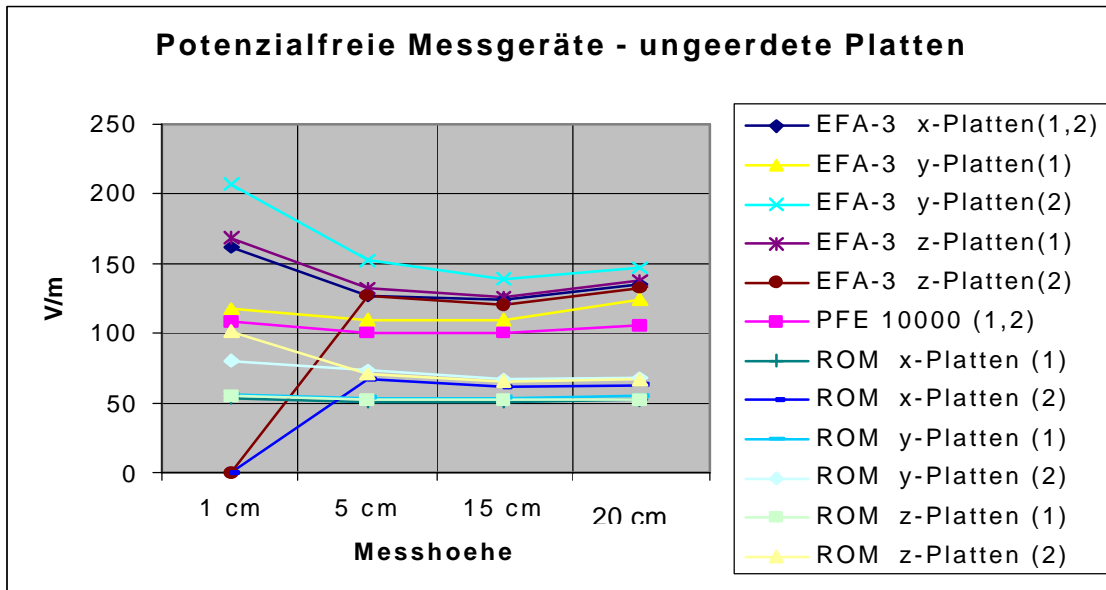


Abbildung 5.3-1 Messergebnisse bei ungeerdeten Platten

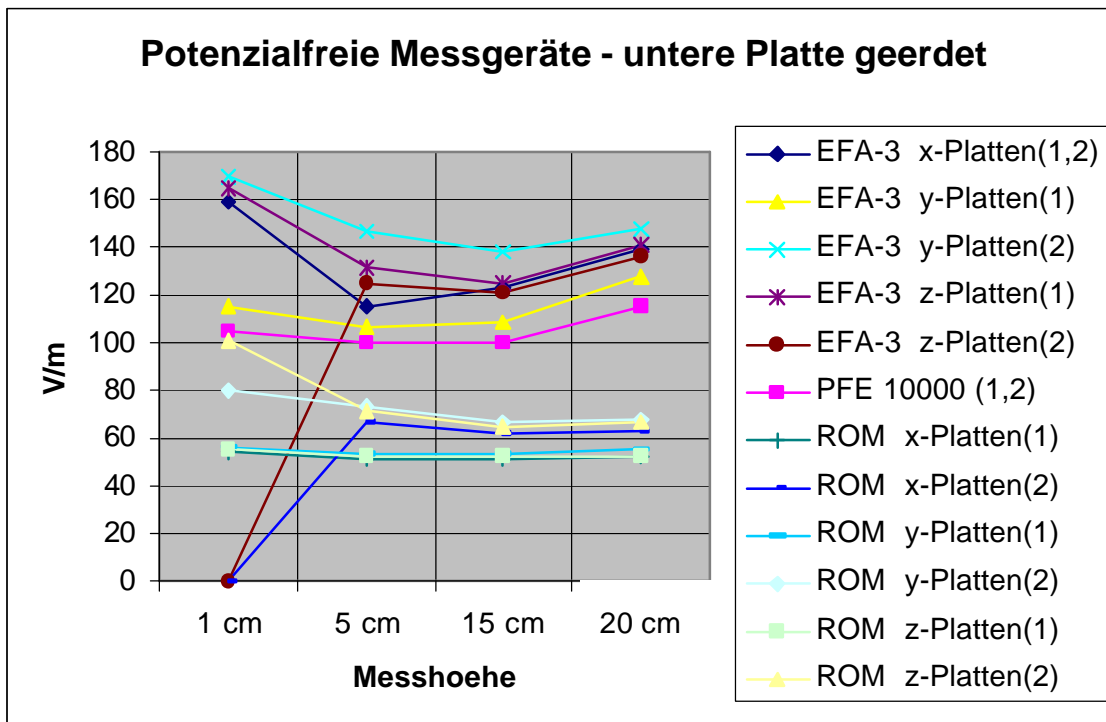
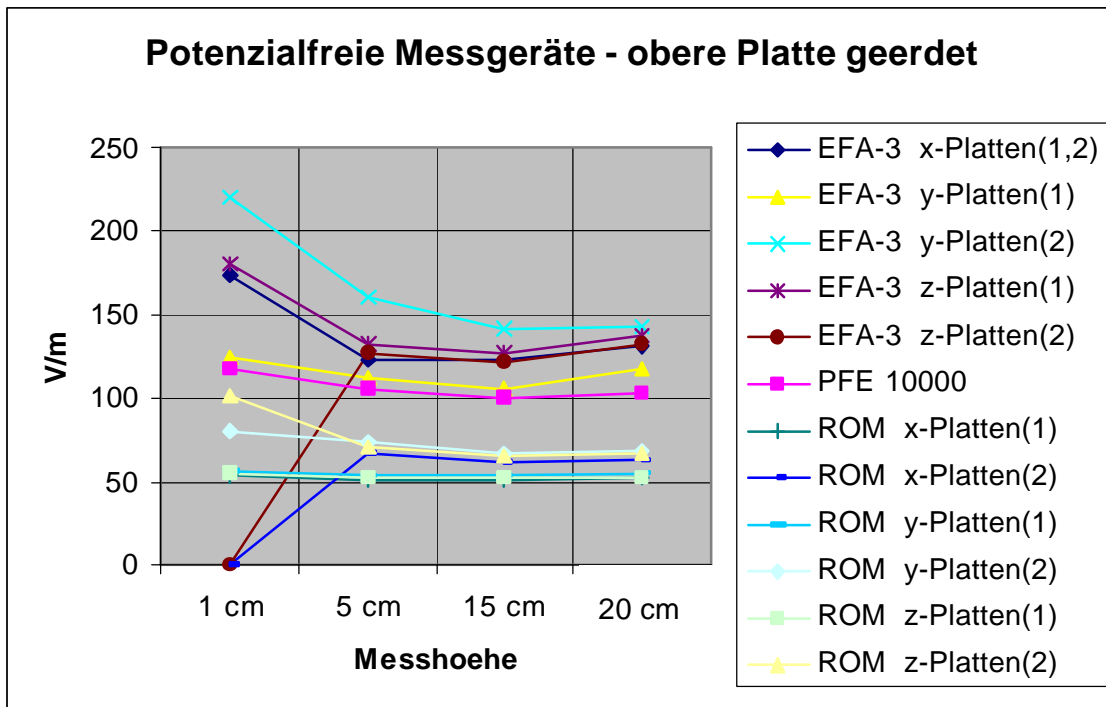


Abbildung 5.3-2 Messergebnisse bei geerdeter unterer Platte



**Abbildung 5.3-3** Messergebnisse bei geerdeter oberer Platte

## 5.4 Auswertung (potenzialfreie Messgeräte)

In den drei Grafiken befindet sich die Linie für das Referenzmessgerät PFE 10000 in der Mitte (bei 100 V/m).

Alle darüber befindlichen Kurven gehören zum EFA-3 von Wandel & Goltermann, alle darunter liegenden Kurven zum 3D-EFM von ROM-Elektronik.

### 5.4.1 Messung in unbekanntem Feldkonfigurationen

Vergleicht man die drei Grafiken miteinander, stellt man fest, dass sie sehr ähnlich sind. Für die „potenzialfreien“ Feldstärkemessgeräte ist es bedeutungslos, ob eine der felderzeugenden Plat-

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

ten geerdet ist oder nicht. Sie messen die elektrische Feldstärke, die bekanntlich unabhängig vom Absolutwert des Potentials ist<sup>14</sup>.

Alle drei Messgeräte sind somit grundsätzlich geeignet, in unbekanntem Feldkonfigurationen zu messen.

## 5.4.2 Messgenauigkeit

### 5.4.2.1 PFE 10000

Das PFE 10000 wurde als Referenzmessgerät gebaut und konzipiert. Wegen seiner flachen Bauweise kann es sehr einfach kalibriert werden und hat daher eine sehr hohe Messgenauigkeit. Der Messfehler liegt normalerweise unter 10%. Bei den im Rahmen dieser Studie vorgenommenen Messungen lag der Messfehler größtenteils unter 5%.

Das PFE 10000 kann nur eine E-Feldkomponente messen und ist deshalb für richtungsunabhängige (isotrope) Messungen nicht geeignet. Bei einer Messung muss immer erst festgestellt werden, wie die Feldrichtung ist. Dies kann die Handhabung erschweren und zu Messfehlern führen, wenn nicht sorgfältig gemessen wird.

### 5.4.2.2 EFA-3

Das getestete EFA-3 wird schon seit mehreren Jahren benutzt. Die Messwerte des EFA-3 waren etwas zu hoch. Je nach Orientierung im Feld wurde zwischen 10% und 30% zuviel angezeigt.

Bei einer Messung wurde der Würfel auf die Spitze gestellt, so dass - bezogen auf den Würfel - die elektrische Feldstärke aus drei Feldkomponenten bestand. Hierbei betrug die Abweichung der angezeigten Feldstärke vom Sollwert lediglich 9%. Das EFA-3 ist also weitgehend isotrop.

Auf Nachfrage teilte der Hersteller mit, dass die Sondenplatte an der Würfelseite, an der sich der Stativanschluss befindet (y-Platte), nicht aktiv ist. Der Hersteller geht davon aus, dass die Sonde i.d.R. auf einem Holzstativ montiert betrieben wird. Für diese Art des Messaufbaus liefert das

---

<sup>14</sup> Die elektrische Feldstärke ist mit der Potential-Differenz verknüpft. Je größer die Potentialdifferenz, desto größer die Feldstärke.

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Gerät mit inaktiver zweiter y-Platte die genaueren Ergebnisse. Die hier vorgenommenen Messungen erfolgten jedoch ohne Stativ.

### 5.4.2.3 3D-EFM

Das getestete 3D-EFM war ein nicht kalibrierter Prototyp. Die Grafiken zeigen, dass die Messwerte bei den verschiedenen Orientierungen im Feld sehr eng zusammenliegen (zwischen 50 und 60 V/m). Nach der Kalibrierung sollte der Messfehler daher deutlich unter 20%, vielleicht sogar unter 10% liegen. Die Messgenauigkeit dürfte in etwa ebenso gut wie beim EFA-3 (kalibriert) sein.

Bei einer Messung auf der Spitze lag der Messwert bei 55 V/m. Dies lässt auf eine gute Isotropie schließen.

### 5.4.3 Messung an der Oberfläche von leitfähigen Objekten

Wenn die Messgeräte im homogenen Feld in unterschiedlichen Höhen benutzt werden, sollte der Messwert immer gleich sein, da auch die Feldstärke im homogenen elektrischen Feld überall gleich ist.

In der Praxis kommt es jedoch zu einer Wechselwirkung des Sensors mit einer felderzeugenden Platte, wenn der Abstand des Sensors zur Platte sehr gering ist. Die Wechselwirkung führt zu einer überhöhten Feldstärkeanzeige<sup>15</sup>.

Eine Wechselwirkung und damit eine überhöhte Feldstärkeanzeige tritt immer auf, wenn direkt an der Oberfläche von leitfähigen Objekten gemessen wird.

---

<sup>15</sup> Siehe: [1], Kap. 4

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Betrachtet man die Messwerte im Abstand von 1cm zur unteren Platte in den drei Grafiken, lässt sich bestimmen, wie überhöht die Feldstärkeanzeige an der Oberfläche leitender Objekte in etwa ist:

EFA-3: +30% bis +40%

3D-EFM: +20% bis +30%

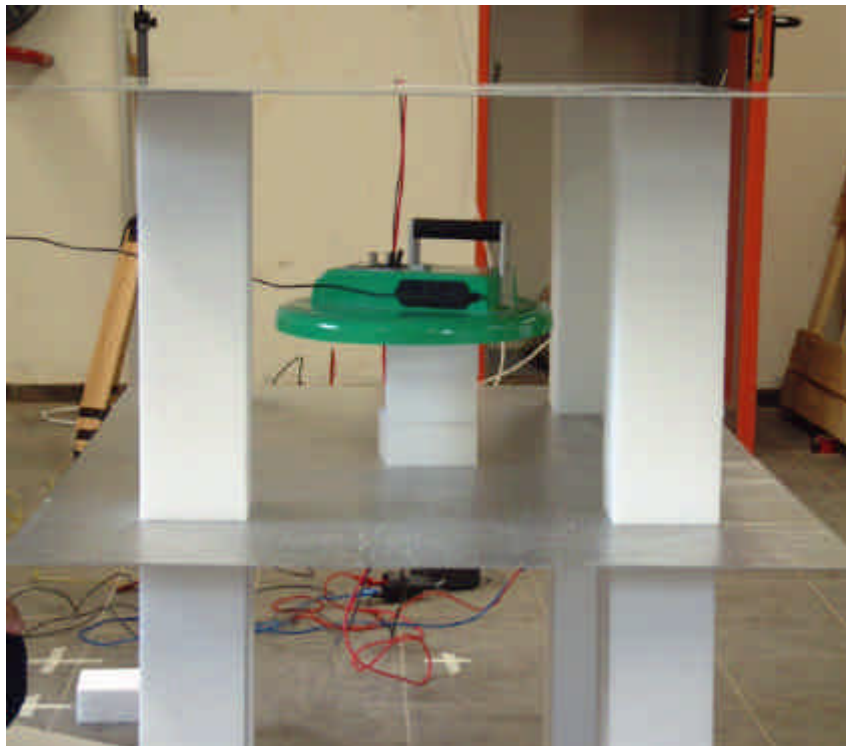
PFE 10000: +10%

Wegen seiner geringen Wechselwirkung mit leitenden Objekten und wegen seiner flachen Bauform ist das eindimensionale PFE 10000 sehr gut geeignet, die elektrische Feldstärke an der Oberfläche von elektrisch leitenden Objekten (auch Menschen) zu messen. Dabei wird die reale Feldverteilung an der Objekt Oberfläche vom Sensor nur sehr wenig verändert, was sehr präzise Messungen ermöglicht.

Die beiden anderen, dreidimensionalen Messgeräte verändern das elektrische Feld deutlich stärker, insbesondere an Objekt Oberflächen und sind daher besser dafür geeignet, unbekannte Feldverteilungen im freien Raum zu messen.

## 5.5 Testdurchführung (Messgeräte für TCO-Messungen)

Ebenso wie bei den potenzialfreien Messgeräten wurde in vier verschiedenen Abständen (1cm, 5cm, 15cm, 20cm) zur unteren felderzeugenden Platte gemessen. Die Abstände wurden dadurch hergestellt, dass die Messgeräte auf eine Styroporunterlage mit entsprechender Dicke gelegt wurden. Die Messfläche war dabei immer nach unten (zur unteren felderzeugenden Platte) orientiert.



**Abbildung 5.5-1** Testanordnung bei der Messung der TCO-Sonden

Bei jedem Abstand wurden zwei Messungen vorgenommen. Bei der ersten Messung war die Sonde vorschriftsmäßig geerdet, bei der zweiten Messung ungeerdet.

Bei der geerdeten Messung wurde das Erdungskabel horizontal, also senkrecht zu den Feldlinien verlegt (siehe Bild), um eventuelle Einkopplungen auf das Kabel gering zu halten.

## 5.6 Messergebnisse (Messgeräte für TCO-Messungen)

### 5.6.1 Felderzeugende Platten ungeerdet

Bei dieser Messung wurden die felderzeugenden Platten über einen Trenntrafo an die Spannungsversorgung angeschlossen. Dann wurde in verschiedenen Höhen die Feldstärke (100 V/m) gemessen, wobei die TCO-Messgeräte einmal vorschriftsmäßig geerdet waren und einmal nicht (ungeerdet). Die beiden folgenden Abbildungen zeigen das Ergebnis:

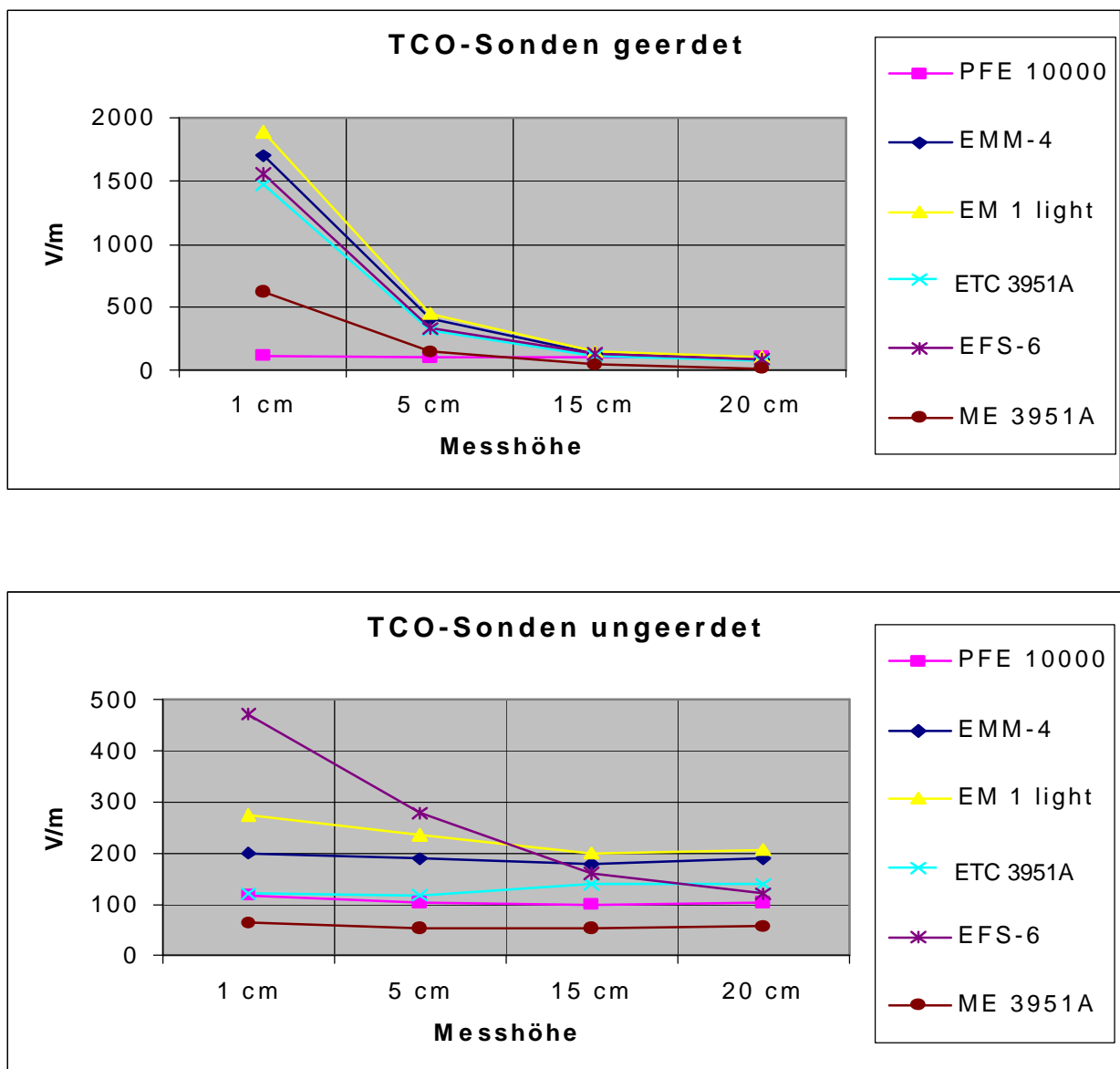


Abbildung 5.6-1 a/b

Messergebnisse bei ungeerdeten felderzeugenden Platten





## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Messwerte sehr stark vom Abstand zur Feldquelle abhängen, wenn die Messgeräte vorschriftsmäßig geerdet sind. Je nach Abstand ergeben sich teilweise drastische Fehlmessungen, die bis zum 16-fachen der Feldstärke des ungestörten Feldes (dieses sollte gemessen werden) reichen.

Bei ungeerdeten Messgeräten sind die Messfehler deutlich geringer und die Abstandsabhängigkeit lässt stark nach. Das ETC 3951 A zeigt hier sogar einigermaßen akzeptable Messwerte. Alle anderen Messgeräte, mit Ausnahme des ME 3951 A „modifiziert“, zeigen einen um cirka 100% oder mehr überhöhten Feldstärkewert an.

### 5.6.2 Untere felderzeugende Platte geerdet

Bei dieser Messung wurden die felderzeugenden Platten ebenfalls über einen Trenntrafo an die Spannungsversorgung angeschlossen. Diesmal wurde aber die untere Platte geerdet.

Dann wurde in verschiedenen Höhen die Feldstärke gemessen, wobei die TCO-Messgeräte einmal vorschriftsmäßig geerdet waren und einmal nicht (ungeerdet). Die beiden folgenden Abbildungen zeigen das Ergebnis:

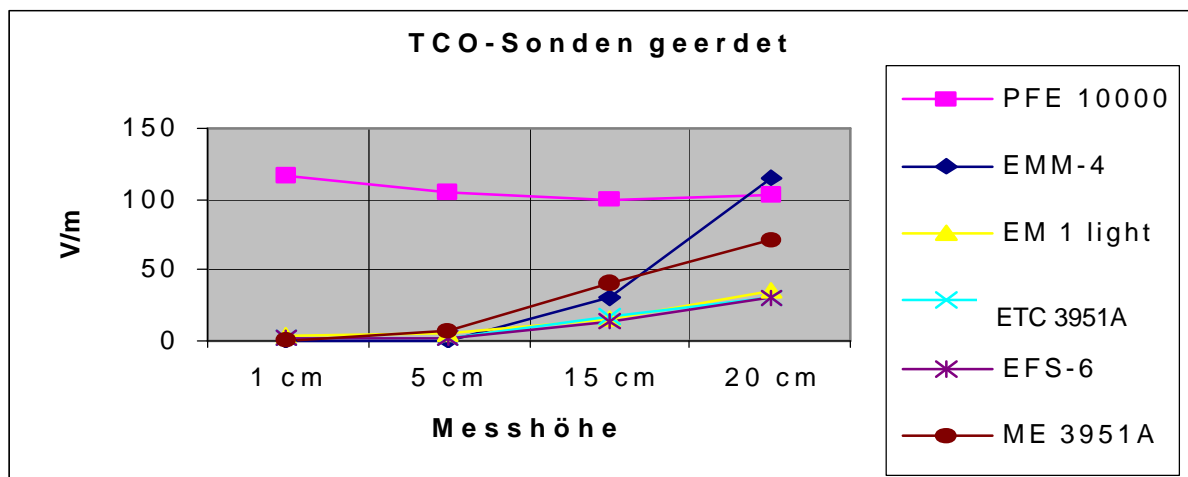
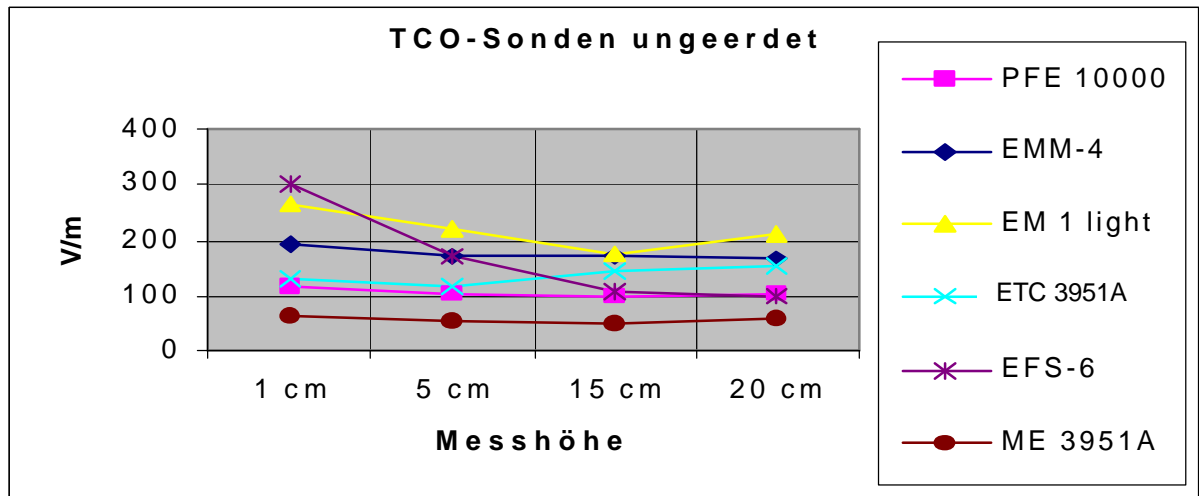


Abbildung 5.6-2 a Messergebnisse bei geerdeter unterer felderzeugender Platte

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich



**Abbildung 5.6-2 b** Messergebnisse bei geerdeter unterer felderzeugender Platte

Wenn die untere felderzeugende Platte geerdet wird und die geerdete TCO-Sonde bei der Messung so ausgerichtet wird, dass die Messplatte unten ist, ergeben sich sehr kleine Messwerte, die je nach Abstand sogar unter 10V/m liegen können (erstes Bild), obwohl die zu messende Feldstärke immer noch bei 100V/m liegt.

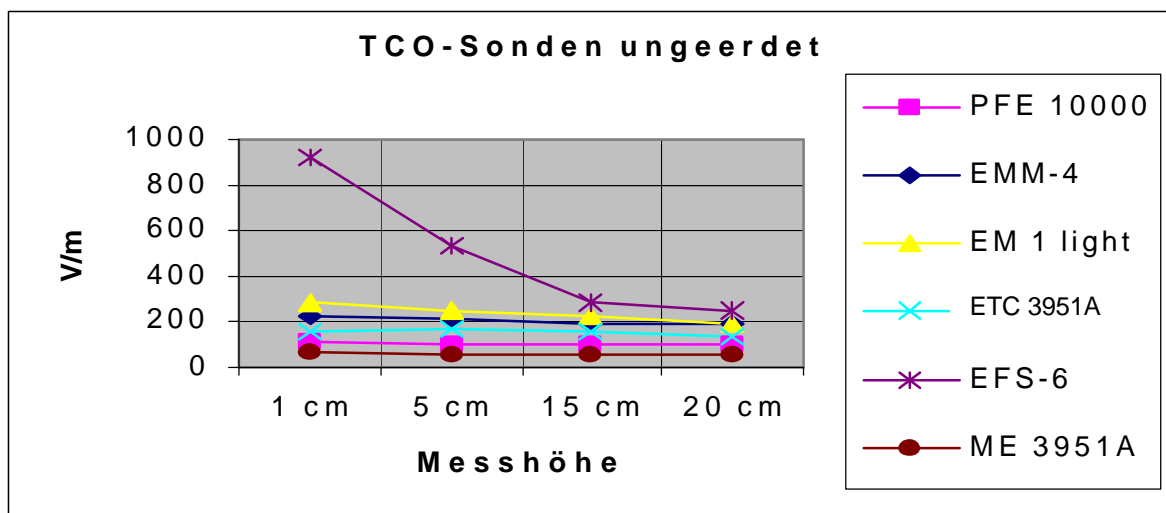
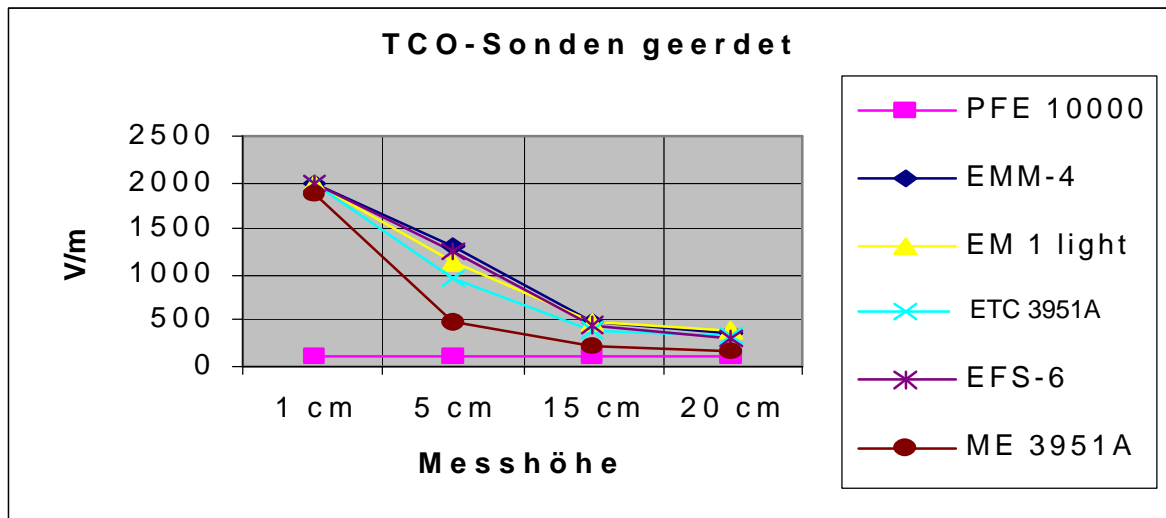
Die gleiche Messung mit ungeerdeter TCO-Sonde ergibt ein besseres Ergebnis, das bei vier Sonden teilweise deutlich (bis 200%) über dem korrekten Wert liegt.

Eine Sonde (ME 3951 A „modifiziert“) zeigt etwa die Hälfte des korrekten Wertes an.

### 5.6.3 Obere felderzeugende Platte geerdet

Bei dieser Messung wurde die obere felderzeugende Platte geerdet. Dann wurde in verschiedenen Höhen die Feldstärke gemessen, wobei die TCO-Messgeräte einmal vorschriftsmäßig geerdet waren und einmal nicht (ungeerdet). Die beiden folgenden Abbildungen zeigen das Ergebnis, wobei das Referenz-E-Feldstärkemessgerät PFE 10000 die korrekte Feldstärke anzeigt.

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich



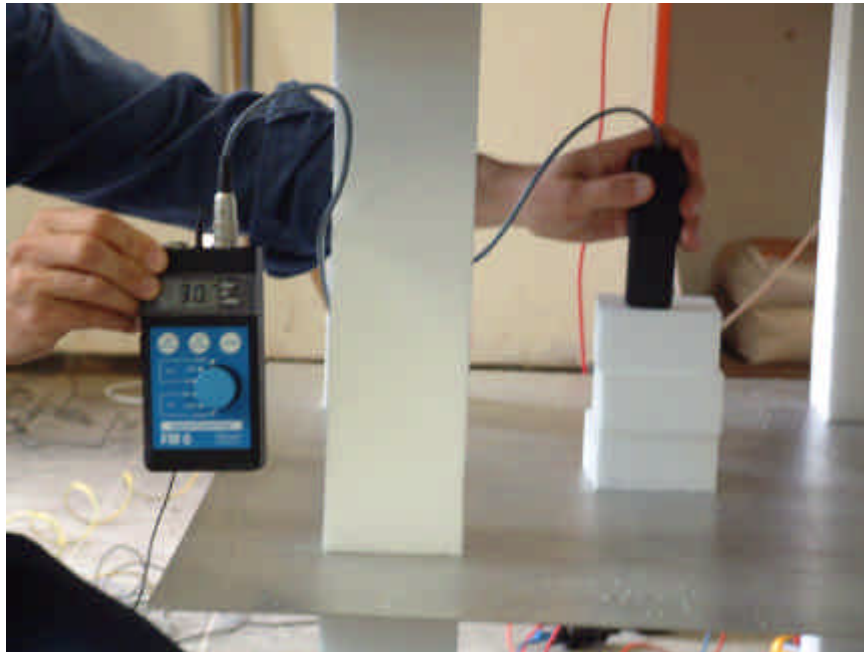
**Abbildung 5.6-3 a/b** Messergebnisse bei geerdeter oberer Platte

Bei geerdeter oberer felderzeugender Platte zeigen alle TCO-Messgeräte ein ähnliches Verhalten und ergeben in der Nähe der unteren Platte Messwerte, die fast um den Faktor 20 überhöht sind, wenn die Messgeräte geerdet sind.

Bei ungeerdeten TCO-Messgeräten ist das Ergebnis deutlich besser, der Messfehler ist aber immer noch relativ hoch.

## 5.7 Testdurchführung (Kleinsonden)

Die Kleinsonden werden üblicherweise bei der Messung in der Hand gehalten. Aus diesem Grund wurde auch hier so verfahren. Gemessen wurde in fünf verschiedenen Abständen zur unteren felderzeugenden Platte, nämlich 1cm, 5cm, 10cm, 15cm und 20cm.



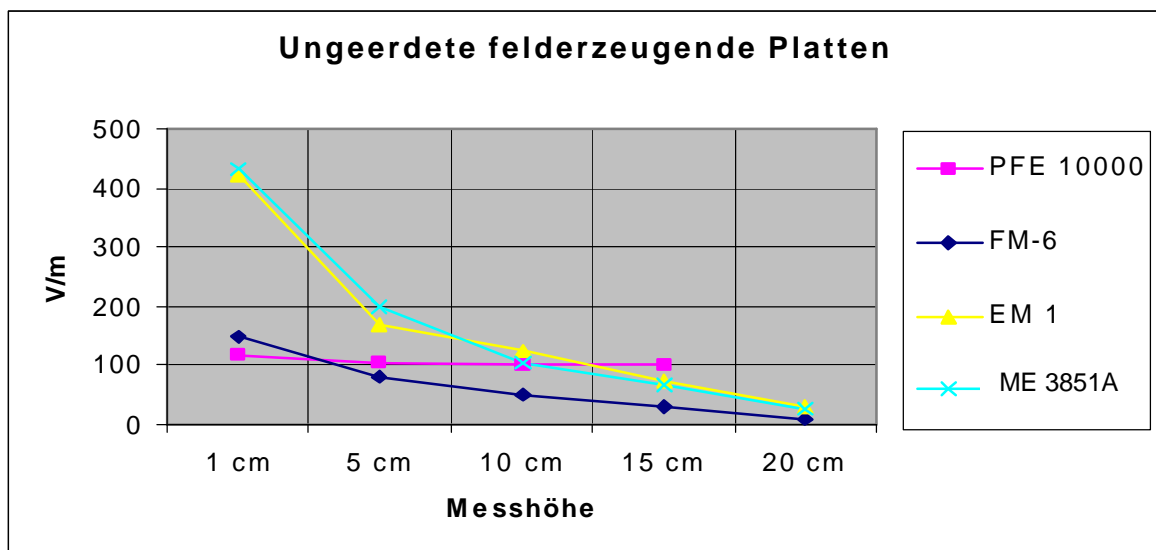
**Abbildung 5.7-1** Messung mit 15 cm Abstand zur unteren Platte (Fauser FM 6)

Wie bei allen anderen Messungen wurde auch hier bei einer Feldstärke von 100 V/m gemessen. Bei jeder Messung waren die Sonden vorschriftsmäßig geerdet.

## 5.8 Messergebnisse (Kleinsonden)

### 5.8.1 Felderzeugende Platten ungeerdet

Die folgende Graphik zeigt das Ergebnis der Messungen bei ungeerdeten felderzeugenden Platten.



**Abbildung 5.8-1** Messergebnisse bei ungeerdeten felderzeugenden Platten

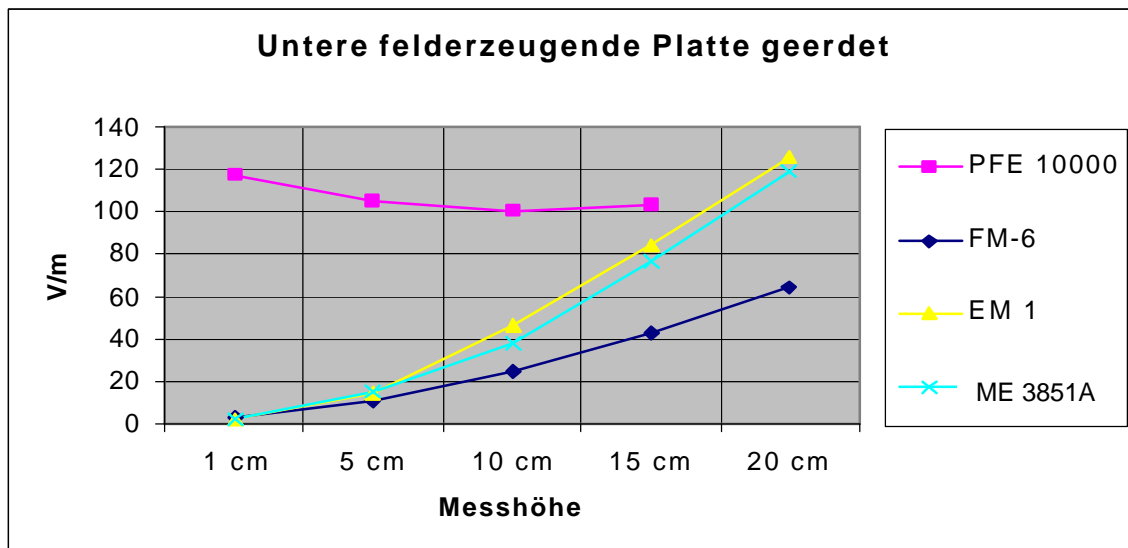
Das potenzialfreie E-Feldstärkemessgerät PFE 10000 zeigt unabhängig von der Höhe immer relativ genau den korrekten Feldstärkewert 100 V/m an.

Die getesteten drei Kleinsonden zeigen dagegen deutlich andere Messwerte, wobei sich die Verläufe ähneln. Bei allen Kleinsonden wird der größte Wert in der Nähe der unteren Platte angezeigt. Das EM1 und das ME 3851 A zeigen hier Werte, die cirka 4 mal so groß sind, wie die korrekten Werte. Mit steigendem Abstand zur unteren Platte sinkt der Anzeigewert und erreicht bei 20 cm Abstand Werte, die nur noch 30% oder weniger der realen Feldstärke betragen.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## 5.8.2 Untere felderzeugende Platte geerdet

Das homogene elektrische Feld mit einer Feldstärke von 100 V/m bleibt praktisch unverändert, wenn die untere felderzeugende Platte geerdet wird. Die Messung mit dem potenzialfreien Messgerät PFE 10000 zeigt dies deutlich.



**Abbildung 5.8-2** Messergebnisse bei geerdeter unterer felderzeugender Platte

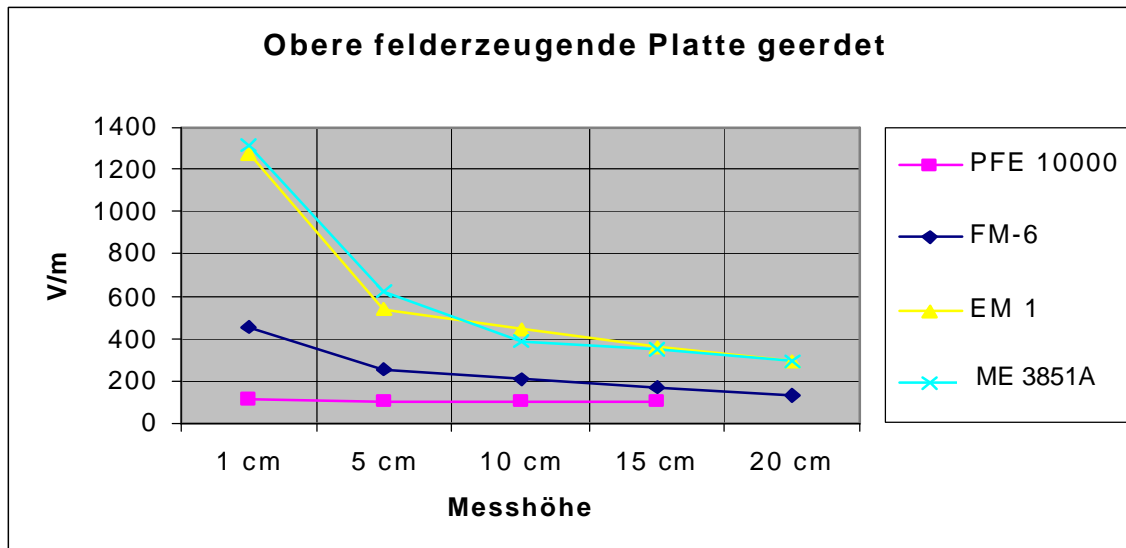
Trotz der unveränderten Feldverteilung und trotz identischer Handhabung ändert sich das Verhalten der Kleinsonden drastisch gegenüber dem Fall, dass beide felderzeugende Platten ungeerdet sind.

In der Nähe der unteren Platte werden Werte angezeigt, die bei nur etwa 10% der tatsächlichen Feldstärke liegen. Die Anzeigewerte steigen mit größer werdendem Abstand zur unteren Platte an und erreichen bei 20 cm Abstand Werte, die mit der tatsächlichen Feldstärke vergleichbar sind.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## 5.8.3 Obere felderzeugende Platte geerdet

Das Verhalten der Kleinsonden kehrt sich wiederum um, wenn bei gleicher Handhabung die obere felderzeugende Platte geerdet wird.



**Abbildung 5.8-3** Messergebnisse bei geerdeter oberer felderzeugender Platte

Nun werden sehr große Messwerte in der Nähe der unteren Platte angezeigt. Diese erreichen beim EM1 und beim ME 3851 A Werte, die mehr als 1200% über dem realen Feldstärkewert liegen. Auch in größeren Abständen zur unteren Platte werden immer noch stark überhöhte Messwerte angezeigt.

Das FM 6 zeigt prinzipiell das gleiche Verhalten wie die anderen beiden Sonden. Seine Messwerte liegen aber deutlich näher an der Realität.



## 5.9 Fazit der Untersuchungen im homogenen elektrischen Feld

Die potenzialfreien Messgeräte haben bei dieser Untersuchung unabhängig von der Feldkonfiguration (Erdung unterschiedlicher Platten) relativ genaue Messwerte geliefert. Ihre Messfehler betragen in Ausnahmefällen maximal einige 10%.

Die würfelförmigen potenzialfreien Messgeräte haben den Vorteil, dass sie alle drei Feldkomponenten messen und somit richtungsunabhängig die elektrische Ersatzfeldstärke bestimmen können. Die Richtungsunabhängigkeit schien bei den getesteten Geräten gut zu funktionieren. Wenn an der Oberfläche von leitenden Objekten (z.B. Lebewesen) mit den würfelförmigen Messgeräten gemessen wird, zeigt sich ein deutlich zu hoher Anzeigewert. Dieser Messfehler lässt sich aber durch einen geeigneten Korrekturfaktor relativ leicht kompensieren.

Die flachen potenzialfreien Messgeräte sind als Referenzmessgeräte konzipiert und messen deshalb sehr genau. Ihr Messfehler liegt normalerweise unter 10%. Allerdings muss bei der Messung die Feldrichtung beachtet werden, sonst kommt es zu Messfehlern. Die Feldstärke an der Oberfläche leitender Objekte kann mit den flachen Sensoren sehr genau gemessen werden. Der Messfehler ist hier wesentlich geringer als bei den würfelförmigen Sensoren und kann ebenfalls durch einen Korrekturfaktor kompensiert werden.

Die TCO-Messgeräte und die Kleinsonden lieferten abhängig von der Feldkonfiguration und dem Ort, an dem gemessen wurde, sehr unterschiedliche Messwerte, obwohl die Feldstärke bei jeder Feldkonfiguration an allen Messorten immer 100 V/m betrug.

Hierbei wurden in vielen Fällen weit überhöhte Feldstärkewerte angezeigt. Es gab aber auch einige Fälle, bei denen wesentlich zu geringe Werte angezeigt wurden.

Ein Einsatz solcher Messgeräte bei unbekanntem Feldverteilungen erscheint sehr problematisch.

## 6 Untersuchungen in realen Situationen (Bett/Mensch)

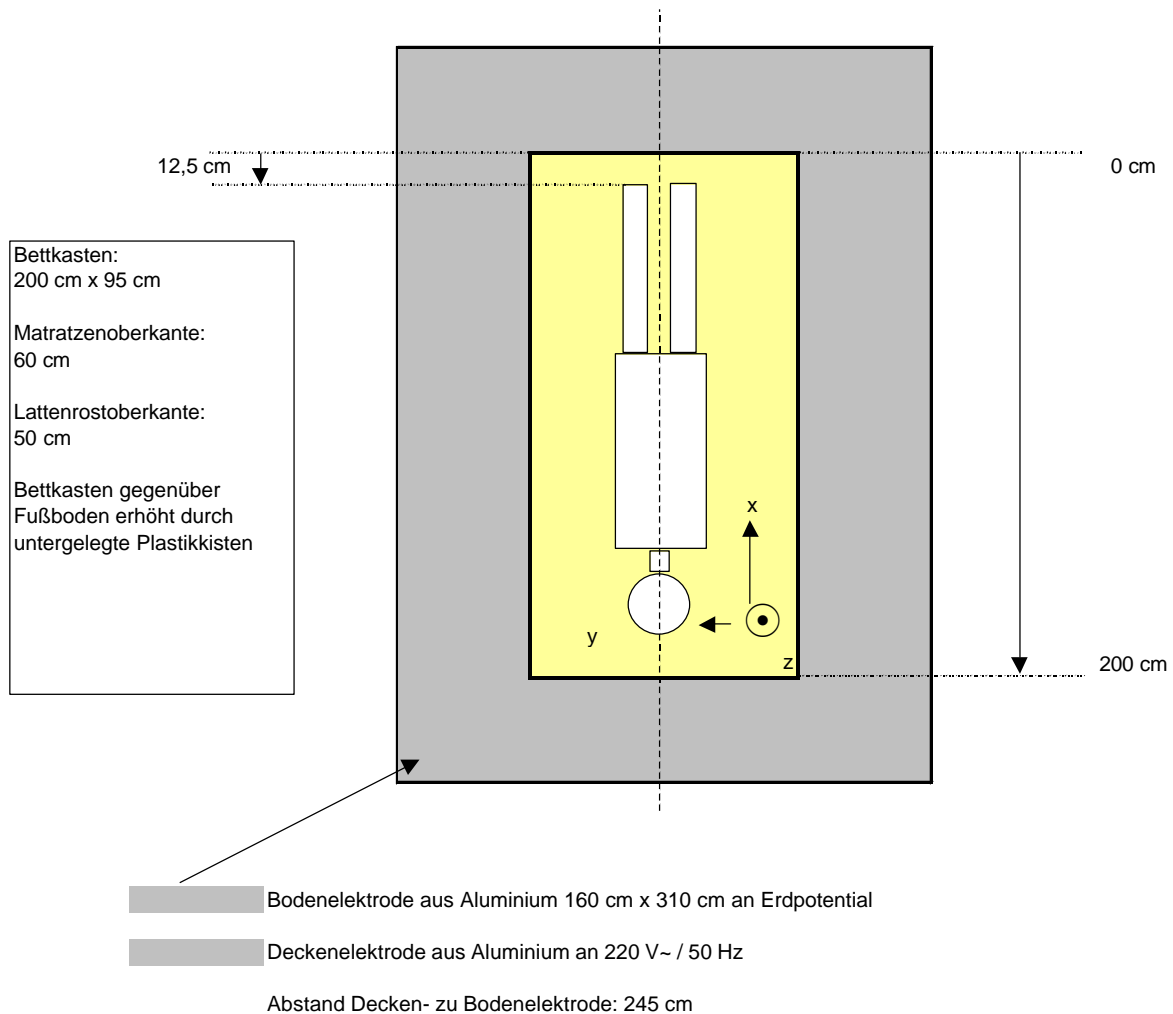
### 6.1 Versuchsanordnung 1

#### 6.1.1 Aufbau der Versuchsanordnung 1

In der Versuchsanordnung 1 (Abbildung 6.1-1) wurde an einem Schlafplatz-Labora Aufbau ein annähernd homogenes elektrisches Feld erzeugt. Verwendet wurde ein Holzbett mit Schaumstoffmatratze. Das Bett wurde durch Unterlegen von vier Kunststoffkisten angehoben, so dass sich die Matratzenoberkante in 60 cm Höhe befand. Das elektrische Feld wurde durch einen Plattenkondensator mit Elektroden aus Aluminiumfolie am Fußboden und an der Decke erzeugt (Elektrodenfläche 160 cm x 310 cm, Elektrodenabstand 245 cm). Die Spannung zwischen den Elektroden wurde über einen Trenntrafo und nachgeschalteten Regeltrafo auf 220 V eingestellt und mittels Digitalvoltmeter während der Versuchsdurchführung überwacht. Die Bodenelektrode wurde auf Erdpotential gelegt.

Alle Messungen erfolgten auf der Mittelachse der Matratze.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich



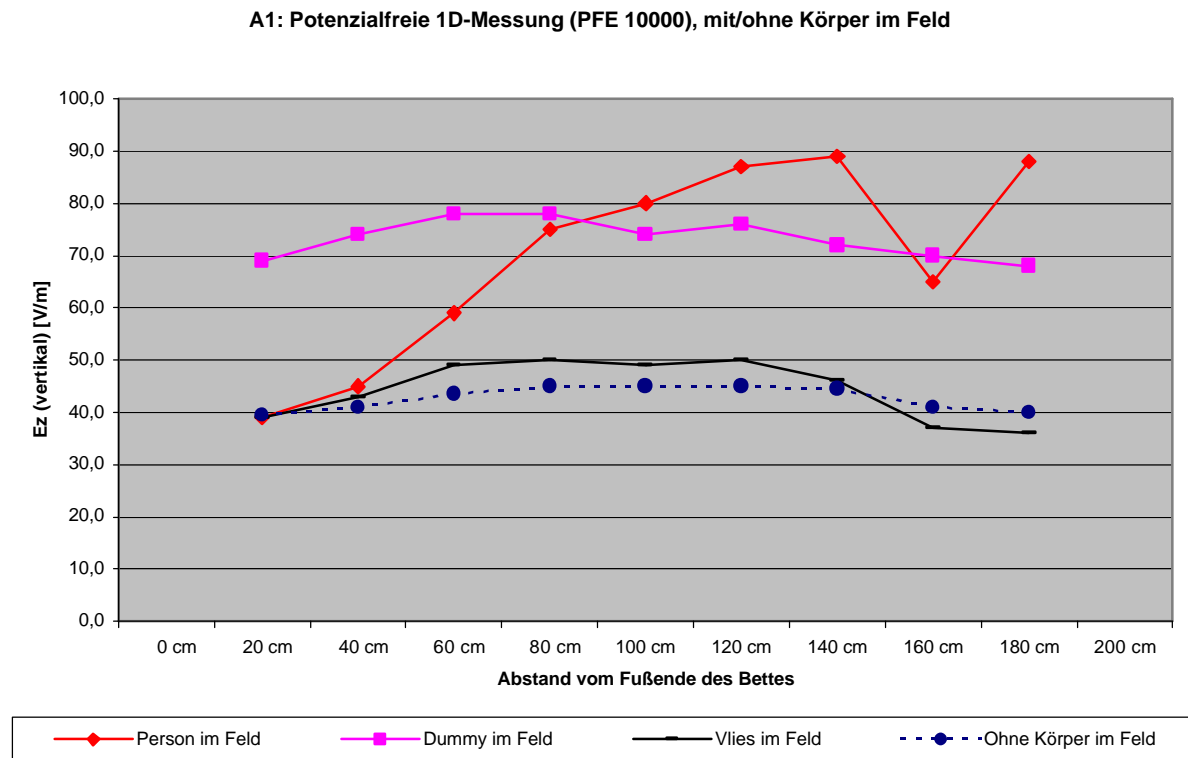
**Abbildung 6.1-1** Skizze der Versuchsanordnung 1

## 6.1.2 Feldverzerrung durch eingebrachte Körper

Zur Kontrolle der Feldhomogenität auf der Mittelachse der Matratze wurde zunächst eine potenzialfreie Messung mit der 1D-Referenzsonde PFE 10000 ohne Körper im Feld durchgeführt. Wie die entsprechende Kurve in Abbildung 6.1-2 zeigt, bewegt sich die elektrische Feldstärke zwischen 39,5 V/m im Bereich des Fußendes bzw. 40,0 V/m im Kopfbereich und 45,0 V/m in der

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

Bettmitte. Die Unterschiede zwischen Randbereichen und Mitte liegen damit bei maximal 12,5 %. Diese Abweichung ist als gering zu bezeichnen.



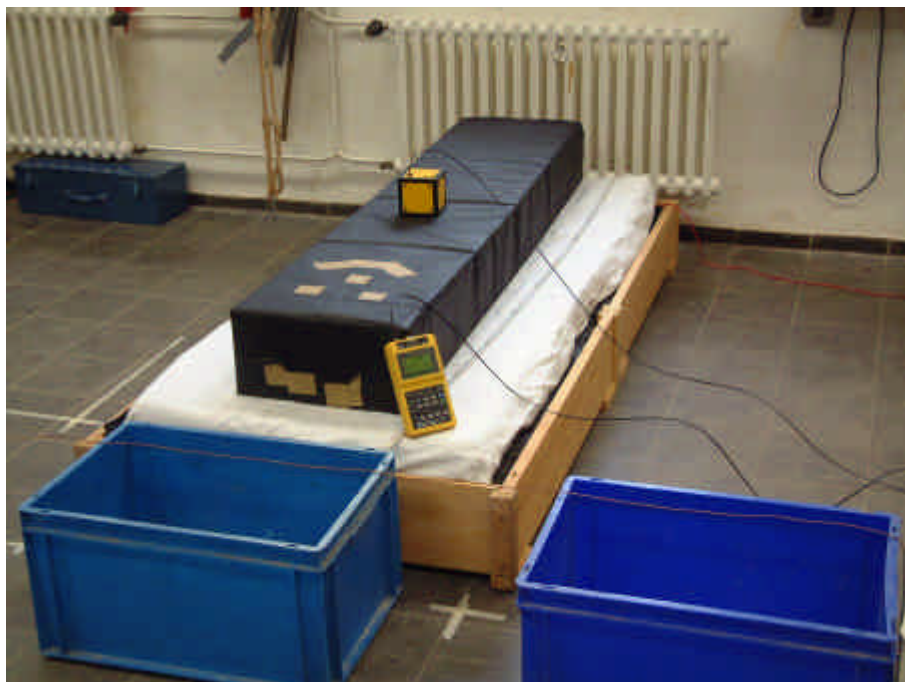
**Abbildung 6.1-2** Potenzialfreie 1D-Messung (PFE 10000), mit und ohne Körper im Feld

Wie stark und in welcher Form das homogene Feld durch eingebrachte elektrisch leitfähige Objekte verzerrt wird, wurde durch den Einsatz folgender Körper untersucht:

1. Menschliche Versuchsperson (Körpergröße ca. 175 cm)
2. Dummy (Schaumstoffquader, 180 cm x 40 cm x 20 cm (L x B x H), überzogen mit leitfähigem Vlies („NF-Abschirmvlies“), vgl. Abb. 6.1-3)
3. Leitfähiges Vlies („NF-Abschirmvlies“), vgl. Abb. 6.1-4)

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---



**Abbildung 6.1-3** Dummy, mit leitfähigem Vlies überzogen  
(repräsentatives Foto aus einem hier nicht diskutierten Versuchsaufbau)



**Abbildung 6.1-4** Leitfähiges Vlies („NF-Abschirmvlies“)  
(repräsentatives Foto aus einem hier nicht diskutierten Versuchsaufbau)

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Abbildung 6.1-2 zeigt die entsprechenden Ergebnisse. Die stärksten und räumlich differenzierten Feldverzerrungen werden durch den menschlichen Körper verursacht. Die Feldstärke steigt von den Füßen bis zum Brustbereich stetig bis auf den Faktor 2,3 an; sinkt im Halsbereich ab und steigt im Kopfbereich wieder an.

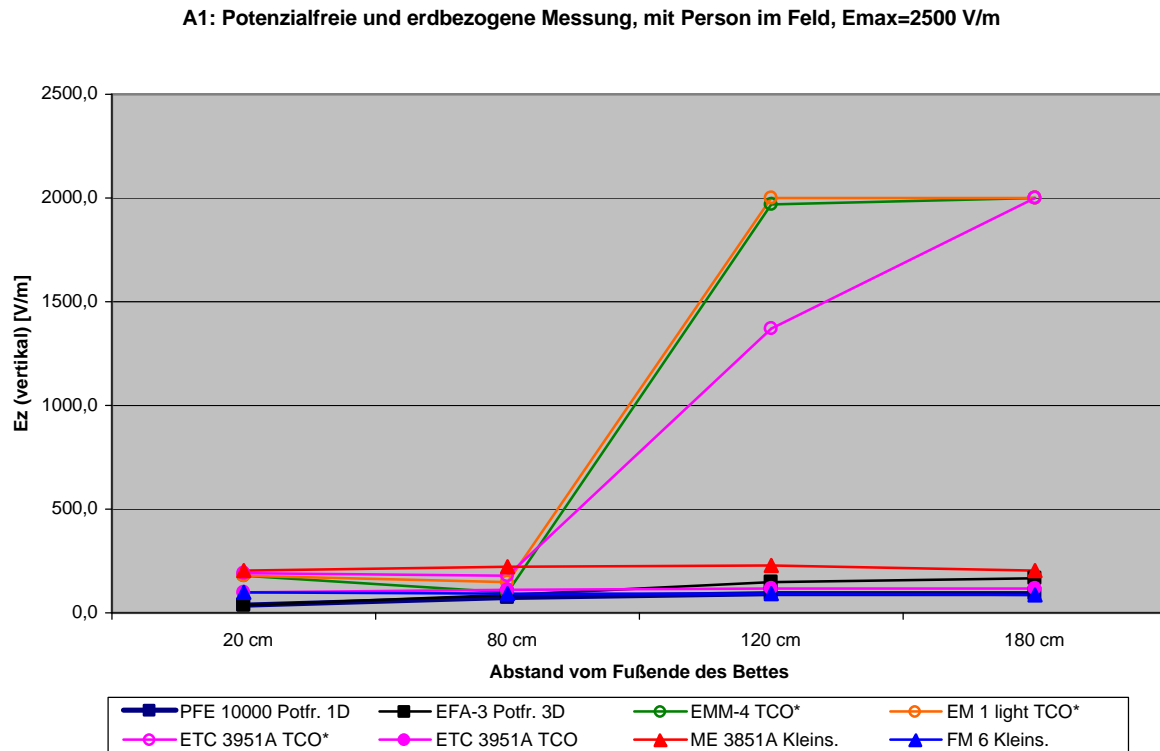
Der Dummy führt zu einer Anhebung der Feldstärke um den Faktor ca. 1,75 einheitlich über seine gesamte Länge. Diese Feldstärkeerhöhung entspricht recht gut der über die gesamte Körperlänge gemittelten Feldstärkeerhöhung durch die menschliche Person. Da es sich bei dem Dummy aber um einen einfachen geometrischen Körper handelt, weist er nicht die lokale Feldstärkedifferenzierung wie der menschliche Körper auf. Insbesondere die biologisch als bedeutsam zu betrachtenden Feldstärkeerhöhungen im Brust- und Kopfbereich kann er nicht nachbilden. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass ein so großer Schaumstoffquader für den mobilen Einsatz aus Transport- und Praktikabilitätsgründen kaum sinnvoll ist.

Das leitfähige Vlies führt nur zu einer unbedeutenden Feldstärkeerhöhung um ca. 10%, ebenfalls ohne nennenswerte lokale Ausdifferenzierung. Im Kopfbereich sinkt sie sogar unter dem Wert des homogenen, ungestörten Feldes. Als Ersatz für den menschlichen Körper bei E-Feldmessungen ist das Vlies daher nicht geeignet.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## 6.1.3 Messung am menschlichen Körper: Potenzialfrei und erdbezogen

Die folgende Untersuchung vergleicht potenzialfreie und erdbezogene Messgeräte bei Messungen direkt an der Körperoberfläche einer menschlichen Person (Abbildung 6.1-5 u. 6.1-6).

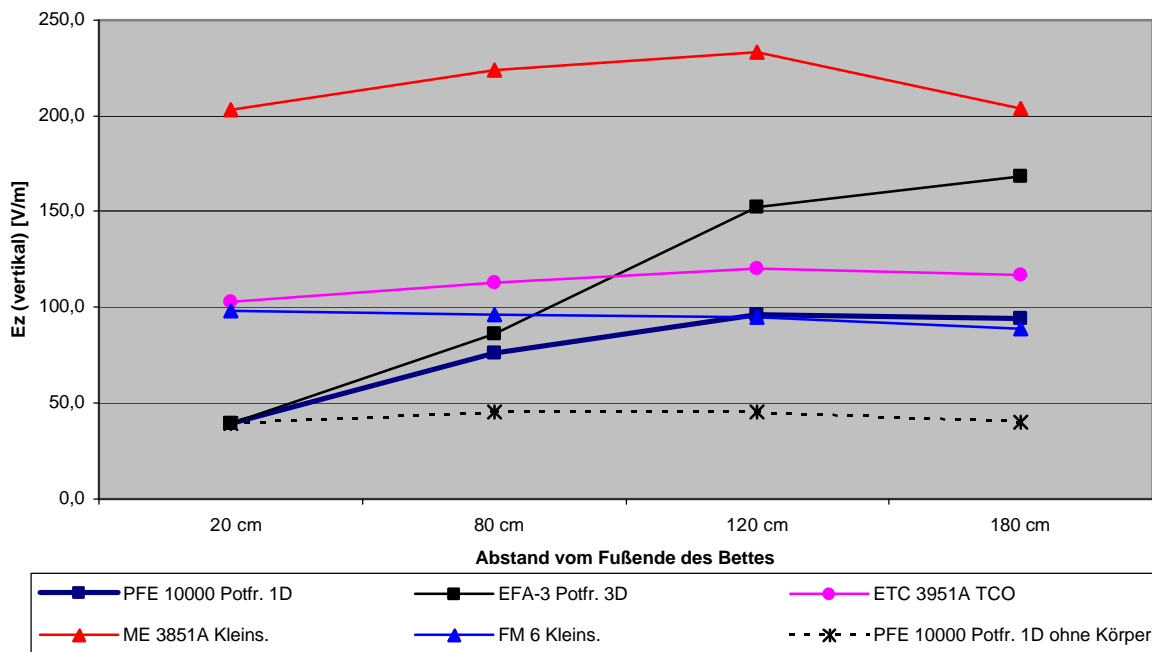


**Abbildung 6.1-5** Potenzialfreie u. erdbezogene Messung, mit menschlichem Körper im Feld

Die hohen Feldstärkewerte von bis zu 2.000 V/m im Rumpf- und Kopfbereich treten bei den TCO-Sonden (erdbezogen) auf, wenn die Sondenvorderseite zum menschlichen Körper gerichtet ist. Diese Anordnung ist für die Messpraxis ohne Bedeutung, da die Sondenvorderfläche bei diesem erdbezogenen Verfahren direkt am menschlichen Körper aufliegt; die entsprechenden Messungen sind in der Legende von Abbildung 19 mit „TCO\*“ bezeichnet. Bei den TCO-Sonden EMM-4 und EM 1 light ist aber nur in dieser Positionierung der Sonde das Display ablesbar. Die TCO-Sonde ETC 3951A kann mit einem Zusatzdisplay versehen werden, das die Ablesung der Messwerte auch erlaubt, wenn die Sondenvorderseite vom Körper weg weist (Messung ETC 3951A TCO).

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

A1: Potenzialfreie und erdbezogene Messung, mit Person im Feld,  $E_{max}=250$  V/m



**Abbildung 6.1-6** Potenzialfreie u. erdbezogene Messung, mit menschlichem Körper im Feld, ohne „TCO“, feinere Auflösung als Abbildung 6.1-5

Abbildung 6.1-6 zeigt die Messergebnisse ohne die „TCO“-Messungen und mit einer nun möglichen feineren Auflösung. Ein Vergleich der potenzialfreien Messungen zwischen der 1D-Sonde PFE 10000 und der 3D-Sonde EFA-3 zeigt den deutlichen Einfluss des Näherungseffektes bei der 3D-Sonde im Rumpf- und Kopfbereich. Das unterschiedliche Verhalten im Beinbereich wird weiter unten anhand von Abbildung 6.1-7 diskutiert. Die hier durchgeführte Messung bestätigt die aus den Untersuchungen der potenzialfreien Messgeräte im homogenen Feld (vgl. Kapitel 5) gewonnene Erkenntnis, dass bei Messungen mit dem 3D-Würfel direkt an der Körperoberfläche mit einem Korrekturfaktor zum Ausgleich des Näherungseffektes gearbeitet werden muss.

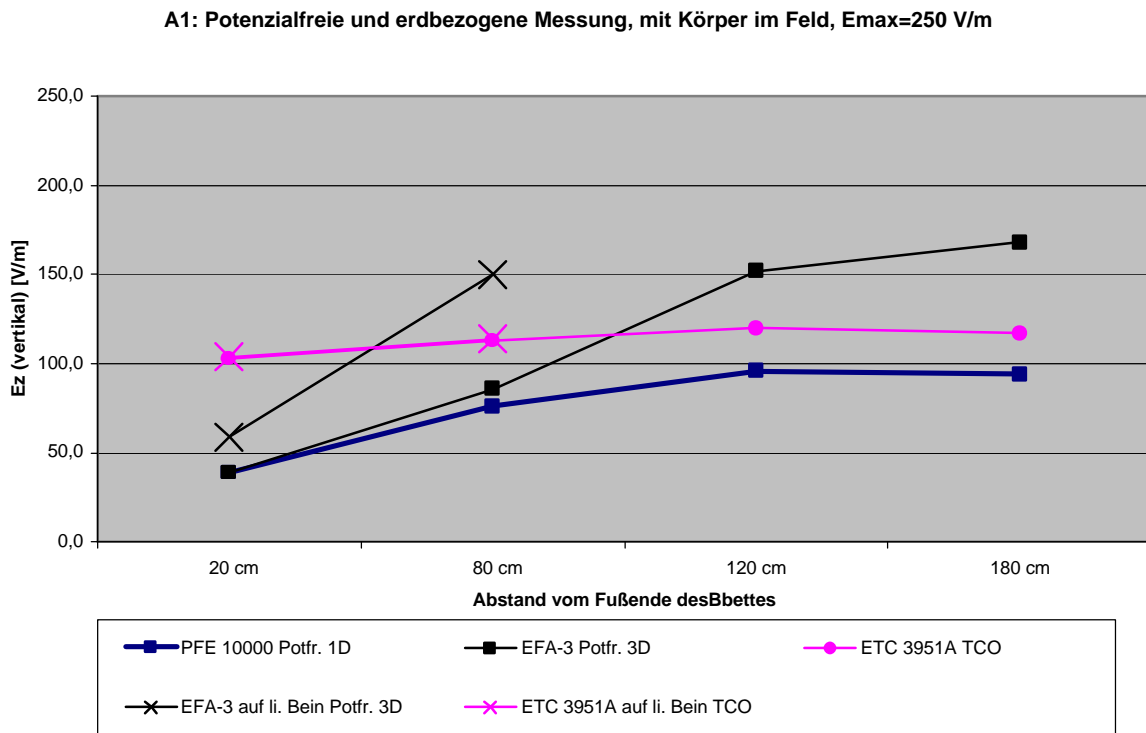
Ein Vergleich der Messergebnisse bei den erdbezogenen Messgeräten zeigt, dass es hier zu einer je Messgerät unterschiedlichen, aber über die gesamte Matratzenlänge im wesentlichen konstanten Anhebung der Feldstärke gegenüber dem ungestörten Fall (keine Person im Feld) kommt. Es findet keine signifikante, für die menschliche Person typische lokale Differenzierung der Feldstärke statt. Logisch nachvollziehbar ist aufgrund des geerdeten Abschirmrings und der großen Sondengeometrie bei der TCO-Sonde ETC 3951A die größere Feldstärkeanhebung ge-



# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

genüber der Kleinsonde FM-6; nicht ohne weiteres nachvollziehbar erscheint die drastische Feldstärkeerhöhung bei der Kleinsonde ME 3851A.

Abbildung 6.1-7 zeigt den Einfluss des Näherungseffektes bei potenzialfreien Sonden im Beinbereich.



**Abbildung 6.1-7** Einfluss des Näherungseffektes bei potenzialfreien Sonden im Beinbereich

Hier sind für die potenzialfreien Messgeräte PFE 10000 und EFA-3 sowie die erdbezogene TCO-Sonde ETC 3951A die gleichen Messkurven angegeben wie in Abbildung 20. Bei den Messungen im Beinbereich waren die Sonden jeweils zwischen den Beinen positioniert (d.h. über der Vertiefung zwischen den nebeneinander liegenden Beinen). Zusätzlich sind in Abbildung 6.1-7 für die Sonden EFA-3 und ETC 3951A bei den Abständen 20 cm und 80 cm die Messergebnisse aufgeführt, wenn die Messsonde auf dem linken Bein voll aufliegt. Bei der potenzialfreien 3D-Sonde EFA-3 ergibt sich bei dieser Positionierung eine deutliche Feldstärkeerhöhung. Diese kann durch den sich nun erst voll auswirkenden Näherungseffekt erklärt werden. Die erdbezogene TCO-Sonde reagiert dagegen erwartungsgemäß nicht auf die unterschiedlichen Positionen.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## 6.1.4 Messung am menschlichen Körper: Potenzialfrei, erd- und körperbezogen

A1: Potenzialfreie, erd- und körperbezogene Messung, mit Körper im Feld,  
 $E_{max}=250 \text{ V/m}$

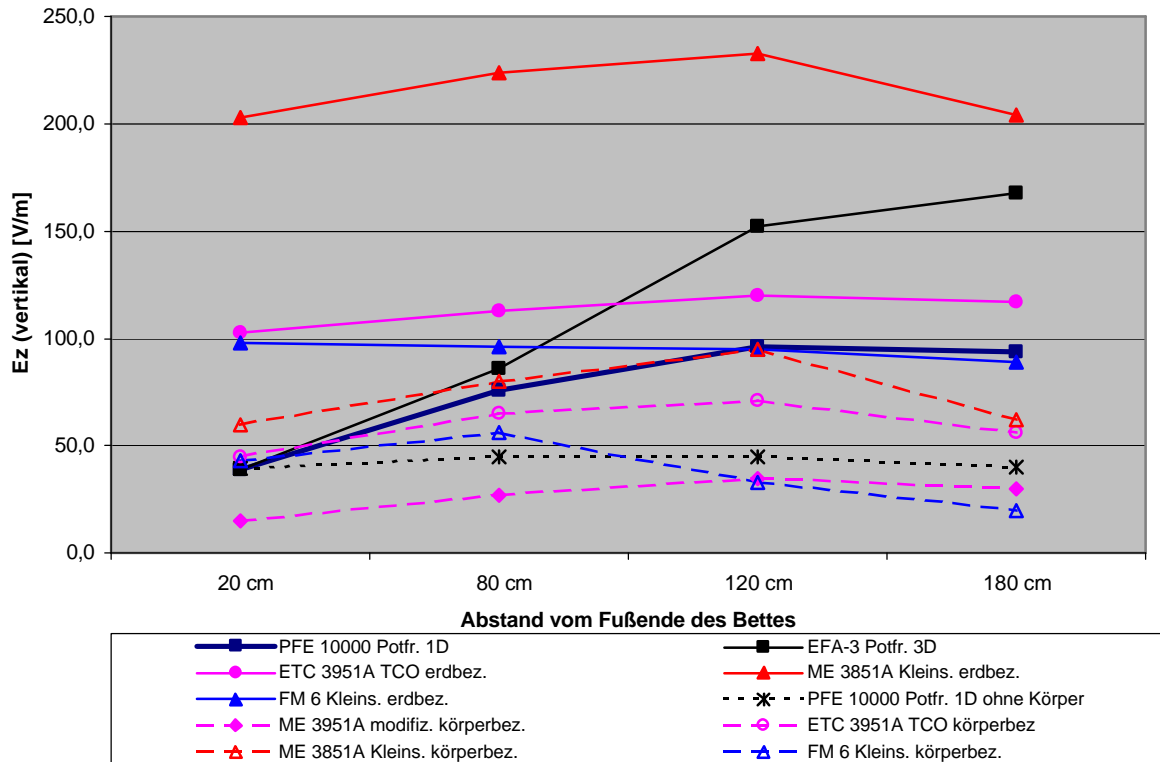


Abbildung 6.1-8 Potenzialfreie, erd- und körperbezogene Messungen im Vergleich

Zusätzlich zu den Messkurven gemäß Abbildung 6.1-6 sind hier die Ergebnisse bei körperbezogener Messung mit den für erdbezogene Messung entwickelten Sonden aufgeführt. Bei der körperbezogenen Messung wird die „Erd“-Messleitung nicht an das Erdpotential angeschlossen, sondern durch Hautkontakt auf das Potential des im Feld liegenden menschlichen Körpers gelegt. Zur ausführlicheren Beschreibung dieser Methode sei auf [3] verwiesen.

Alle drei erdbezogenen Messsonden zeigen bei körperbezogener Verwendung eine deutliche Reduzierung des Effektes zur Feldstärkeüberhöhung. Eine Tendenz zur stärkeren lokalen Differenzierung als bei der erdbezogenen Verwendung erscheint nicht ausgeschlossen. Nicht ohne weiteres erklärlich ist das deutliche Absinken der Feldstärke im Kopfbereich. Insgesamt erscheint das Verfahren der körperbezogenen Messung als interessant genug, um weiter detailliert und mit höherem Messaufwand untersucht zu werden.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Außerdem wurde hier noch das Messgerät ME 3951A „modifiziert“ für die körperbezogene Messung eingesetzt. Da es sich um ein unkalibriertes Exemplar handelte, liegen die Messwerte insgesamt deutlich zu niedrig. Der Trend der Messkurve ist aber ähnlich dem der Referenzsonde PFE 10000. Eine weitere Untersuchung mit dieser Sonde nach entsprechender Kalibrierung erscheint durchaus sinnvoll.

## 6.2 Versuchsanordnung 2

### 6.2.1 Aufbau der Versuchsanordnung 2

Versuch 2 wurde nicht in einer Laborumgebung durchgeführt, sondern in einem realen Schlafzimmer. Das Schlafzimmer befindet sich im zweiten Obergeschoss eines Reihenhauses. In der Etage darunter befinden sich Wohnräume mit der üblichen elektrotechnischen Ausstattung, in der Etage darüber der Dachboden mit elektrischen Leitungen für Licht und einige Steckdosen.

Das Bett (Holzbett mit Latexmatratze; Kopf- und Fußteil aus Holzrahmen und Peddigrohrgeflecht) steht mit dem Kopfende vor einer großflächig abgeschirmten und geerdeten Wand zur Nachbarwohnung. Hinter der gegenüberliegenden Wand befindet sich in Fußrichtung die Küche.

Im Gegensatz zu Versuchsaufbau 1 ist hier eine unbekannte Feldsituation vorhanden, die zudem ihrem Charakter nach wesentlich inhomogener sein dürfte.

Der Etagenhauptstromkreis des 1. OG wird nachts über einen Netzfreischalter abgekoppelt.

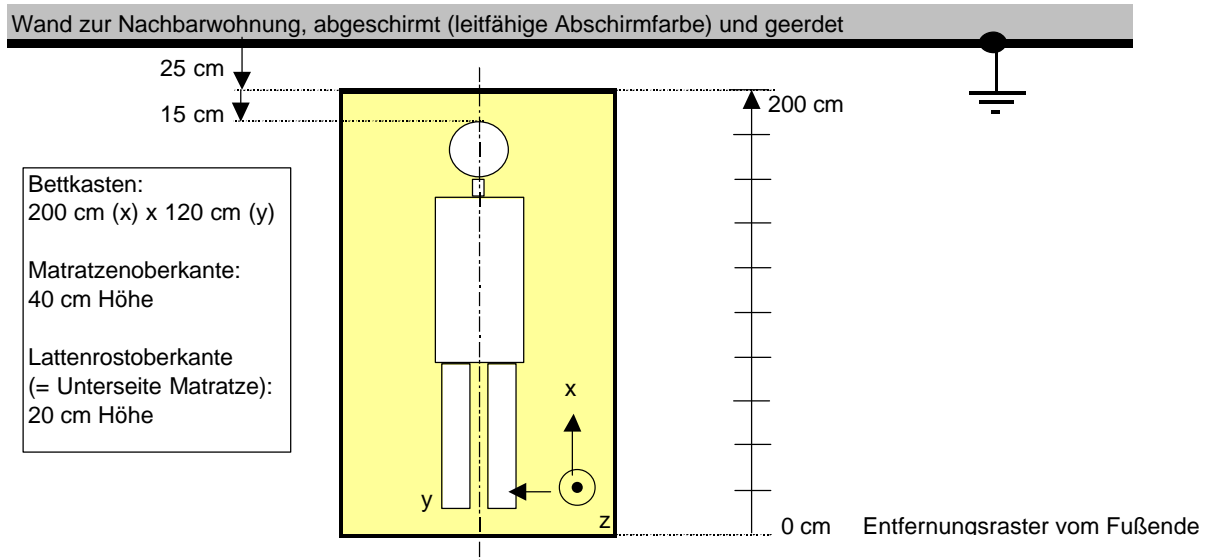
Richtung x: Horizontal vom Fuß- zum Kopfende des Bettes  
Richtung z: Vertikal vom Fußboden zur Decke  
Richtung y: Horizontal von der rechten zur linken Bettseite (vom Fußende aus gesehen)  
Richtung x -: Entgegengesetzt zu x  
Richtung y -: Entgegengesetzt zu y  
Richtung z -: Entgegengesetzt zu z

Das Fußende befindet sich in den Diagrammen bei Messpunkt 1, das Kopfende bei Punkt 11. Die Rasterschritte zwischen den Messpunkten betragen jeweils 20 cm.

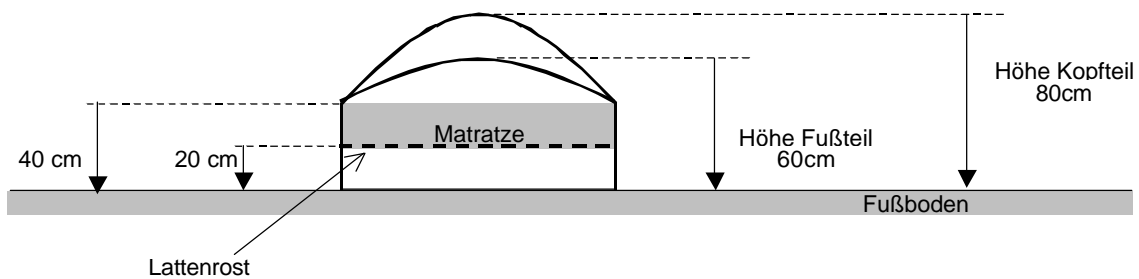
Alle Messungen erfolgten auf der Mittelachse der Matratze bzw. des Körpers.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## Draufsicht



## Frontsicht

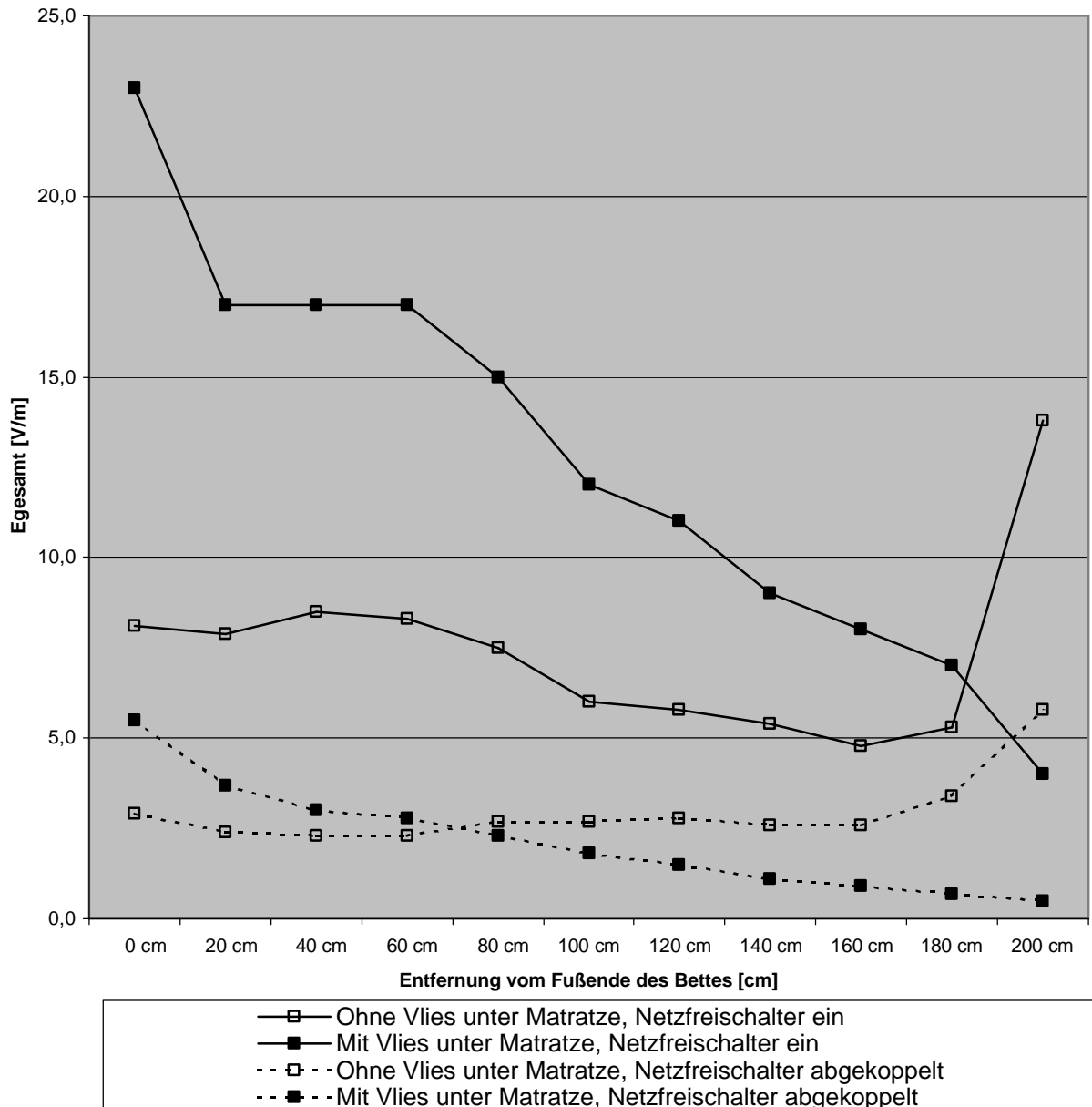


**Abbildung 6.2-1** Skizze der Versuchsanordnung 2

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## 6.2.1.1 Potenzialfreie Messung (3D) in verschiedenen Feldsituationen, ohne Person

Egesamt, potenzialfreie Messung 3D (EFA-3), ohne Person im Feld



**Abbildung 6.2-2** Egesamt bei unterschiedlichen Feldsituationen, ohne Person im Feld, gemessen mit EFA-3, potenzialfrei 3D

Zunächst wurde das elektrische Feld ohne die Verzerrungen durch eine im Bett liegende Person gemessen. Die Situation bei eingeschaltetem Netzfreischalter (ohne Vlies unter der Matratze) stellt den Grundzustand dar. Der Anstieg der Feldstärke Egesamt (Abb. 6.2-2) vor der abge-

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

schirmten Wand am Kopfende könnte vom aufragenden Kopfteil des Bettes beeinflusst sein. Bei abgekoppeltem Netzfreischalter sinkt die Feldstärke insgesamt deutlich ab, ein signifikanter Anstieg im Kopfbereich ist auch hier zu erkennen.

Wird ein geerdetes Abschirmvlies unter der Matratze eingebracht, so sind sehr differenzierte Auswirkungen auf das elektrische Feld zu verzeichnen. Bei eingeschaltetem Netzfreischalter steigt die Feldstärke gegenüber dem Grundzustand um so stärker an, je mehr man in Richtung Fußende misst. Nur im Kopfbereich verringert sich die Feldstärke gegenüber dem Grundzustand. Insgesamt führt diese Maßnahme nicht zu dem erhofften Erfolg einer globalen Feldreduzierung - im Gegenteil: In der hier vorliegenden Feldsituation ist sie kontraindiziert.

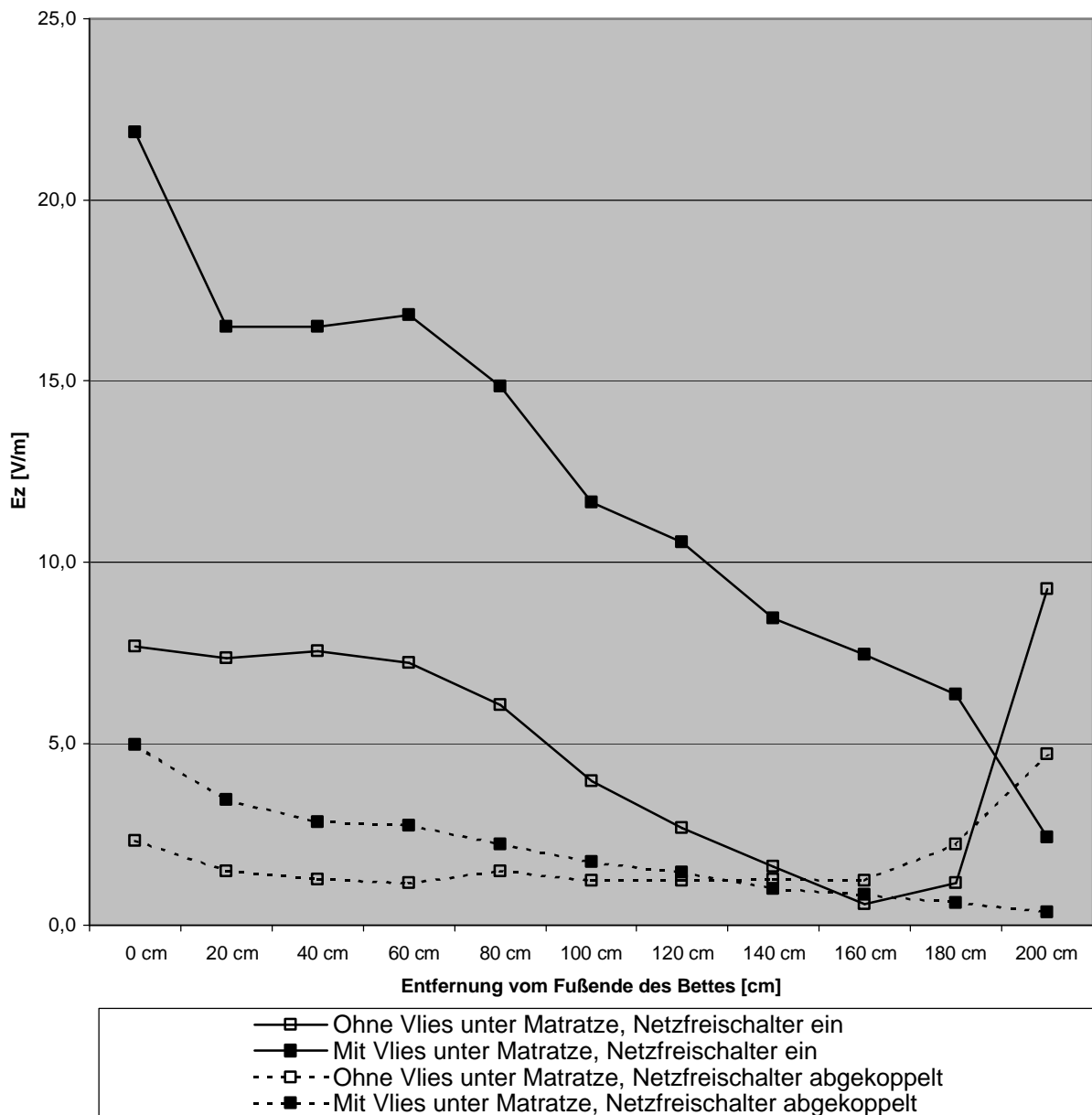
Bei abgekoppeltem Netzfreischalter ergibt sich ein prinzipiell ähnlicher Verlauf der Feldänderung. Als Resultat kommt es hier im Fuß- und Beinbereich zu einer Erhöhung gegenüber der Situation ohne Vlies, im Rumpf- und Kopfbereich dagegen zu einer Verringerung. Angezeigt wäre in diesem Fall als Sanierungsmaßnahme daher lediglich die Ausstattung der kopfseitigen Betthälfte mit dem geerdeten Abschirmvlies.

Das obige Beispiel zeigt, dass die potentialfreie 3D-Messung eine sehr differenzierte Untersuchung unbekannter Feldsituationen mit hoher räumlicher Auflösung ermöglicht. Änderungen der Feldsituation durch unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen (Netzfreischalter, Abschirmvlies) werden präzise wiedergegeben. Dies gilt insbesondere auch hinsichtlich der Vergleichsmessung bei Sanierungsmaßnahmen zur Reduzierung elektrischer Felder mit großflächigen, geerdeten Abschirmungen.

Die folgenden Diagramme (Abbildung 6.2-3 bis 6.2-5) zeigen die jeweiligen Feldverläufe in den vier besprochenen Situationen für die x-, y- und z-Komponenten der Felder im einzelnen. Deutlich dominierend ist die z-Komponente des Feldes; dem gegenüber ist die x-Komponente wesentlich schwächer ausgeprägt, die y-Komponente ist als schwächste fast vernachlässigbar.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

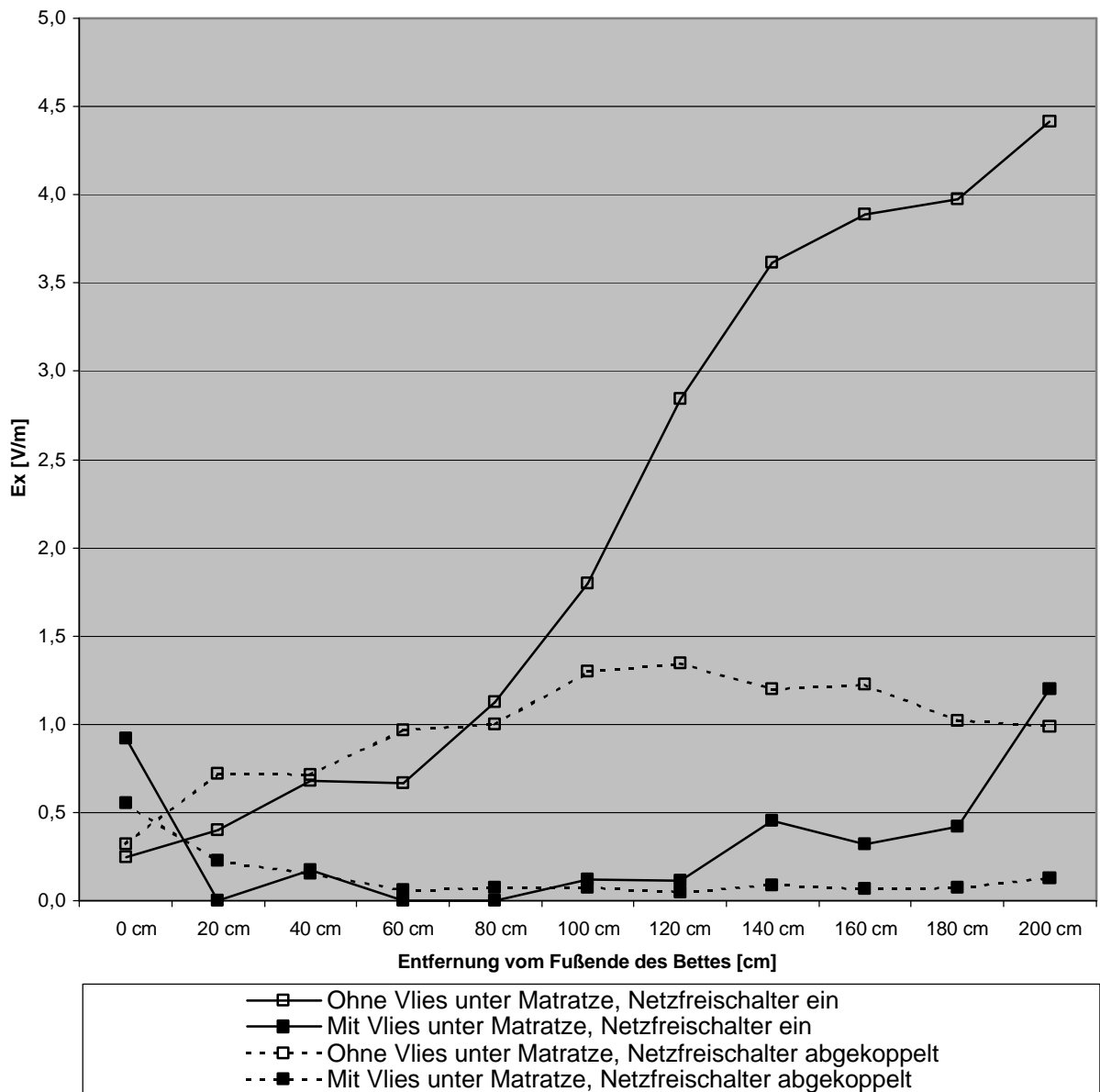
Ez, potenzialfreie Messung 3D (EFA-3), ohne Person im Feld



**Abbildung 6.2-3** Ez bei unterschiedlichen Feldsituationen, ohne Person im Feld, gemessen mit EFA-3, potenzialfrei 3D

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

Ex, potenzialfreie Messung 3D (EFA-3), ohne Person im Feld

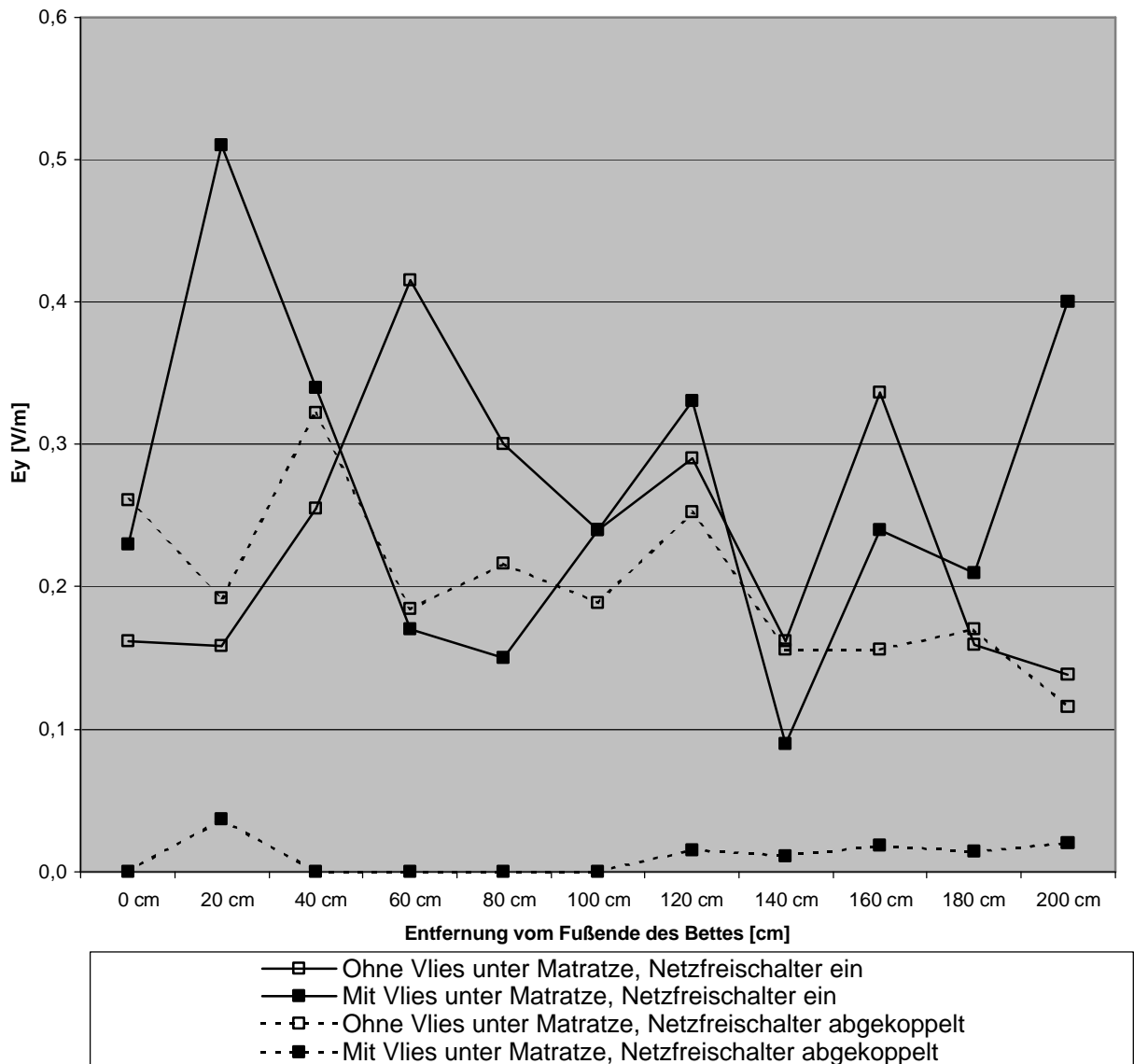


**Abbildung 6.2-4** Ex bei unterschiedlichen Feldsituationen, ohne Person im Feld, gemessen mit EFA-3, potenzialfrei 3D



# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

Ey, potenzialfreie Messung 3D (EFA-3), ohne Person im Feld



**Abbildung 6.2-5** Ey bei unterschiedlichen Feldsituationen, ohne Person im Feld, gemessen mit EFA-3, potenzialfrei 3D

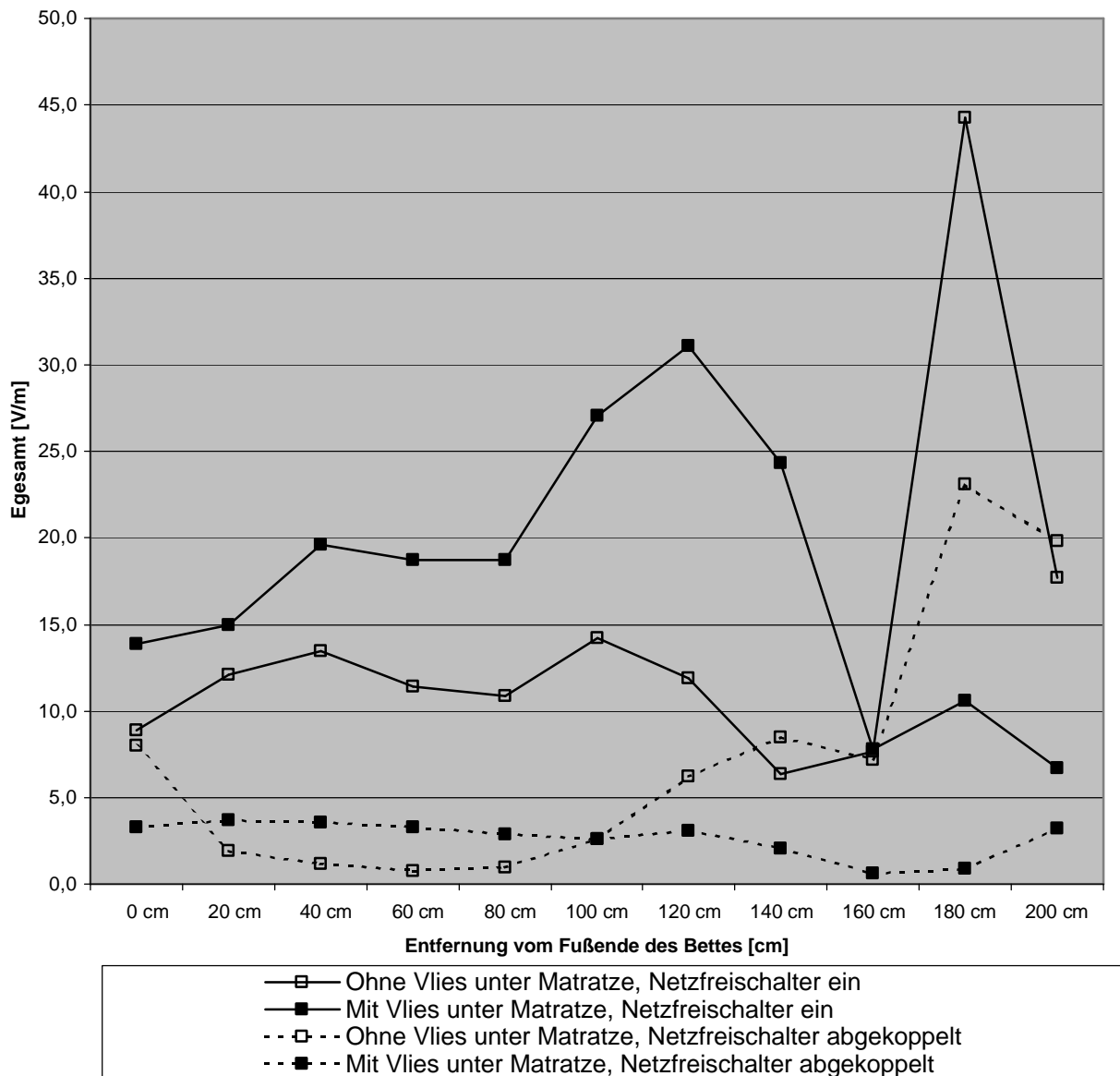
### 6.2.2 Potenzialfreie Messung (3D) in verschiedenen Feldsituationen, mit Person

Die im vorigen Kapitel beschriebenen Variationen der Feldsituation wurden auch bei einer im Bett liegenden Versuchsperson durchgeführt. Die Feldsonde (EFA-3) wurde an den Messpunkten 20 cm bis 180 cm direkt auf dem Körper der in Matratzenmitte liegenden Person platziert. Am Messpunkt 0 cm wurde die Sonde auf der Matratzenoberfläche vor den Füßen platziert und am Messpunkt 200 cm hinter dem Kopf der Versuchsperson. Da die Feldlinien senkrecht zum elektrisch leitfähigen Körper stehen, dominiert erwartungsgemäß bei den Messungen auf dem Körper die z-Komponente des Feldes (Abb. 6.2-7); an den Messpunkten 0 cm und 200 cm schlägt die dominierende Feldrichtung um in x-Richtung (Abb. 6.2-8).

Wenn sich die 3D-Feldsonde EFA-3 direkt an einer leitfähigen Oberfläche befindet, erfolgt eine Überbewertung derjenigen Feldrichtung, die senkrecht zu dieser Oberfläche steht (vgl. Kapitel 5.4.3). Daher müssen für eine Aussage über die absolute Höhe der Feldstärke die Komponenten in z-Richtung an den Messpunkten 20 cm bis 180 cm und die Komponenten in x-Richtung an den Messpunkten 0 cm und 200 cm um den Faktor  $1/1,3$  bis  $1/1,4$  korrigiert werden.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

Egesamt, potenzialfreie Messung 3D (EFA-3), mit Person im Feld



**Abbildung 6.2-6** Egesamt bei unterschiedlichen Feldsituationen, mit Person im Feld, gemessen mit EFA-3, potenzialfrei 3D

Im Vergleich zu den Messungen ohne Person im Feld ist festzustellen:

- Die Feldstärken der dominanten Richtungskomponenten erhöhen sich (auch nach Korrektur des Näherungseffektes).

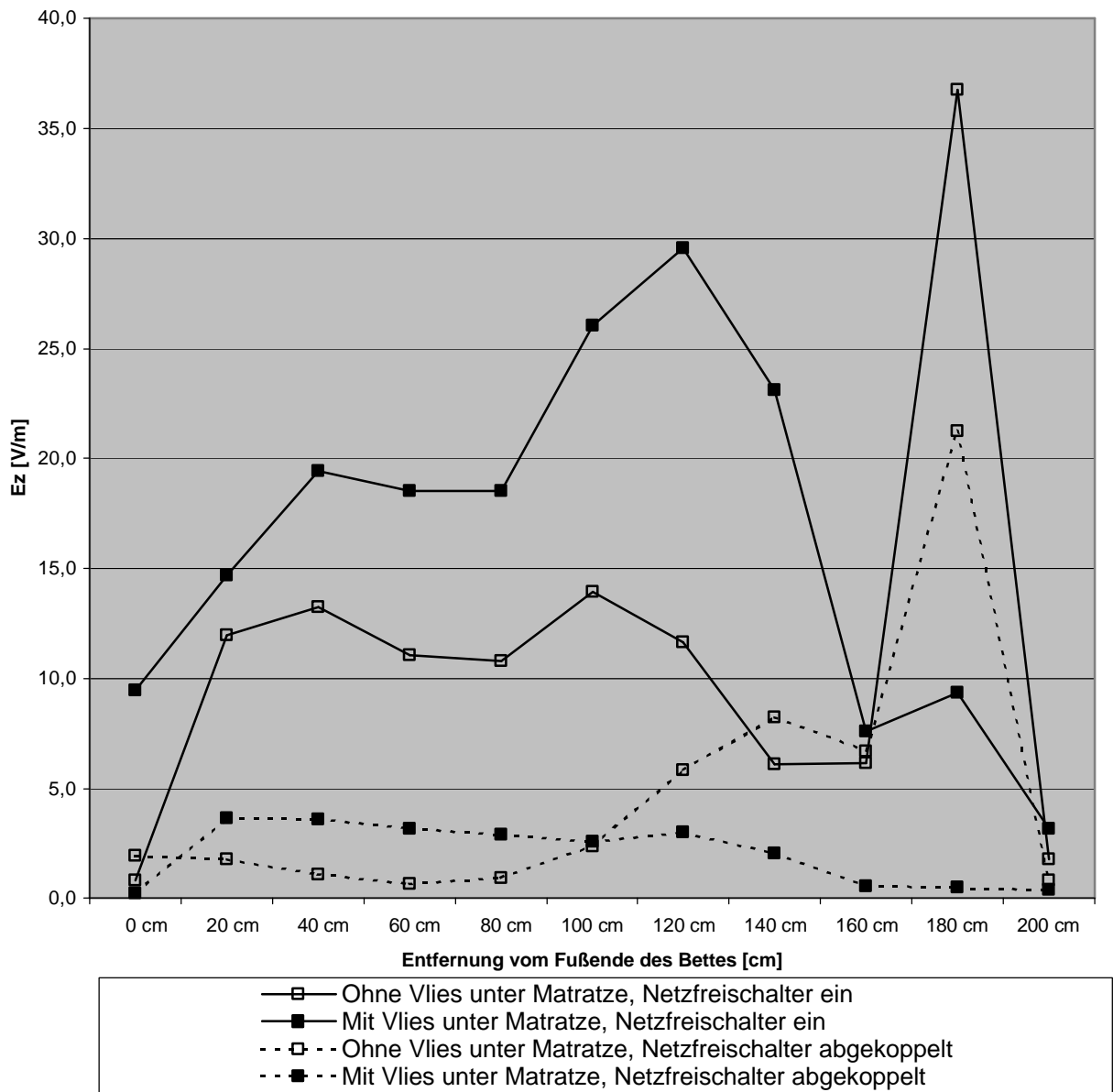
## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

- Es erfolgt eine stärkere lokale Differenzierung der Feldstärken durch den eingebrachten Körper, insbesondere im Brust- und Kopfbereich.
- Diese Effekte stimmen gut mit den Beobachtungen bei Versuchsanordnung 1 in Kapitel 6.1.2 überein.
- Die Änderungen des Feldes bei Variation der Feldsituation (Netzfreeschalter, geerdetes Vlies unter der Matratze) entsprechen von der Tendenz denjenigen ohne eingebrachten Körper. Es resultieren die gleichen Sanierungsempfehlungen.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

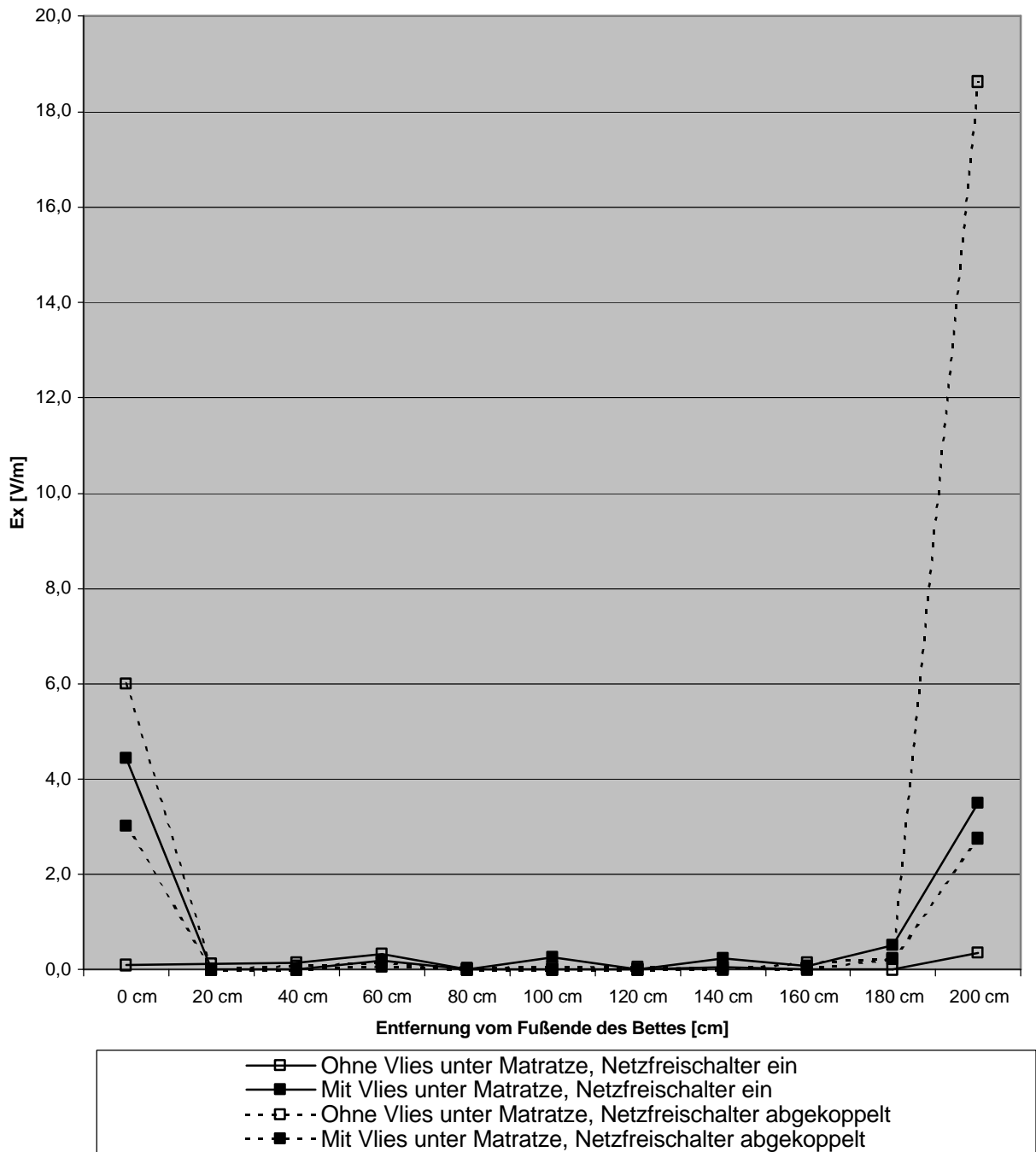
Ez, potenzialfreie Messung 3D (EFA-3), mit Person im Feld



**Abbildung 6.2-7** Ez bei unterschiedlichen Feldsituationen, mit Person im Feld, gemessen mit EFA-3, potenzialfrei 3D

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

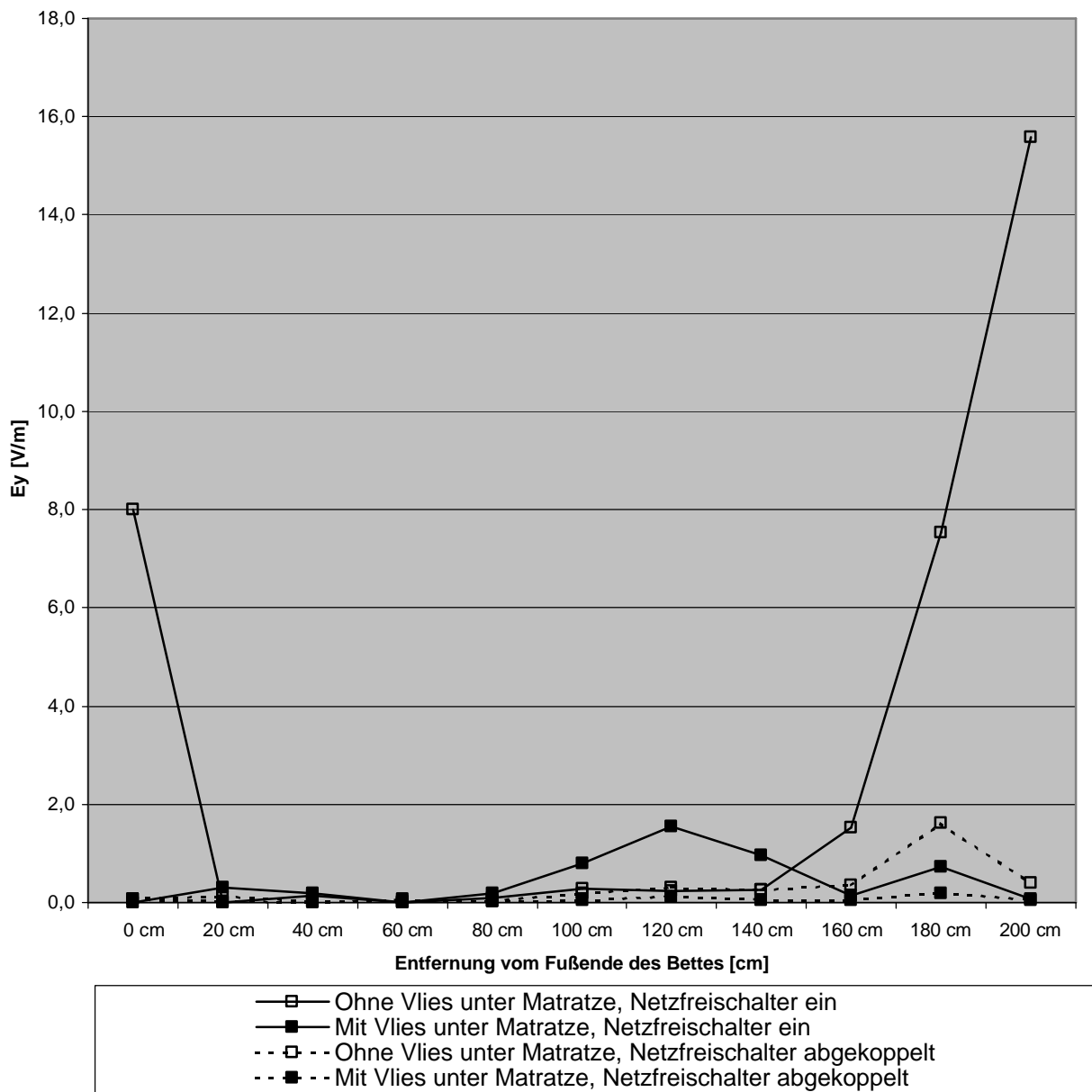
Ex, potenzialfreie Messung 3D (EFA-3), mit Person im Feld



**Abbildung 6.2-8** Ex bei unterschiedlichen Feldsituationen, mit Person im Feld, gemessen mit EFA-3, potenzialfrei 3D

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

Ey, potenzialfreie Messung 3D (EFA-3), mit Person im Feld



**Abbildung 6.2-9**  $E_y$  bei unterschiedlichen Feldsituationen, mit Person im Feld, gemessen mit EFA-3, potenzialfrei 3D

## 6.2.3 Erdbezogene Messung in verschiedenen Feldsituationen

Im folgenden werden die Ergebnisse der erdbezogenen Messung bei Variation der Feldsituation (Netzfreischalter, geerdetes Vlies unter der Matratze) dargestellt.

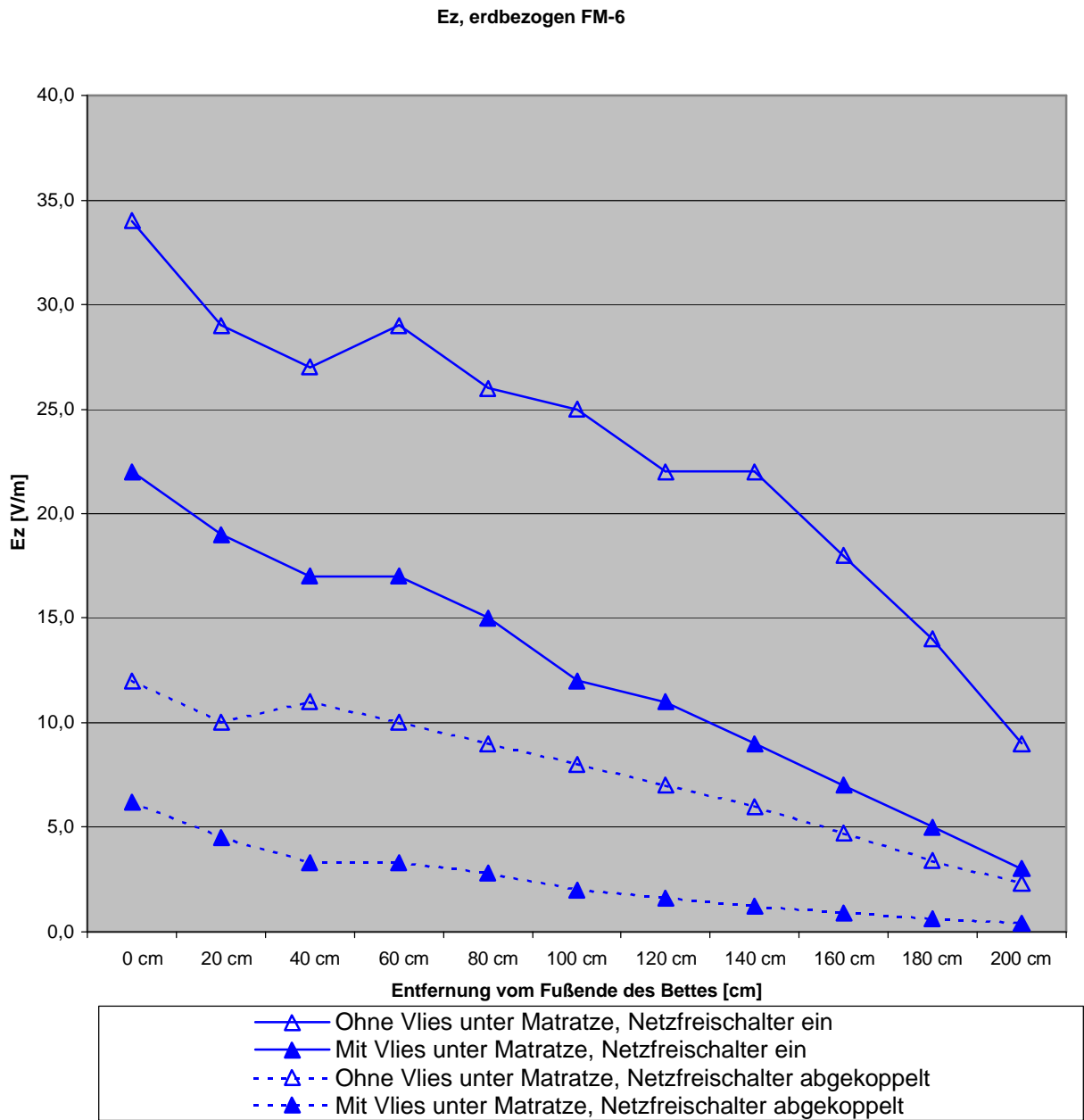
Allen Diagrammen ist der gleiche Trend des Kurvenverlaufs in Abhängigkeit vom Ort des Messpunktes gemeinsam: Die Feldstärke sinkt, je näher man der abgeschirmten und geerdeten Wand an der Kopfseite des Bettes kommt (Abb. 6.2-9 bis 6.2-12). Dies gilt für jeweils beide Messrichtungen der verwendeten 1D-Kleinsonde FM-6 (x/x- bzw. z/z-).

Wenn der Netzfreischalter abkoppelt, sinkt in allen Fällen auch die gemessene elektrische Feldstärke. Dieser Effekt stimmt von der Tendenz her mit der potentialfreien Messung überein.

Wird unter der Matratze ein geerdetes Vlies eingebracht, so zeigen alle erdbezogenen Messungen eine signifikante Verringerung der Feldstärke. Dies steht im Widerspruch zu den potentialfreien Messungen - sowohl mit als auch ohne Körper im Feld -, die eine klare Tendenz zur Feldstärkeerhöhung zeigen. Wird mit großflächigen, geerdeten Abschirmungen operiert, so erweist sich die erdbezogene Messung als unzuverlässig und kann zu falschen Aussagen über die Feldsituation und den Sanierungserfolg führen. Erdbezogene Vergleichsmessungen vor/ nach dem Einbringen großflächiger, geerdeter Abschirmungen sind daher unzulässig.

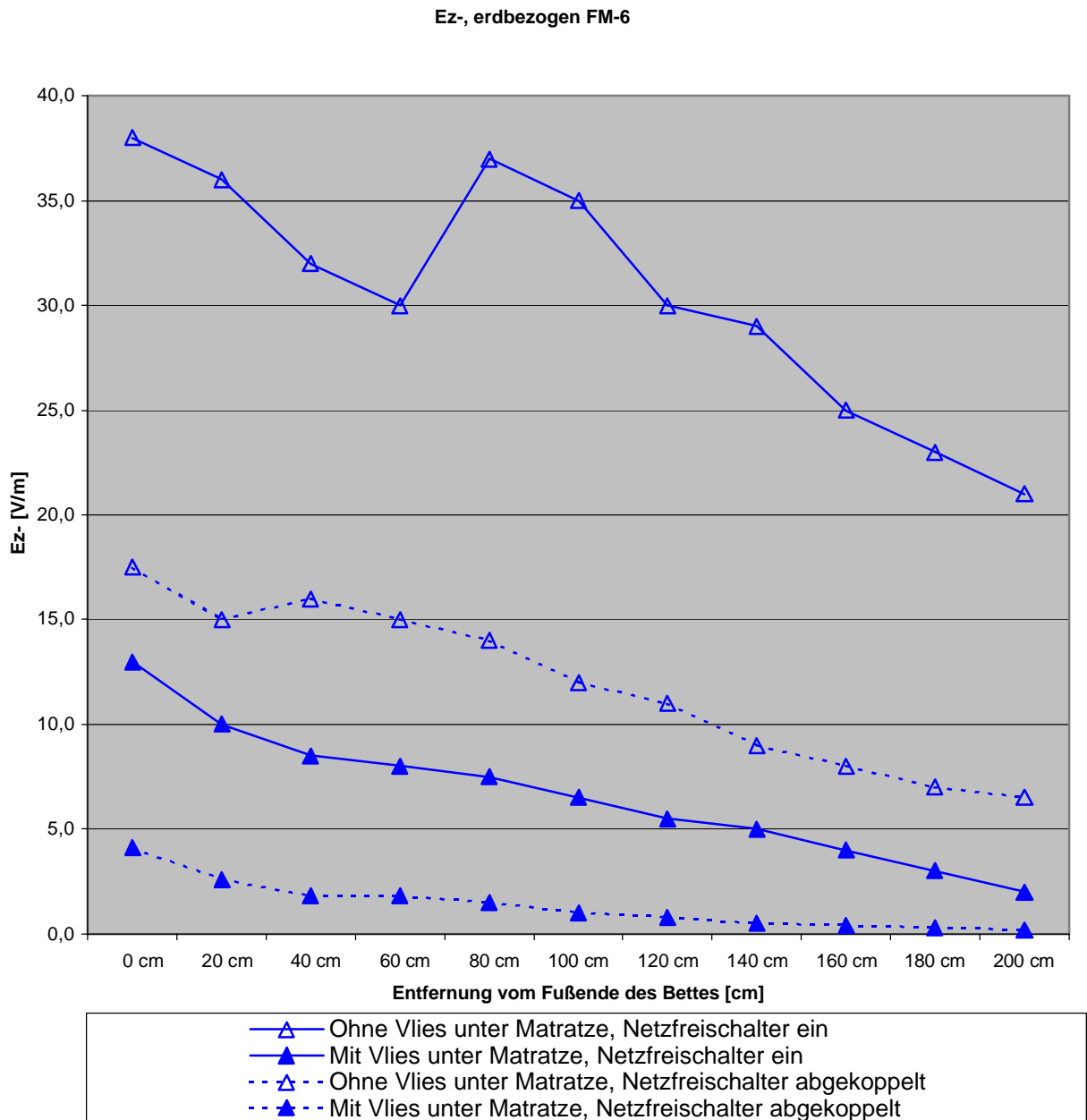


# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich



**Abbildung 6.2-9** Ez bei unterschiedlichen Feldsituationen, ohne Person im Feld, gemessen mit FM-6 Kleinsonde, erdbezogen

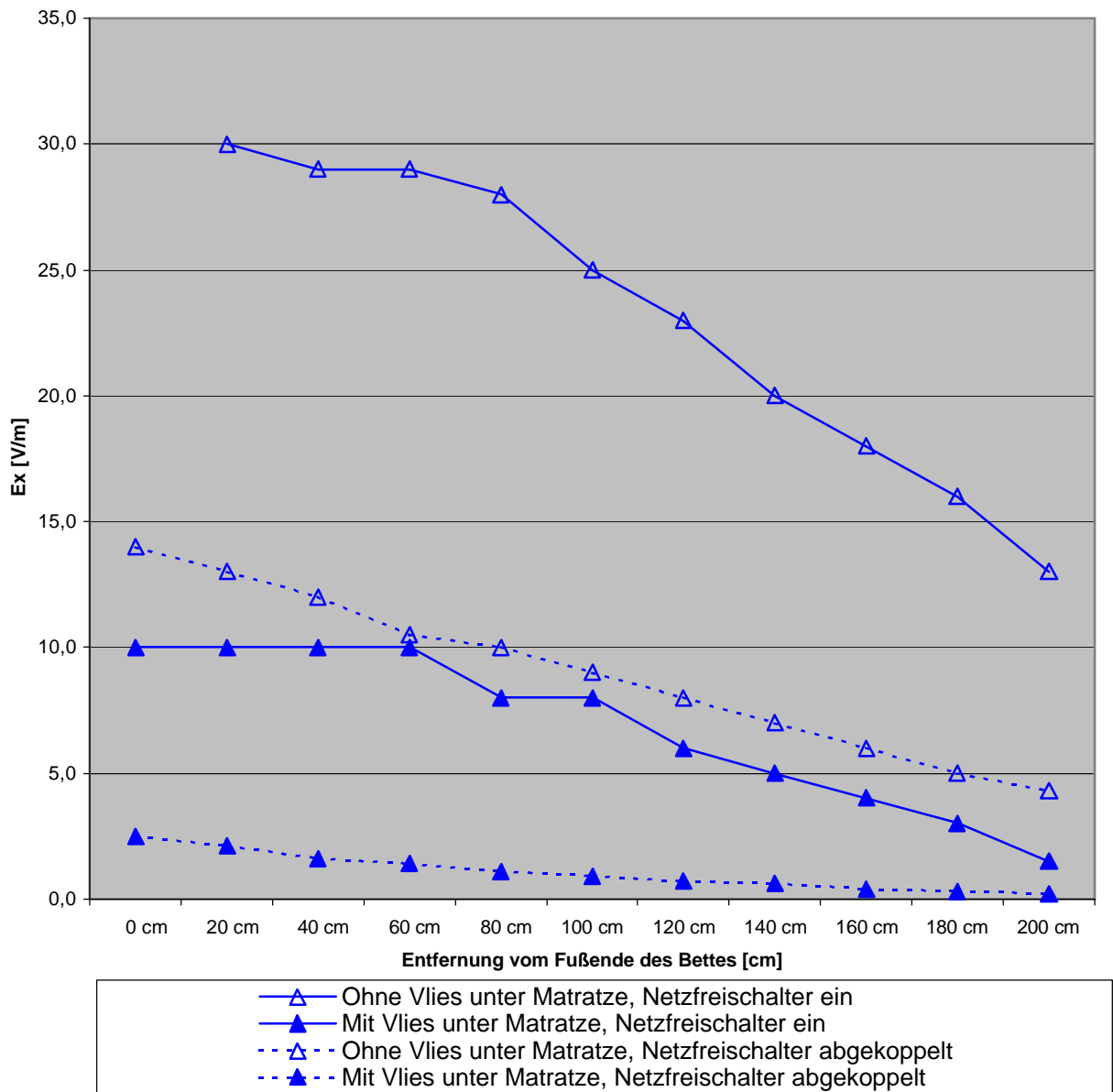
# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich



**Abbildung 6.2-10** Ez- bei unterschiedlichen Feldsituationen, ohne Person im Feld, gemessen mit FM-6 Kleinsonde, erdbezogen

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

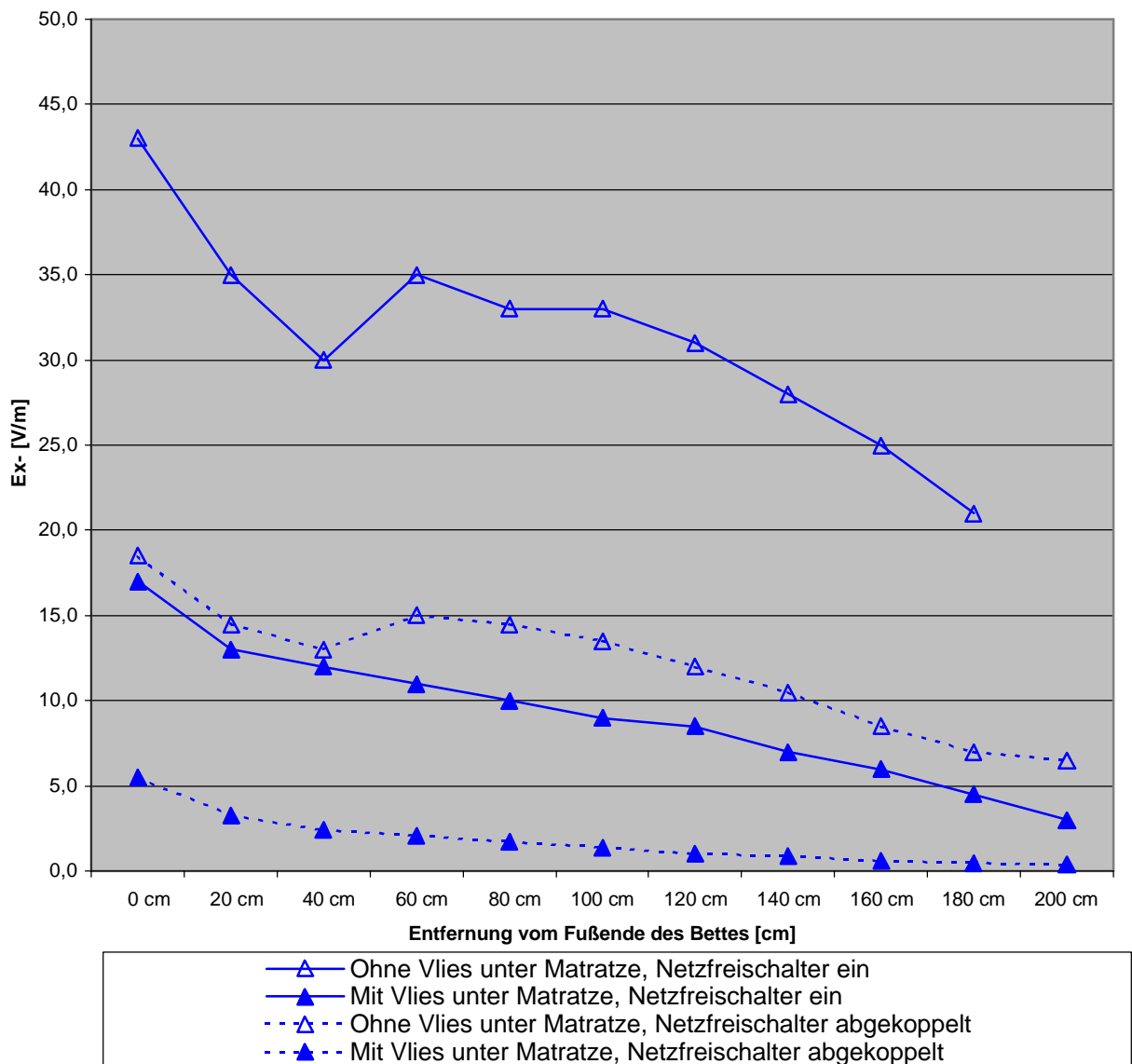
Ex, erdbezogen FM-6



**Abbildung 6.2-11** Ex bei unterschiedlichen Feldsituationen, ohne Person im Feld, gemessen mit FM-6 Kleinsonde, erdbezogen

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

Ex-, erdbezogen FM-6

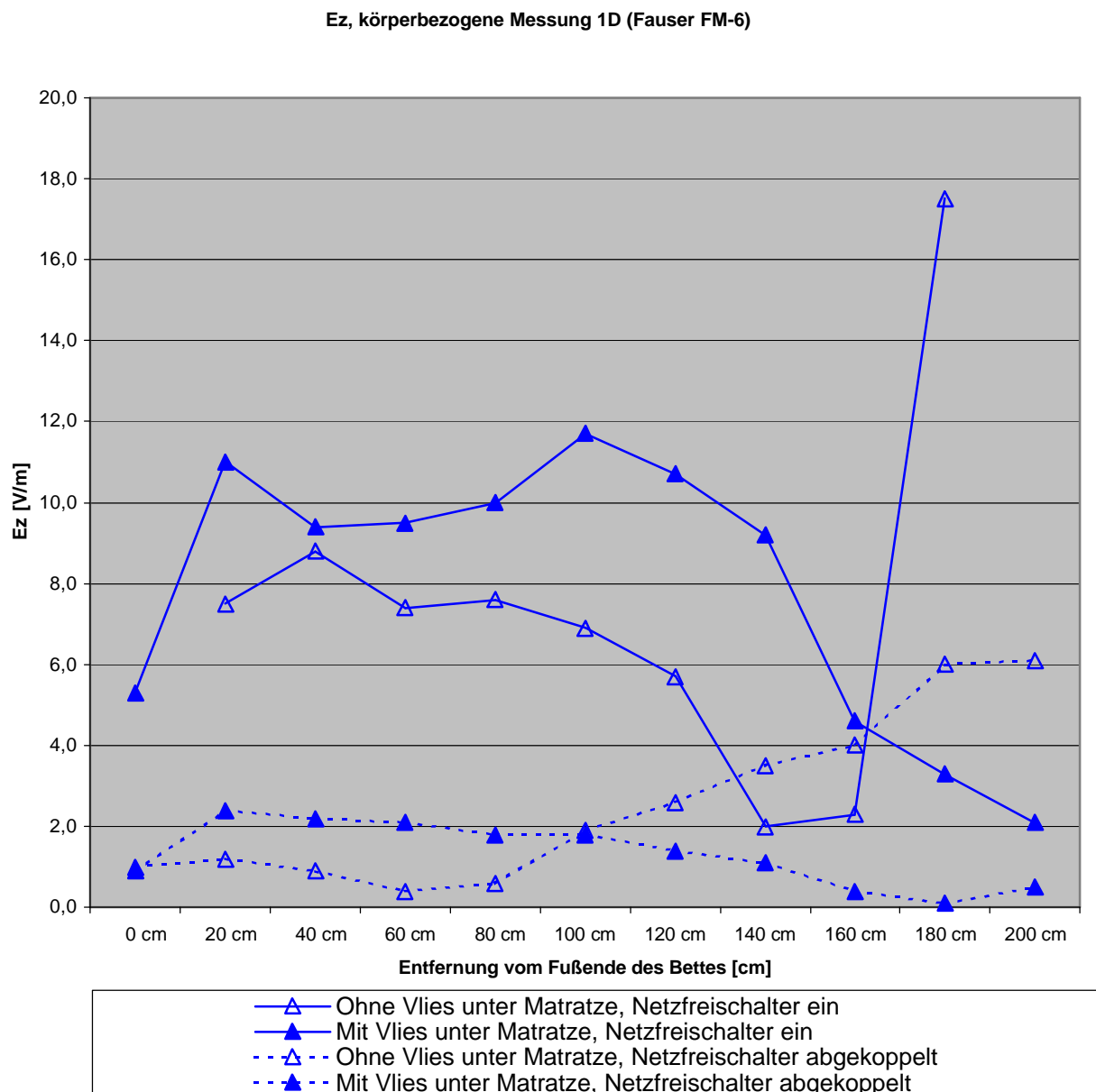


**Abbildung 6.2-12** Ex- bei unterschiedlichen Feldsituationen, ohne Person im Feld, gemessen mit FM-6 Kleinsonde, erdbezogen

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## 6.2.4 Körperbezogene Messung in verschiedenen Feldsituationen

Bild 6.2-13 zeigt die Ergebnisse der körperbezogenen Messung (siehe [3]) bei Variation der Feldsituation (Netzfreischalte, geerdetes Vlies unter der Matratze). Gemessen wurde hier die senkrecht zu dem im Feld liegenden Körper gerichtete z-Komponente mit der Kleinsonde Fauser FM-6.



**Abbildung 6.2-13**  $E_z$  bei unterschiedlichen Feldsituationen, mit Person im Feld, gemessen mit FM-6 Kleinsonde, körperbezogen

## Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Auffallend ist eine hohe Ähnlichkeit der Kurvenverläufe mit denen der potentialfreien Messung (mit Körper im Feld, vgl. Abbildung 6.2-6 und 6.2-7).

Auch die Tendenzen zur Veränderung der Feldstärke bei den verschiedenen Situationen sind in allen Fällen wie bei der potentialfreien Messung gelagert. Die Veränderungstrends werden in jedem der hier vorliegenden Fälle richtig angezeigt; hieraus zu ziehende Schlüsse für Sanierungsempfehlungen lauten logischerweise genau so, wie bei der potentialfreien Messmethode und sind richtig. Vergleichende Messungen vor/nach dem Einbringen großflächiger, geerdeter Abschirmungen führen von der Tendenz her zu korrekten Ergebnissen.

Ebenso entspricht die räumliche Differenzierung weitgehend den Ergebnissen der potentialfreien Messung.

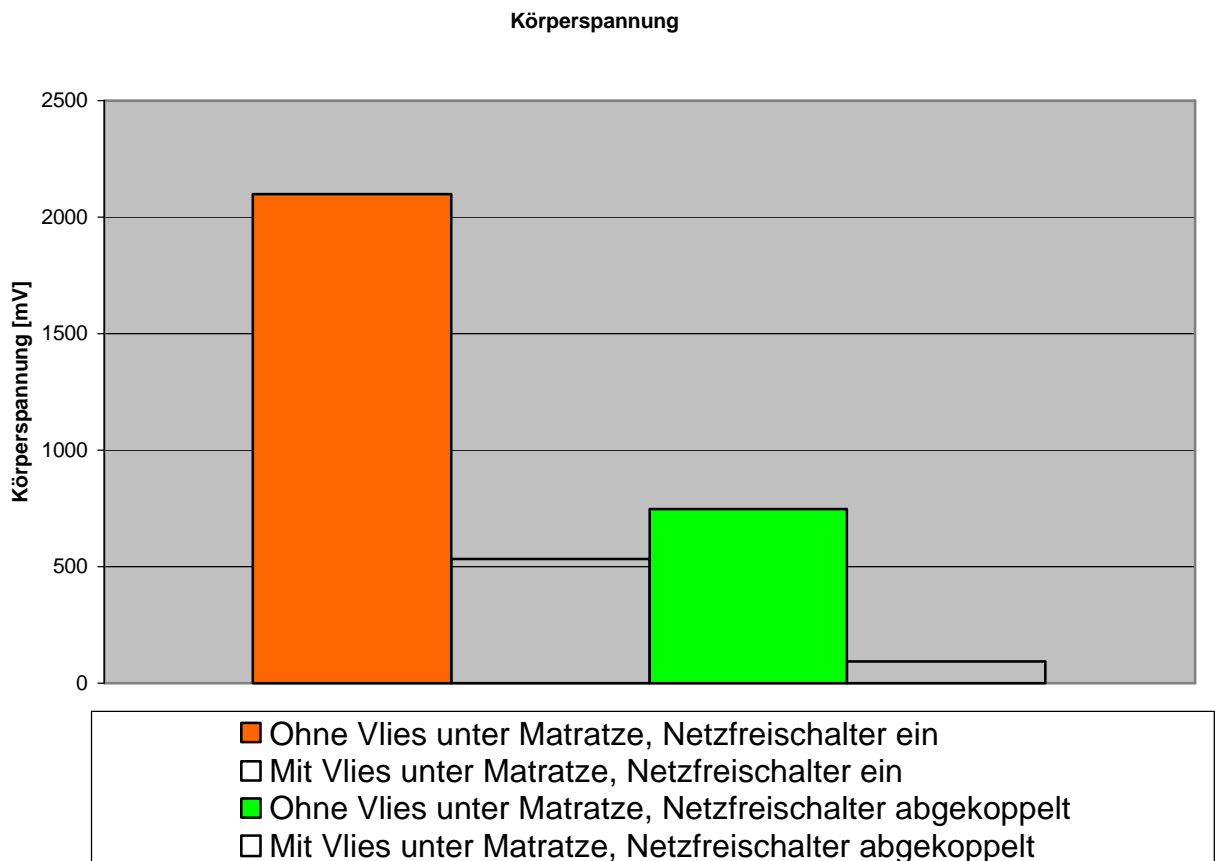
Da die Sonde nicht für diesen Verwendungszweck kalibriert ist, sind Abweichungen bei den absoluten Beträgen der Feldstärke nicht verwunderlich.

Damit erscheint die körperbezogene Feldmessung als eine vielversprechende Variante, die zumindest bei den hier getesteten Feldkonstellationen nicht die Nachteile und das Fehlerpotential der erdbezogenen Messung zeigt. Eine weitergehende Untersuchung dieser Messmethode erscheint daher angebracht und empfehlenswert.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

## 6.2.5 Körperspannungsmessung in verschiedenen Feldsituationen

Bild 6.2-14 zeigt die Ergebnisse der Körperspannungsmessung (Messung des Körperpotentials gegen Erde) bei Variationen der Feldsituation (Netzfreischalter, geerdetes Vlies unter der Matratze).



**Abbildung 6.2-14** Körperspannung gegen Erdpotential bei unterschiedlichen Feldsituationen, (Digital-Multimeter Tektronix DMM 916, 10 M $\Omega$  Eingangswiderstand)

Die Feldverringerng bei Abkoppeln des Netzfreischalters wird hier tendenziell richtig angezeigt. Aber auch bei Einbringen des geerdeten Abschirmvlieses unter der Matratze wird jeweils eine drastische Feldverringerng registriert, während das Feld in Wirklichkeit größer wird.

Bei der Verwendung großflächiger geerdeter Abschirmmaterialien kann die Körperspannungsmessung somit zu gravierenden Fehleinschätzungen der Feldsituation (zu niedrig) und zu falschen Sanierungsempfehlungen führen.

# Messungen an E-Feldstärkemessgeräten für den NF-Bereich

---

Vergleichende Körperspannungsmessungen vor/nach dem Einbringen großflächiger, geerdeter Abschirmungen zur Kontrolle des Sanierungserfolges sind daher nicht aussagekräftig.

## 7 Quellenverzeichnis

- [1] Feldsonden für Kalibrierzwecke und zur Bestimmung von Betrag und Richtung der elektrischen Feldstärke, Dr. Ing. Georg Bahmeier  
  
Düsseldorf 1994, VDI Verlag, Reihe 8, Nr. 438
- [2] Grundsätzliche Überlegungen zur Messung langsam veränderlicher (niederfrequenter) elektrischer Wechselfelder, Dr.-Ing. Martin H. Virnich  
  
Tagungsband „Baubiologische Elektrotechnik“, März 2001, ELQ Würzburg
- [3] Realistische Messung niederfrequenter elektrischer Felder, Rainer Elschenbroich  
  
Wohnung + Gesundheit, Nr. 91, 6/1999, S. 33-35, Institut für Baubiologie + Oekologie  
Neubeuern