

Luftelektrische Felder in umbauten Räumen und im Freien *)

Von Roland Lenke und Justus Bonzel, Düsseldorf

Übersicht

Luftelektrische Felder sind Bestandteile der menschlichen Umwelt. Aufgrund von Tierversuchen und von wenigen kurzzeitigen Beobachtungen über das Verhalten von Menschen wird elektrostatischen und elektromagnetischen Feldern niedriger Frequenz sowie Luftionen teilweise eine lebenswichtige Funktion zugeschrieben. Von bestimmten Kreisen wird darüber hinaus seit Jahren behauptet, daß sich das Wohnen in Betonbauten wegen der Abschirmung der elektrischen Felder der Außenluft nachteilig auf die Gesundheit von Menschen auswirken würde. Bis heute ist jedoch nicht geklärt, ob das Befinden von Mensch und Tier durch diese luftelektrischen Felder eindeutig und auf Dauer beeinflusst wird. Außerdem ist durch entsprechende Versuche auch noch nicht klar gestellt, ob bzw. in welchem Maße luftelektrische Felder in umbauten Räumen auftreten können.

Vom Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, wurden daher umfangreiche Untersuchungen über die luftelektrischen Felder in umbauten Räumen mit Bauteilen aus verschiedenen Baustoffen und zum Vergleich dazu gleichzeitig in der Nähe dieser Räume im Freien in dicht und wenig dicht besiedelten Gebieten durchgeführt. Untersuchungen und theoretische Betrachtungen ergaben, daß Bauteile aus üblichen Baustoffen, wie Holz, Mauerziegel, Kalksandstein und bewehrtem Beton, Luftionen, elektrostatische Felder und niederfrequente elektromagnetische Felder der Außenluft in gleichem Maße abschirmen. In normal genutzten Wohnräumen und Aufenthaltsräumen mit Bauteilen aus diesen Baustoffen wurden ähnliche luftelektrische Felder wie in der Nähe dieser Gebäude im Freien gemessen; sie können durch die Raumausstattung, die elektrischen Anlagen und das Geschehen in diesen Räumen verursacht werden.

1. Einleitung

Luftelektrische Felder gehören wie Druck, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft zur menschlichen Umwelt. Aufgrund von Tierversuchen und wenigen kurzzeitigen Beobachtungen über das Verhalten von Menschen wird diesen elektrischen Feldern von einigen Stellen eine lebenswichtige Funktion zugeschrieben. Diese Äuße-

*) Nach einem Vortrag auf der Technisch-wissenschaftlichen Zement-Tagung 1975 des Vereins Deutscher Zementwerke e. V. in Stuttgart.

rungen waren der Anlaß, daß auch die Frage nach den luftelektrischen Feldern in umbauten Räumen gestellt wurde.

Von bestimmten Kreisen werden im Zusammenhang mit dieser Fragestellung seit Jahren nachteilige Aussagen über Betonbauten vorgebracht. Dabei werden Betonbauten mit Faradayschen Käfigen verglichen und wird behauptet, daß Betonbauteile die angeblich lebenswichtigen elektrischen Felder der Außenluft abschirmen würden und daß sich das Wohnen bzw. Aufhalten in Betonbauten nachteilig auf die Gesundheit von Mensch und Tier auswirken würde.

Dies war für das Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, der Anlaß, sich in den vergangenen drei Jahren eingehend mit den luftelektrischen Feldern in umbauten Räumen aus verschiedenen Baustoffen und im Freien in der Nähe dieser Gebäude zu befassen.

2. Art, Ursache und Vorkommen luftelektrischer Felder

2.1. Elektrostatische Felder

2.1.1. Im Freien

Die elektrostatischen Felder im Freien entstammen, soweit sie natürlichen Ursprungs sind, elektrischen Ladungen der leitfähigen Ionosphärenschichten und meteorologischen Ladungen in der Luft, auf Wolken und Nebelteilchen. Bei schönem, wolkenlosem Wetter dominiert das Feld zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche. In ebenem, unbebautem Gelände beträgt die Stärke dieses Schönwetterfeldes 100 bis 200 Volt/m. Bei bedecktem Himmel und bei schlechtem Wetter wirken sich die Felder zwischen Wolken, Nebel und Erdoberfläche stärker aus. Die Stärke dieser Felder kann je nach den meteorologischen Bedingungen beträchtlich schwanken und auch negative Werte annehmen. Häufig werden die elektrostatischen Felder von feineren Feldvarianten überlagert, die u. a. durch Änderung der Luftionenkonzentration hervorgerufen werden können. Die elektrostatischen Felder im Freien können auch durch Einflüsse technischen Ursprungs verändert werden, wie z. B. durch Luftverunreinigungen.

2.1.2. In umbauten Räumen

Aus physikalischen Grundlagen läßt sich ableiten, daß elektrostatische Felder im Freien in Mulden und Vertiefungen, wie z. B. im Wald, in Straßenschluchten, abgeschwächt werden und sich in der Nähe von Spitzen und Kanten zu größerer Stärke verdichten. Diese Zunahme kann so groß sein, daß sogenannte stille Entladungen stattfinden.

Alle umbauten Räume, zu denen auch Wohn- und Aufenthaltsräume zählen, stellen physikalisch gesehen Hohlkörper dar. Wie auch bereits früher meist aufgrund theoretischer Betrachtungen festgestellt wurde, siehe u. a. [1 bis 3], dringen elektrostatische Felder beim Auftreffen auf Hohlkörper nach den Gesetzen der Physik in diese Hohlkörper nicht ein, wenn der Unterschied zwischen der elektrischen Leitfähigkeit der Luft und der Hohlkörper-

wand genügend groß ist. Die elektrische Leitfähigkeit der hier angesprochenen Baustoffe, wie Glas, Holz, Mauerziegel, Kalksandstein und Beton, ist zwar nicht gleich, bei allen ist aber der Unterschied zur elektrischen Leitfähigkeit der Luft so groß, daß das elektrostatische Feld der Außenluft in umbaute Räume mit Bauteilen aus diesen Baustoffen nicht eindringt.

Aus dieser Feststellung kann jedoch nicht gefolgert werden, daß in Wohn- und Büroräumen mit Bauteilen aus diesen Baustoffen ein elektrostatisches Feld und Feldänderungen nicht vorhanden ist. Denn durch Personen und ihre Bewegungen, durch das Tragen chemisch unterschiedlicher Textilien sowie durch die Raumausstattung und ihre Nutzung werden dort laufend elektrische Ladungen und somit elektrische Felder und Feldschwankungen erzeugt. Eine wesentliche Bedeutung kommt dabei auch den Kunststoffen der Bekleidung und der Raumausstattung zu. Dies bedeutet aber auch, daß der Mensch ständig von einem von ihm selbst erzeugten und ebenfalls stark schwankenden elektrostatischen Feld umgeben ist, dessen Stärke größer sein kann als die natürlichen elektrostatischen Felder.

2.2. Elektromagnetische Felder

2.2.1. Im Freien

Elektromagnetisches Feld ist die Bezeichnung für einen Zustand, bei dem ein elektrisches und ein magnetisches Feld vorhanden sind und in ursächlichem Zusammenhang stehen. Elektromagnetische Felder sind u. a. durch ihre Frequenz und ihre Feldstärke gekennzeichnet. Beispiele für elektromagnetische Felder hoher Frequenz sind das Sonnenlicht mit einem Frequenzspektrum zwischen $3,9$ und $7,6 \cdot 10^{14}$ Hz und das ultraviolette Licht mit Frequenzen bis zu 10^{16} Hz. Auch Wärmestrahlen sind elektromagnetische Felder hoher Frequenz.

Die Bedeutung solcher elektromagnetischen Felder für den Menschen steht außer Zweifel und soll nicht weiter erörtert werden. Hier sollen vielmehr niederfrequente elektromagnetische Felder, insbesondere Felder im Frequenzbereich von 1 bis 20 Hz, behandelt werden, denen einige Wissenschaftler ebenfalls eine lebenswichtige Funktion zuschreiben. Elektromagnetische Felder mit diesen niedrigen Eigenfrequenzen und/oder solchen Folgefrequenzen von hochfrequenten Wechselfeldern gehören, soweit sie natürlichen Ursprungs sind, zu den elektromagnetischen Feldern, die „Sferics“ genannt werden. Sie entstehen bei Entladungen in den obersten Atmosphärenschichten und können sowohl impulsförmigen als auch oszillierend gedämpften Charakter haben.

Die natürlichen elektromagnetischen Felder können besonders in dicht besiedelten Gebieten und in Industriegebieten von Feldern technischen Ursprungs („Technics“) überlagert werden.

2.2.2. In umbauten Räumen

Die Frage, ob elektromagnetische Felder der Außenluft in Hohlkörper ganz oder teilweise eindringen, ist mit Hilfe der physikalischen Erkenntnisse nicht so einfach zu beantworten wie für die

elektrostatischen Felder. Die Abschirmwirkung der Baustoffe gegenüber elektromagnetischen Feldern hängt nicht nur von der elektrischen Leitfähigkeit der Baustoffe, sondern auch von deren dielektrischen und magnetischen Eigenschaften und von der Frequenz der einfallenden Felder ab. Die Aussage über die Abschirmwirkung von raumabschließenden Bauteilen wird auch dadurch erschwert, daß elektromagnetische Wellen durch metallische Leitungen sowie durch induktive und kapazitive Kopplung in die Räume eingeschleppt werden können.

Die Klärung der Frage nach den elektromagnetischen Feldern in umbauten Räumen erfordert daher entsprechende Untersuchungen, siehe dazu Abschnitt 4. Schon aufgrund theoretischer Überlegungen ergibt sich aber, daß auch im Falle einer Abschirmung des äußeren elektromagnetischen Feldes in normal genutzten Wohn- und Aufenthaltsräumen ein sich laufend änderndes elektromagnetisches Feld vorhanden ist, weil durch stromführende Leitungen, durch die in Betrieb befindlichen elektrischen Geräte und durch die damit verbundenen zahlreichen Schaltvorgänge dort sferics-ähnliche elektromagnetische Wellen und Impulse entstehen. Sie werden „Technics“ genannt, ihre Stärke kann wesentlich größer als die der Sferics sein.

2.3. Luftionen

Ebenso wie den elektrostatischen und den niederfrequenten elektromagnetischen Feldern wird auch den damit z. T. in Wechselwirkung stehenden Luftionen teilweise eine biologische Wirkung zugeschrieben. Kosmische Strahlung und die Strahlung natürlicher und künstlicher radioaktiver Elemente erzeugen durch Ionisationsprozesse in der Luft positive und negative Ionen, deren Konzentration bei meteorologisch stabilen Wetterlagen (Schönwetter) in relativ reiner Luft etwa 1500 bis 4000 Ionen/cm³ beträgt. Die Luftionenkonzentration kann z. B. durch meteorologische Störungen, durch Luftverschmutzung, aber auch durch Zerstäuben von Wasser, wie in der Nähe von Wasserfällen oder bei Meeresbrandung, sehr stark verändert werden,

Das Eindringen der Luftionen der Außenluft in umbaute Räume wird von Außenbauteilen aus allen Baustoffen verhindert. Dennoch sind auch in normal genutzten Innenräumen in der Regel positive und negative Luftionen vorhanden, deren Konzentration die Konzentration bei Schönwetter bei weitem übersteigen kann. Luftionen können durch Raumöffnungen in umbaute Räume hineingetragen oder in diesen durch ionisierende Strahlung, durch Verbrennungsvorgänge, wie z. B. bei Kerzenlicht oder beim Rauchen, oder durch Verdampfungsvorgänge, wie z. B. beim Kochen, erzeugt werden. Siehe u. a. [4].

3. Einfluß luftelektrischer Felder auf Lebewesen

Zur Frage über den Einfluß luftelektrischer Felder auf das Befinden von Mensch und Tier liegen zahlreiche Veröffentlichungen mit sehr unterschiedlicher und teilweise sich widersprechender Aussage vor, von denen hier nur einige wenige Beispiele ange-

führt werden sollen. Altmann [5] berichtet über erhöhte Aktivität weißer Mäuse in einem elektrostatischen Feld von 1000 Volt/m, ohne jedoch genauere Angaben über die Bedingungen und das elektrostatische Feld der dazu gehörigen Vergleichsversuche zu machen. Die Grazer Schule um Möse und Fischer [6] berichtet über Immunitätssteigerungen weißer Mäuse gegenüber Infekten bei elektrostatischen Feldern von 100 Volt/m und mehr und über eine Immunitätsminderung in Räumen ohne elektrostatisches Feld. Zahner [7] und Schuà [8] konnten dagegen bei Versuchen mit Goldhamstern keinen Einfluß elektrostatischer Felder feststellen, deren Stärke denen der natürlichen Felder entsprach.

Bei Einwirken elektromagnetischer Felder niedriger Frequenzen bis 10 Hz beobachtete Schuà [8] Fluchtreaktionen des Goldhamsters, Zahner [7] dagegen einige Jahre später keine Reaktion des Goldhamsters. Lang [9] stellte bei weißen Mäusen eine Reduktion der Wasserausscheidung und eine Änderung des Mineralstoffhaushaltes fest, wenn sie in Faradaykäfigen gehalten wurden. Dieser Effekt, der auch bei Einwirken von Feldern mit einer Frequenz von etwa 10 Hz schwand, ging allerdings mit der Zeit zurück. Dies läßt vermuten, daß sich der Organismus Änderungen der luftelektrischen Felder mit der Zeit anpaßt und daß nur mit Hilfe von Langzeitversuchen eine Aussage darüber möglich ist, ob Faraday-Bedingungen auf Dauer den Gesundheitszustand von Lebewesen beeinträchtigen können. Im Gegensatz zu den Feststellungen von Lang berichteten amerikanische und russische Arbeiten [10] über negative Wirkungen auf wesentliche Lebensfunktionen der einbezogenen Tiere, wenn diese Tiere elektromagnetischen Feldern mit Frequenzen zwischen 5 und 10 Hz ausgesetzt wurden.

Eine weitergehende Deutung der Ergebnisse der zahlreichen Versuche mit Tieren und eine allgemeingültige Aussage über den Einfluß luftelektrischer Felder auf das Verhalten von Tieren ist derzeit noch nicht möglich, weil sich die Ergebnisse teilweise widersprechen und weil Angaben über die übrigen mit Sicherheit wichtigeren klimatischen Einflußgrößen und über die übrigen Versuchsbedingungen sowie über die Langzeitwirkungen und Anpassungsreaktionen fehlen.

Über den Einfluß luftelektrischer Felder auf das Befinden von Menschen wurden bisher nur sehr wenige Untersuchungen bekannt. Wesentliche Folgerungen von grundsätzlicher Bedeutung können daraus nicht gezogen werden, zumal sich dabei mehrere wichtige Einflußgrößen gleichzeitig änderten. Einige Versuche lassen vielleicht vermuten, daß sich bestimmte Feldbedingungen als Schonklima bei bestimmten Krankheiten eignen könnten [11]. Mit entsprechender Begründung müßten dann aber auch angeblich ungünstige und wechselnde Feldbedingungen und der Zwang zur Anpassung für Gesunde als Reizklima wirken können und dafür positiv zu beurteilen sein. Aber auch diese Fragen sind noch nicht geklärt.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß nach Auffassung zahlreicher Wissenschaftler eine Einflußnahme der luftelektrischen Felder auf das Befinden von Mensch und Tier bisher nicht nachgewiesen worden ist. Von einigen Stellen wird bestimmten luftelektrischen Feldern, wie elektrostatischen und niederfrequenten

elektromagnetischen Feldern mit Frequenzen bis zu etwa 20 Hz, eine lebenswichtige Funktion zugeschrieben. Eine gewisse Wirkung kann bei dem derzeitigen Erkenntnisstand zwar nicht sicher ausgeschlossen werden, doch ist bis heute nicht geklärt, ob und, wenn ja, unter welchen Voraussetzungen und in welchem Maße die Psyche und die Physis von Mensch und Tier durch bestimmte luftelektrische Felder eindeutig und auf Dauer beeinflusst werden.

4. Bestimmung der luftelektrischen Felder und Meßeinrichtung

Für praktische Folgerungen über den Einfluß der Baustoffe auf das Eindringen luftelektrischer Felder in umbaute Räume muß zunächst der Frage nachgegangen werden, wie die luftelektrischen Felder in umbauten Räumen mit Bauteilen aus verschiedenen Baustoffen und im Freien in der Nähe dieser Gebäude beschaffen sind. Schwerpunkt der dazu vom Forschungsinstitut der Zementindustrie durchgeführten Messungen war nicht die genaue Erfassung der absoluten Feldstärke, sondern die Erfassung von Vergleichswerten zwischen Innen- und Außenmessungen und zwischen Messungen in umbauten Räumen mit Bauteilen aus verschiedenen Baustoffen. Für diese umfangreichen Untersuchungen waren zunächst schwierige Meßprobleme zu lösen und geeignete Meßeinrichtungen zu entwickeln.

4.1. Elektrostatische Felder

Die elektrostatischen Felder wurden stets gleichzeitig im umbauten Raum und in der Nähe des Gebäudes im Freien (Abstand der Außenmeßstelle vom Gebäude überwiegend 5 bis 10 m) bestimmt. Dafür wurden zwei in einem Plattenkondensator geeichte radioaktive Sonden [12] eingesetzt, die an Voltmeter mit einem Bereich von -150 bis $+250$ Volt angeschlossen wurden. Als elektrische Feldstärke wurde der Quotient aus dem abgelesenen bzw. auf einem Schreiber festgehaltenen Spannungswert und der Entfernung der Sonde von einer Bezugsfläche — in unserem Fall ein geerdetes Aluminiumblech von ca. 1 m^2 Fläche — ermittelt. Die Meßeinrichtung ist in Bild 1 dargestellt.

Die Messungen im Freien wurden an Schattenseiten von Gebäuden durchgeführt, damit die Ergebnisse nicht durch Konvektionsströme infolge Wärmestrahlung beeinflusst wurden. Dabei wurden Meßplätze gewählt, an denen Windturbulenzen bzw. Windströmungen senkrecht zur Erdoberfläche nicht auftraten, da auch sie die elektrostatischen Felder ändern können. Die Meßzeit betrug in der Regel 1 Stunde. Die Messungen wurden zu verschiedenen Tageszeiten und an verschiedenen Tagen durchgeführt. Parallel zu den Messungen im Freien wurden außerhalb der Heizperiode Messungen in der Mitte von umbauten Räumen mit Bauteilen aus Glas, Holz, Mauerziegel, Kalksandstein und bewehrtem Beton durchgeführt.

4.2. Elektromagnetische Felder

Die elektromagnetischen Felder wurden ebenso wie die elektrostatischen Felder in umbauten Räumen mit Bauteilen aus Glas,

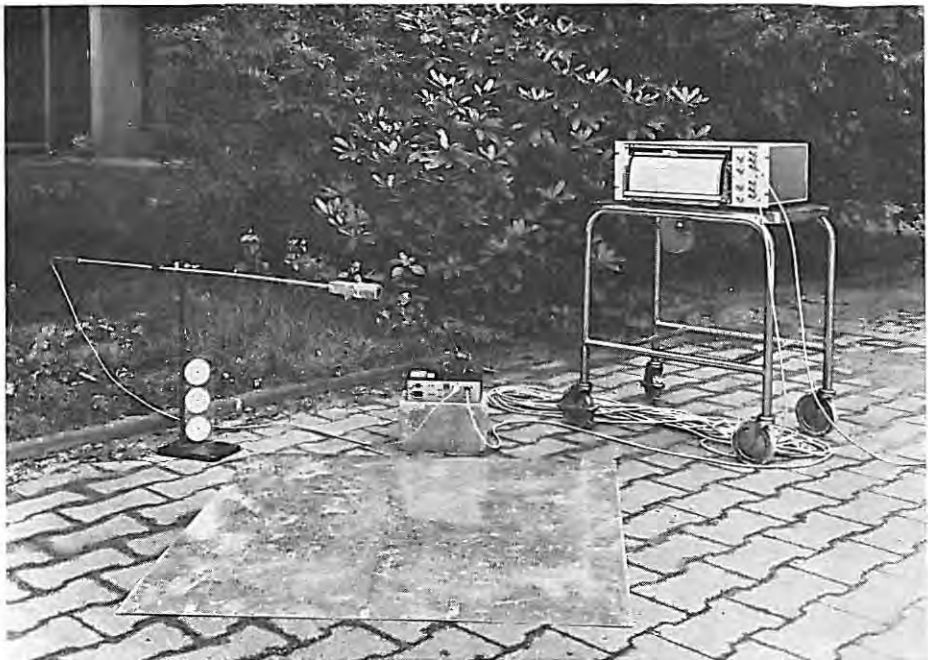


Bild 1 Meßeinrichtung zur Bestimmung der elektrostatischen Felder

Holz, Mauerziegel, Kalksandstein bzw. bewehrtem Beton und gleichzeitig in der Nähe der Gebäude im Freien gemessen. Dabei wurden Meßorte in Gebieten mit unterschiedlich dichter Besiedlung gewählt. Zum Empfang der elektrischen Komponente elektromagnetischer Felder wurden – wiederum zweifach – 2 m hohe Stabantennen isoliert, senkrecht und schwingungsfrei über dem Erdboden angebracht, siehe auch [13 bis 16]. Sie wurden vor jeder Messung auf ihren Gleichlauf hin untersucht und justiert. Da die elektromagnetischen Wellen und Impulse an der Antennenbasis Spannungswerte im Mikro- bzw. Millivoltbereich erwarten ließen, war die Auswahl der an die Antennen anzuschließenden Verstärker und Analysengeräte eine schwierige Aufgabe. Sie wurde durch den Einsatz von extrem rauscharmen Verstärkern und Vorfiltern sowie von vier Spannungsmeßgeräten mit einer Meßempfindlichkeit bis in den Mikro- bzw. Nanovoltbereich gelöst. Der Nanovoltbereich konnte jedoch infolge des elektronischen Eigenrauschens der Antennen nicht voll ausgenutzt werden. Zwei Spannungsmeßgeräte mit einem Frequenzband zwischen 1 und 5000 Hz wurden zur simultanen Aufzeichnung der elektrischen feldproportionalen Spannung im Frequenzbereich von 1 bis 20 Hz bei einer Bandbreite von 1 Hz und einer Zeitkonstanten von 10 s eingesetzt. Zwei weitere Instrumente dienen gleichzeitig zur Feldstärkemessung bei bestimmten Frequenzen, vorwiegend 8 Hz. In diesen Fällen betrug bei der Messung im einbezogenen Holzhaus in ländlicher

Gegen die Bandbreite 0,6 Hz und die Zeitkonstante 100 s und bei der Messung im einbezogenen Ziegelhaus einer Großstadt die Bandbreite 0,02 Hz und die Zeitkonstante 1 s. Die Meßeinrichtung ist in Bild 2 dargestellt.

Die Meßzyklen von in der Regel 2000 s Dauer wurden mehrmals hintereinander abgefahren und zu verschiedenen Tageszeiten und an verschiedenen Tagen wiederholt, um möglichst viele Meßdaten für den genannten Frequenzbereich zu erhalten. Als relatives und für alle Messungen vergleichbares Maß für die Feldstärke der elektrischen Komponente des elektromagnetischen Feldes wurde die effektive Spannung am Fußpunkt der 2 m langen Stabantenne gemessen. Die effektive Spannung ergibt sich durch Multiplikation des sogenannten „Feldstärkefaktors“ mit dem Meßbereich.

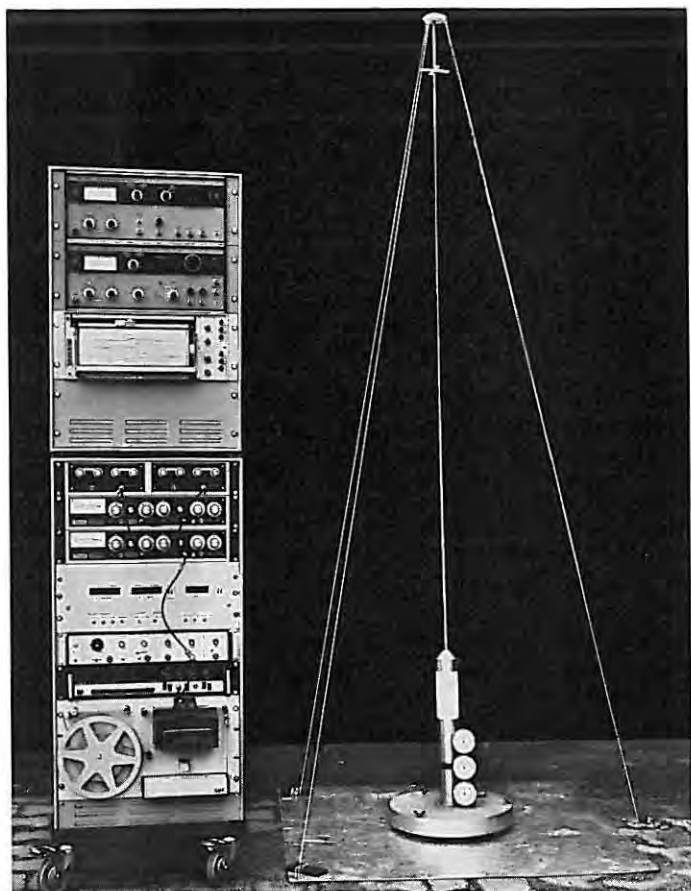


Bild 2 Meßeinrichtung zur Bestimmung der elektromagnetischen Felder

5. Untersuchungsergebnisse

5.1. Elektrostatische Felder

Die zahlreichen Messungen in umbauten Räumen mit Bauteilen aus verschiedenen Baustoffen an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Tageszeiten, und zwar sowohl bei normaler Nutzung der Räume als auch im ungenutzten Zustand, bestätigen voll die aus physikalischen Erkenntnissen und Gesetzmäßigkeiten abgeleiteten Vorstellungen. Sie ergaben ein vollständig gleiches Verhalten für alle einbezogenen Baustoffe, wie Glas, Holz, Mauerziegel, Kalksandstein und bewehrten Beton. Alle diese Baustoffe verhinderten ein Eindringen des elektrostatischen Feldes der Außenluft in Innenräume. Für das Außenfeld wurden Feldstärken bis zu etwa 100 Volt/m gemessen. Auch in ländlicher Gegend im Freien ergaben sich vermutlich wegen des geringen Abstandes der Außenmeßstelle vom Gebäude (5 bis 10 m) keine größeren Feldstärken. In Innenräumen mit Bauteilen aus den bereits genannten Baustoffen konnte ein elektrostatisches Feld nicht festgestellt werden, wenn im nicht genutzten Innenraum gemessen wurde. Es ergab sich in diesen Innenräumen jedoch ein sich häufig änderndes elektrostatisches Feld mit Feldstärken bis zu etwa 100 Volt/m, wenn der Raum während der Messung normal genutzt wurde.

Eine repräsentative Auswahl der bisher vorliegenden Versuchsergebnisse geben die Bilder 3 und 4 wieder. Bild 3 enthält Aufzeichnungen der Messung des elektrostatischen Feldes im Freien und im Innenraum von je einem Gebäude aus bewehrtem Beton, Mauerziegel und Holz in ländlicher Gegend über 1 Stunde. Die Messungen wurden im Juli 1975 am Tage bei schönem, trockenem Wetter mit geringer Bewölkung durchgeführt. Während der Messung wurde der Innenraum der drei Häuser nicht genutzt, so daß in diesen Räumen während der Messung ein elektrostatisches Feld nicht erzeugt wurde.

Die Ergebnisse des Bildes 3 zeigen für alle drei Beispiele ein elektrostatisches Außenfeld, dessen Feldstärke vermutlich wegen der Nähe der Außenmeßstelle am Gebäude etwas geringer war als bei Messungen in freier Natur, und in allen drei nicht genutzten Innenräumen praktisch kein elektrostatisches Feld. Die einzelnen hervortretenden Spitzen des Außenfeldes wurden durch Fußgänger erzeugt, die an der Außenantenne vorbeigingen.

In Bild 4 sind zwei weitere interessante und die Verhältnisse kennzeichnende Beispiele aufgeführt. Die Ergebnisse der oberen Bildhälfte geben das elektrostatische Feld im Freien und im nicht genutzten Innenraum eines Gebäudes aus Mauerziegel in ländlicher Gegend während des Herannahens und nach Beginn eines Gewitters wieder. Das elektrostatische Feld unterliegt dabei sehr starken Schwankungen und kann nach Beginn des Gewitters negative Werte annehmen, aber auch dieses elektrostatische Feld drang nicht in den Innenraum ein. — In der unteren Hälfte von Bild 4 sind die Meßergebnisse, die am Tage bei schönem Wetter im Büroraum eines Betongebäudes in einer Großstadt gewonnen wurden, und die dazu gehörigen Ergebnisse der Messungen im Freien aufgezeichnet. Im Gegensatz zu den Beispielen

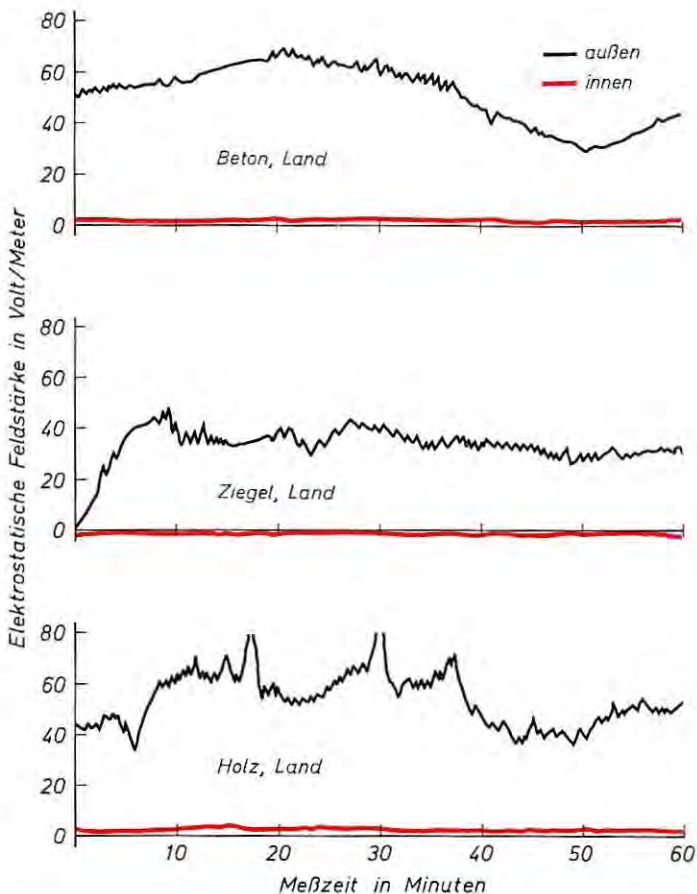


Bild 3 Elektrostatisches Feld im Freien und in nicht genutzten Innenräumen mit Bauteilen aus bewehrtem Beton, Mauerziegel bzw. Holz

in Bild 3 war dieser Büroraum während der Messung normal genutzt. Diese Ergebnisse und alle zur gleichen Frage durchgeführten Messungen bestätigen, daß in normal genutzten Innenräumen trotz der Abschirmung des Außenfeldes in der Regel elektrostatische Felder und Feldschwankungen vorhanden sind, die größere Feldstärken als die Außenfelder aufweisen können.

Zusammenfassend ist aus den Ergebnissen aller dieser Versuche zu folgern, daß das elektrostatische Feld der Außenluft von Bauteilen aus Baustoffen wie Glas, Holz, Mauerziegel, Kalksandstein und bewehrtem Beton abgeschirmt wird und daß trotz dieser Abschirmung in normal genutzten Innenräumen elektrostatische Felder und Feldschwankungen vorhanden sind. Schon allein durch seine Bekleidung und seine Bewegung erzeugt der Mensch sowohl im Freien als auch in umbauten Räumen ständig eigene elektrostatische Felder.

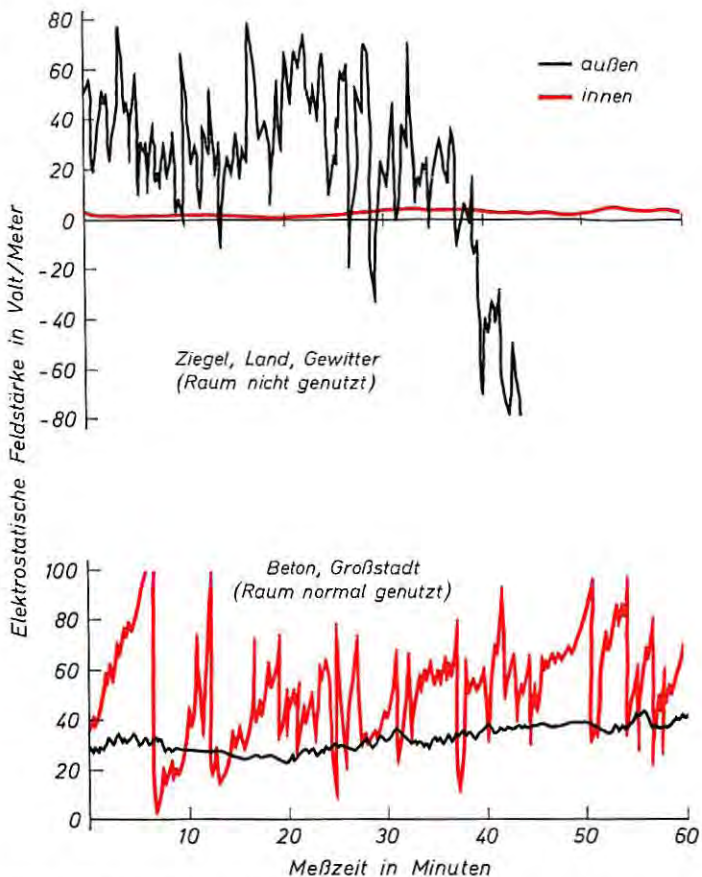


Bild 4 Elektrostat. Feld im Freien und im Innenraum

- a) obere Bildhälfte: bei Gewitter, Innenraum nicht genutzt, ländliche Gegend,
- b) untere Bildhälfte: bei schönem Wetter, Innenraum normal genutzt, Großstadt

5.2. Elektromagnetische Felder

Auch die zahlreichen Messungen des niederfrequenten elektromagnetischen Feldes bis 20 Hz in umbauten Räumen mit Bauteilen aus verschiedenen Baustoffen, wie Holz, Kalksandstein, Mauerziegel und bewehrtem Beton, und parallel dazu im Freien ergaben ein gleiches Verhalten aller einbezogenen Baustoffe. Da die elektromagnetischen Felder nicht nur natürlichen, sondern auch technischen Ursprungs sein können und da sich technische Einflüsse in der Regel besonders in dicht besiedelten Gebieten bemerkbar machen, mußte hier stärker als bei den elektrostat. Feldern auch der Einfluß der Besiedlungsdichte berücksichtigt werden. Repräsentative und die Verhältnisse kennzeichnende Ergebnisse enthalten die Bilder 5 bis 13, sie geben in der

Regel die Ergebnisse für eine Meßzeit von 2000 s wieder. Der auf der Ordinate aufgetragene Feldstärkefaktor ist nach Multiplikation mit dem Kennwert des Meßbereiches (siehe Bilder 5 bis 13) ein relatives Maß für die Feldstärke und erlaubt dann unmittelbar einen Vergleich der elektromagnetischen Felder in Innenräumen und im Freien sowie in Innenräumen mit Bauteilen aus verschiedenen Baustoffen.

Bild 5 enthält einen Ausschnitt der Messungen des elektromagnetischen Feldes, das in einer Großstadt (dichte Besiedlung) in einem normal ausgestatteten und genutzten Wohnraum eines mehrgeschossigen Hauses aus bewehrtem Beton und parallel dazu im Freien aufgenommen wurde. Die Messung wurde am Vormittag eines heiteren und trockenen Tages im Mai 1975 durchgeführt. Dem Feldstärkefaktor von 1,0 entspricht ein Meßbereich von 3 mV. Die Aufzeichnungen in Bild 5 lassen erkennen, daß im umbauten Raum und im Freien ein elektromagnetisches Feld annähernd gleicher Beschaffenheit und Feldstärke gemessen wurde. Sowohl das Innenfeld als auch das Außenfeld waren durch starke Impulse gekennzeichnet. Im Wohnraum des Betonhauses herrschte daher praktisch das gleiche elektromagnetische Feld wie in der Nähe des Gebäudes im Freien.

Auch Bild 6 gibt einen Aufschluß über das elektromagnetische Feld eines Innenraumes, der von Bauteilen aus bewehrtem Beton umgeben ist, und über das dazu gehörige Feld im Freien. Die Verhältnisse in Bild 6 unterscheiden sich jedoch von denen in Bild 5 durch zwei sehr wesentliche Merkmale, da dieses Betongebäude nicht in einer Großstadt, sondern in ländlicher Gegend (schwache Besiedlung) liegt und während der Messung nicht genutzt wurde und auch keinen Stromanschluß hatte. Diese Messungen wurden an einem bewölkten, aber trockenen Tag im Juli 1975 während der Mittagszeit durchgeführt. Dem Feldstärkefaktor 1,0 entspricht ein Meßbereich von 0,3 mV, die Meßempfindlichkeit war daher zehnmal so groß wie beim Beispiel in Bild 5. Als Ergebnis ist hier festzuhalten, daß das elektromagnetische Feld der Außenluft in ländlicher Gegend sehr viel schwächer ist als in der Großstadt (vgl. Bilder 5 und 6) und daß im nicht genutzten Innenraum ein elektromagnetisches Feld nicht festgestellt worden ist. Das elektromagnetische Feld der Außenluft ist daher in die Innenräume nicht eingedrungen, sondern durch die Begrenzungsbauteile abgeschirmt worden.

Die Ergebnisse der entsprechenden Messungen in Innenräumen mit Wänden aus Mauerziegeln und parallel dazu im Freien sind für das Beispiel in der Großstadt in Bild 7 und für das Beispiel in ländlicher Gegend in Bild 8 aufgetragen. Beim Beispiel in Bild 7 (Ziegelgebäude) handelt es sich wie beim Beispiel in Bild 5 (Betongebäude) um einen Wohnraum eines mehrgeschossigen Hauses in einer Großstadt, der während der Messung normal ausgestattet und genutzt war. Die Messung wurde am frühen Nachmittag eines heiteren und trockenen Tages im Mai 1975 durchgeführt. Dem Feldstärkefaktor 1,0 entspricht ein Meßbereich von 3 mV, die Meßempfindlichkeit war daher beim Beispiel in Bild 7 ebenso groß wie beim Beispiel in Bild 5. Das Innen- und das Außenfeld des als Beispiel herangezogenen großstädtischen Ziegelhauses

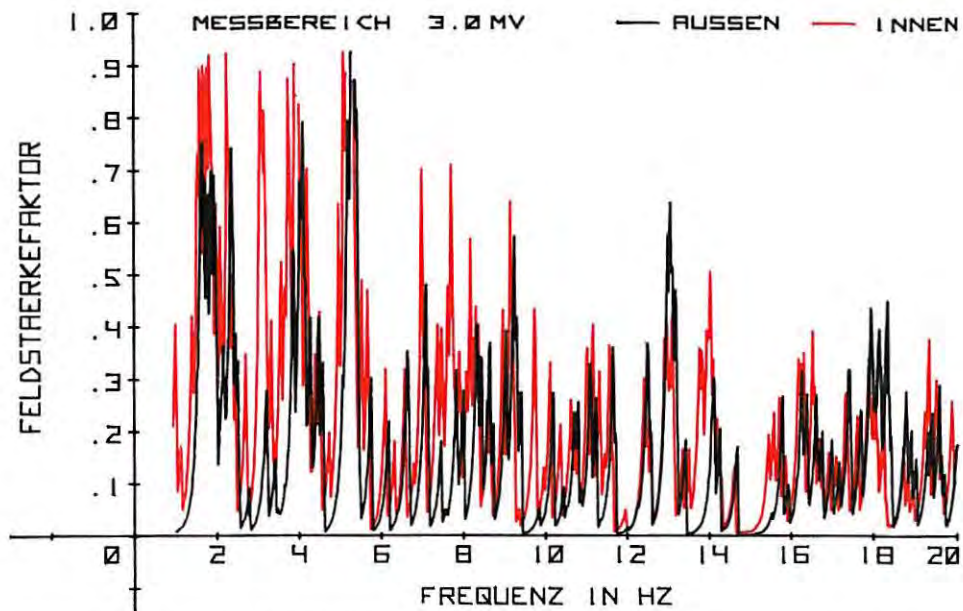


Bild 5 Elektromagnetisches Feld bis 20 Hz im Freien und im normal genutzten Innenraum mit Bauteilen aus bewehrtem Beton in dichter Besiedlung (Großstadt)

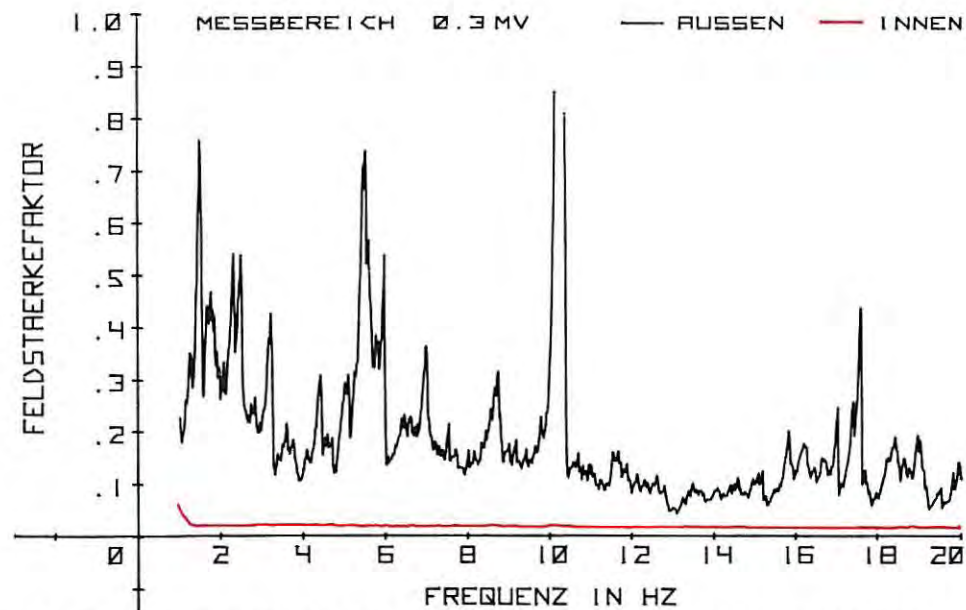


Bild 6 Elektromagnetisches Feld bis 20 Hz im Freien und im nicht genutzten Innenraum mit Bauteilen aus bewehrtem Beton in schwacher Besiedlung (ländliche Gegend)

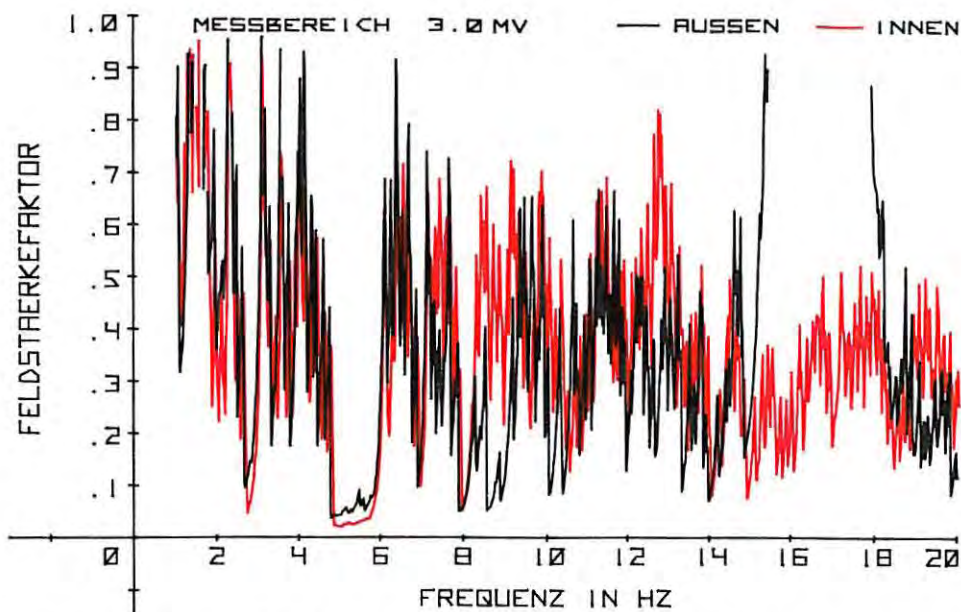


Bild 7 Elektromagnetisches Feld bis 20 Hz im Freien und im normal genutzten Innenraum mit Bauteilen aus Mauerziegel in dichter Besiedlung (Großstadt)

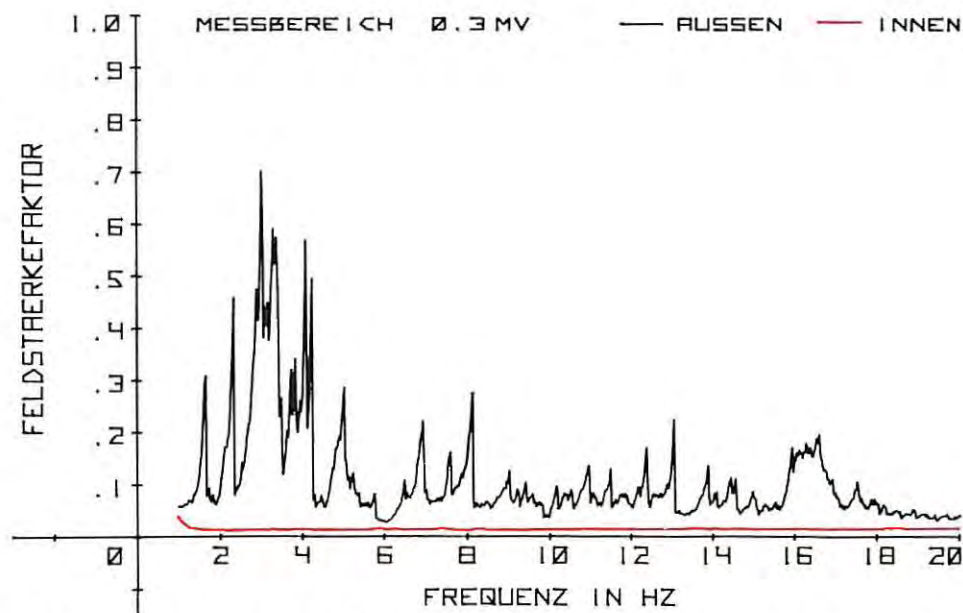


Bild 8 Elektromagnetisches Feld bis 20 Hz im Freien und im nicht genutzten Innenraum mit Bauteilen aus Mauerziegel in schwacher Besiedlung (ländliche Gegend)

wiesen annähernd gleiche Beschaffenheit und Feldstärke auf und sind durch starke Impulse gekennzeichnet. Ein Vergleich der Bilder 7 und 5 zeigt also, daß in der Großstadt im Wohnraum des Ziegelhauses praktisch das gleiche elektromagnetische Feld wie im Wohnraum des Betonhauses herrschte.

Beim Beispiel in Bild 8 (Ziegelgebäude) wurde wie beim Beispiel in Bild 6 (Betongebäude) in einem Innenraum in ländlicher Gegend gemessen, der während der Messung nicht genutzt und praktisch ohne Strom und Schaltvorgänge war. Die Messung wurde am frühen Nachmittag eines heiteren und trockenen Tages im Juli 1975 durchgeführt, die Meßempfindlichkeit war so groß wie beim Beispiel in Bild 6, aber zehnmal so groß wie beim Beispiel in Bild 7. Das elektromagnetische Außenfeld in ländlicher Gegend war auch bei den Gebäuden aus Mauerziegel deutlich schwächer als in der Großstadt (vgl. Bilder 8 und 7). Es war aber ebenfalls nicht in den Innenraum des Ziegelgebäudes eingedrungen, sondern von den Ziegelwänden abgeschirmt worden. Auch aus dem Vergleich der Bilder 8 und 6 ist zu folgern, daß sich Wände aus Mauerziegel und Wände aus bewehrtem Beton hinsichtlich der Abschirmung des elektromagnetischen Feldes gleich verhalten.

Die Bilder 9 und 10 geben einen Ausschnitt der Ergebnisse von Messungen in einem Wohnraum eines Hauses mit Kalksandsteinwänden in einer Stadtrandlage (mittlere Besiedlungsdichte) wieder. Sie unterscheiden sich dadurch, daß beim Versuch in Bild 9 das Haus normal genutzt war und die im Haushalt benötigten elektrischen Geräte — soweit sie gebraucht wurden — in Betrieb waren und daß beim Versuch in Bild 10 die Hauptsicherung des Hauses für den elektrischen Strom ausgeschaltet war. Beide Messungen wurden am Nachmittag eines heiteren und trockenen Tages im Juli 1975 durchgeführt. Dem Feldstärkefaktor 1,0 entspricht ein Meßbereich von 1 mV. Ein Vergleich der Bilder 9 und 10 macht deutlich, daß in beiden Fällen ein ähnliches elektromagnetisches Außenfeld vorhanden war, das schwächer als in der Großstadt, aber stärker als in der ländlichen Gegend war. Das elektromagnetische Feld des Innenraumes war beim normal genutzten Haus etwa so stark wie das Außenfeld oder etwas stärker. Im nicht genutzten Haus war dagegen — abgesehen von dem sehr starken Impuls der Bahnfrequenz ($16\frac{2}{3}$ Hz), die in allen Innenräumen festzustellen ist, wenn eine elektrifizierte Bahnlinie in der Nähe vorbeiführt und von wenigen geringfügigen Impulsen, die durch die Stromzuführung ins Haus gelangt sein können — ein elektromagnetisches Feld nicht festzustellen. Die Messungen im Kalksandsteinhaus führten daher zu sinngemäß gleichen Ergebnissen wie die Messungen in den Gebäuden aus Mauerziegel oder aus bewehrtem Beton.

Die ebenfalls als Ausschnitt in Bild 11 wiedergegebenen Ergebnisse wurden am Nachmittag eines heiteren und trockenen Tages mit leichter Bewölkung im Juni 1975 in einem Holzgebäude in ländlicher Gegend (schwache Besiedlungsdichte) gewonnen. Da für die Messung ein Wohnhaus mit Holzwänden nicht gefunden wurde, mußte auf eine Scheune mit dünnen und nicht überall dichten Holzbretterwänden zurückgegriffen werden, die während der Messung nicht genutzt wurde und auch keine Stromzuführung auf-

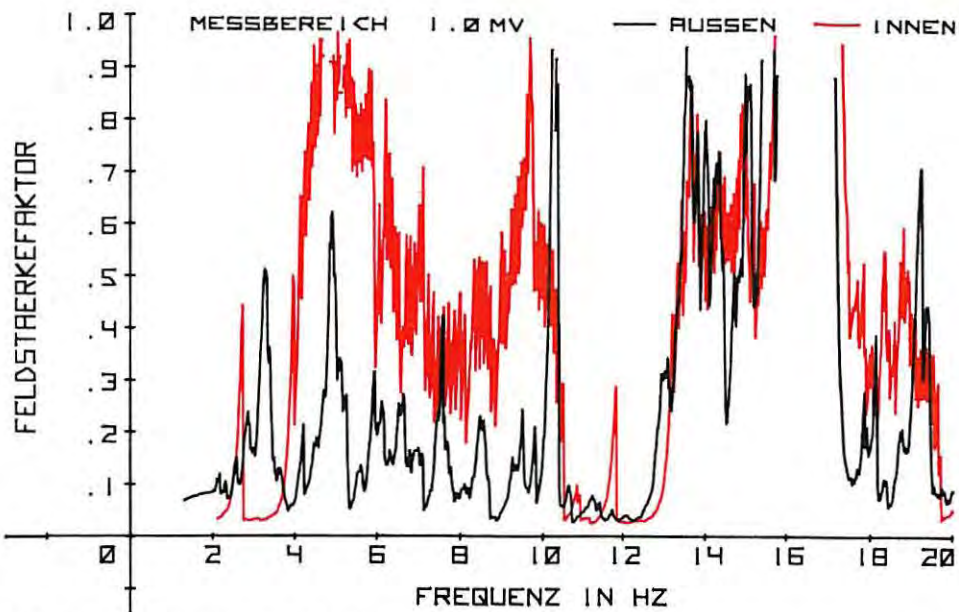


Bild 9 Elektromagnetisches Feld bis 20 Hz im Freien und im normal genutzten Innenraum mit Bauteilen aus Kalksandstein in mittlerer Besiedlungsdichte (Stadttrand)

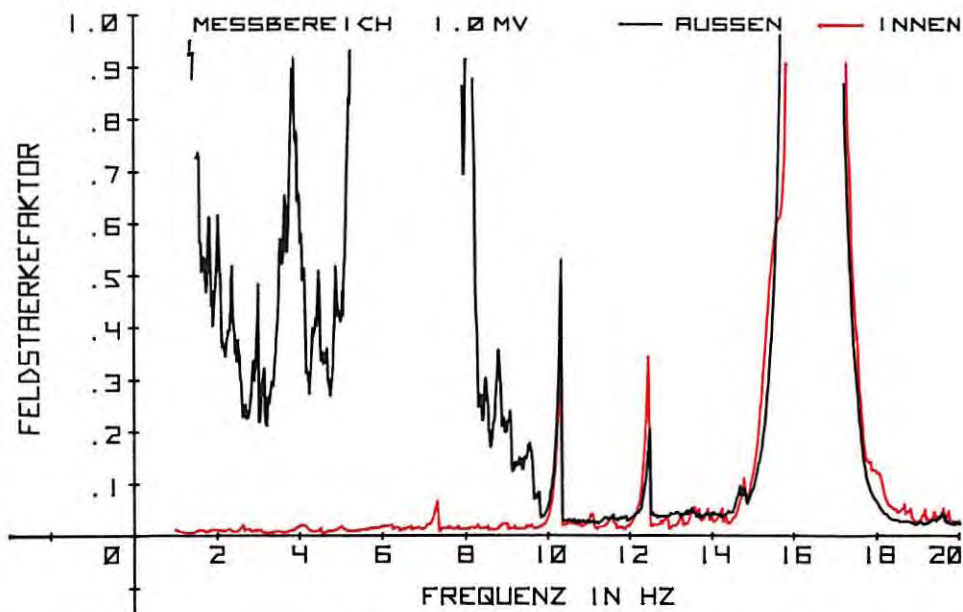


Bild 10 Elektromagnetisches Feld bis 20 Hz im Freien und im nicht genutzten Innenraum mit Bauteilen aus Kalksandstein in mittlerer Besiedlungsdichte (Stadttrand)

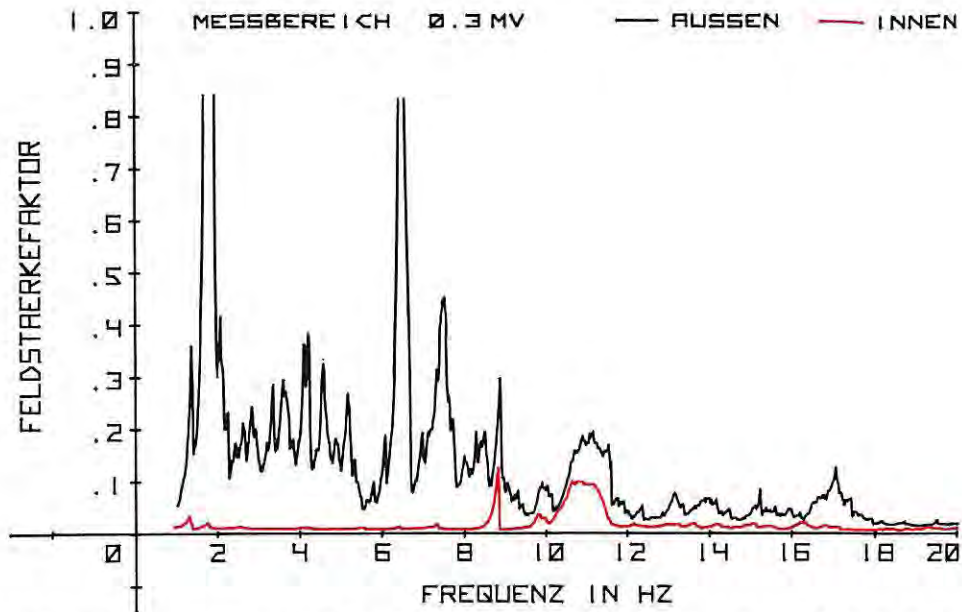


Bild 11 Elektromagnetisches Feld bis 20 Hz im Freien und im nicht genutzten Innenraum mit Bauteilen aus Holz in schwacher Besiedlung (ländliche Gegend)

wies. Dem Feldstärkefaktor 1,0 entspricht ein Meßbereich von 0,3 mV. Wie aus Bild 11 ersichtlich ist, wurde das elektromagnetische Außenfeld — abgesehen von zwei gedämpften Ereignissen im Bereich von 8 bis 11 Hz — auch von den Holzwänden weitgehend abgeschirmt, obwohl es sich bei diesem Beispiel nur um dünne und nicht überall dichte Holzbretterwände handelte. Zur weiteren Klärung sind hier noch Messungen in Innenräumen mit Holzwänden erforderlich, die dicht sind und eine für den Wärmeschutz ausreichende Dicke aufweisen.

Die Ausschnitte über die Versuchsergebnisse für elektromagnetische Felder in den Bildern 5 bis 11 sind zwar repräsentativ für die jeweiligen Verhältnisse, sie stellen aber nur eine Momentaufnahme dar, da sie jeweils nur ein Ergebnis für die nacheinander abgefragten Frequenzen wiedergeben. Da für eine Beurteilung der Verhältnisse aber auch von Interesse ist, wie sich die Feldstärke des elektromagnetischen Feldes bei einer bestimmten Frequenz mit der Zeit ändert, wurden nicht nur Frequenzanalysen, sondern auch die Änderung der Feldstärke des elektromagnetischen Innen- und Außenfeldes bei bestimmten Frequenzen aufgenommen. Ausschnitte dieser Meßergebnisse enthalten die Bilder 12 und 13, und zwar für eine Frequenz von 8 Hz. Bild 12 zeigt als Beispiel Ergebnisse der Messung des Innen- und Außenfeldes einer Holzscheune in ländlicher Gegend mit ebenfalls dünnen und nicht überall dichten Bretterwänden. Sie war zwar während der Messung nicht genutzt, hatte aber im Gegensatz

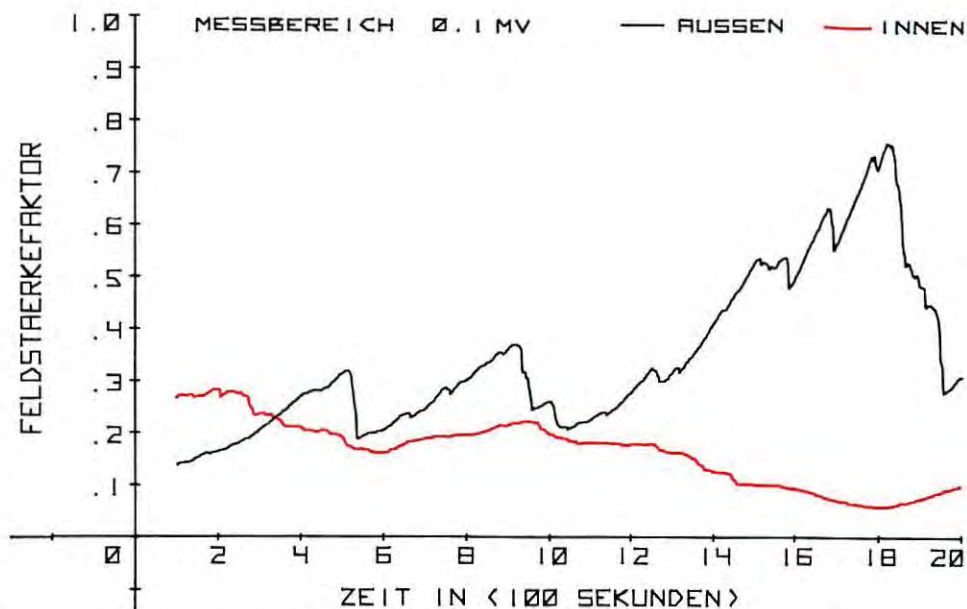


Bild 12 Elektromagnetisches Feld bei 8 Hz im Freien und im nicht genutzten Innenraum mit Bauteilen aus Holz in schwacher Besiedlung (ländliche Gegend)

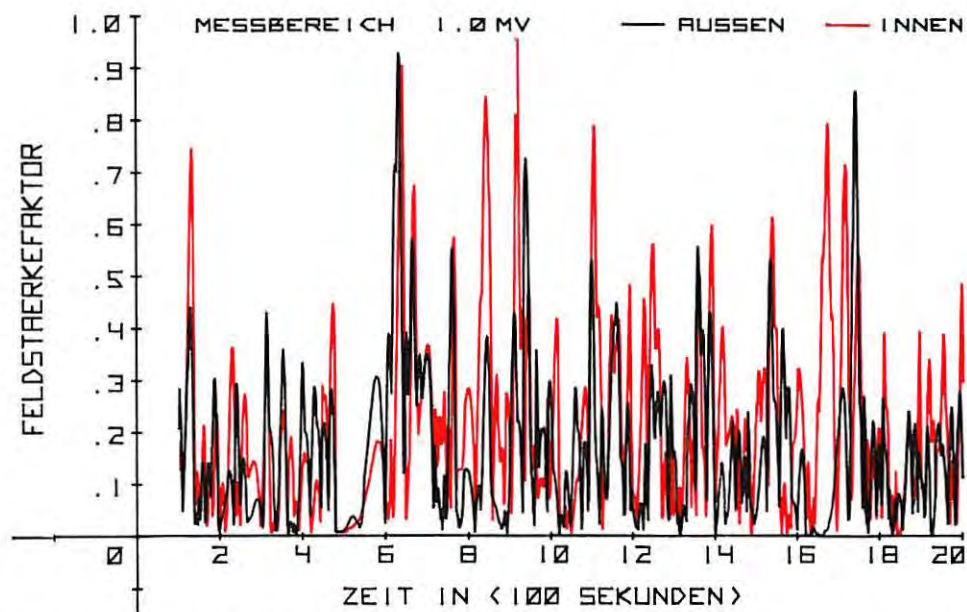


Bild 13 Elektromagnetisches Feld bei 8 Hz im Freien und im normal genutzten Innenraum mit Bauteilen aus Mauerziegel in dichter Besiedlung (Großstadt)

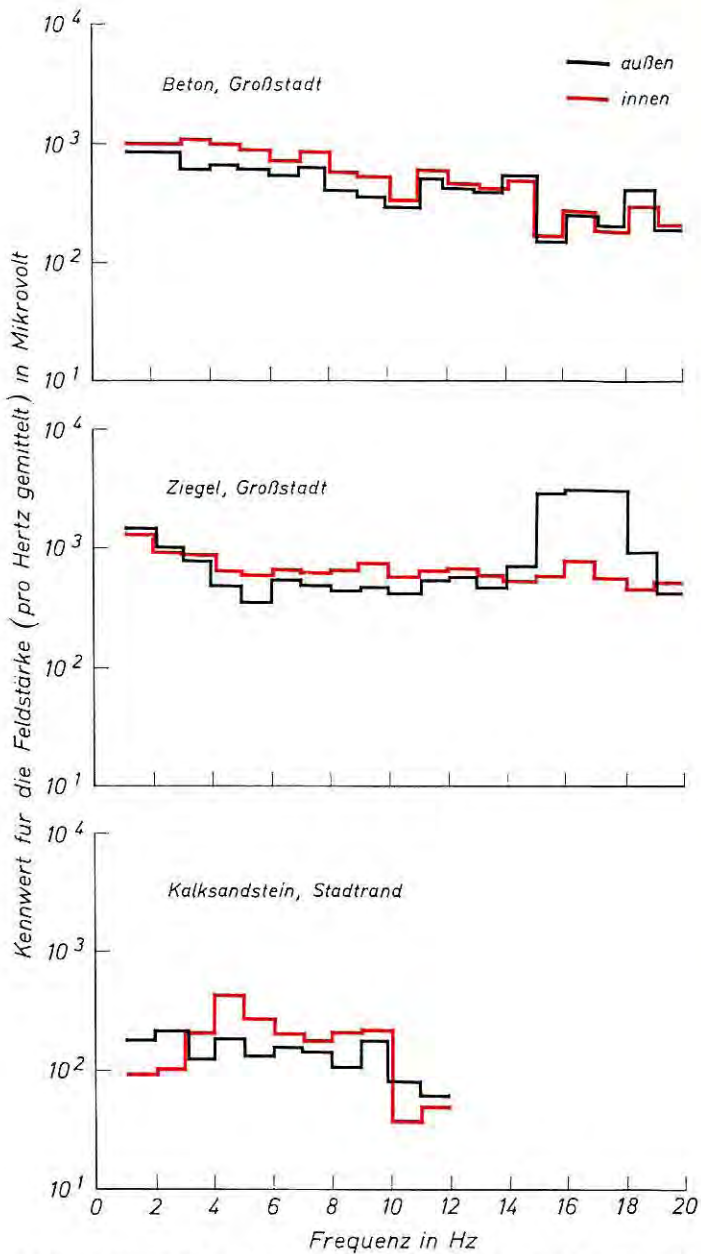


Bild 14 Kennwert für die Feldstärke elektromagnetischer Felder bis 20 Hz im Freien und in normal genutzten Innenräumen mit Bauteilen aus bewehrtem Beton, Mauerziegel bzw. Kalksandstein während 8 Stunden

zur Holzscheune des Bildes 11 einen Stromanschluß, der in den Innenraum führte. Die Messungen wurden am Nachmittag eines heiteren, trockenen Tages mit leichter Bewölkung im Juli 1975 durchgeführt. Dem Feldstärkefaktor 1,0 entspricht ein Meßbereich von 0,1 mV. Während der Meßzeit von 2000 s änderte sich das Innenfeld nur wenig, das Außenfeld etwas stärker. — Bild 13 zeigt als Beispiel die Änderung des Innen- und Außenfeldes eines normal genutzten Wohnraumes eines mehrgeschossigen Hauses mit Ziegelwänden in einer Großstadt bei 8 Hz. Die Messung wurde am frühen Nachmittag eines Tages im Mai 1975 bei heiterem, schwach windigem Wetter durchgeführt. Dem Feldstärkefaktor 1,0 entspricht ein Meßbereich von 1,0 mV. Wie aus Bild 13 zu ersehen ist, ändert sich die Stärke des Innen- und Außenfeldes bei 8 Hz in einer Großstadt während einer Meßzeit von 2000 s sehr stark. Zwischen Innen- und Außenfeld konnte ein nennenswerter Unterschied nicht festgestellt werden.

Da die über einen größeren Zeitraum gewonnenen Meßergebnisse der elektromagnetischen Felder wegen ihres Ausmaßes als Originalaufzeichnungen hier nicht wiedergegeben werden können, wurde in Bild 14 versucht, Meßergebnisse eines größeren Zeitraumes in eine überschaubare Gesamtdarstellung zu bringen. Einbezogen wurden die an einem Tag über 8 Stunden für das Gebäude aus bewehrtem Beton und für das Gebäude aus Mauerziegel in einem Gebiet mit dichter Besiedlung und für das Kalksandsteinhaus in einem Gebiet mit mittlerer Besiedlungsdichte bei normaler Nutzung gewonnenen Meßergebnisse. Dabei wurden jeweils für ein Frequenzintervall von 1 Hz die Flächen unter den Kurven der Feldstärke ermittelt, addiert und die Summe durch die Anzahl der Messungen dividiert. Die Darstellung verdeutlicht, daß die Feldstärke der elektromagnetischen Außenfelder und die der entsprechenden Innenfelder normal genutzter Räume, auch über einen größeren Zeitraum, von gleicher Größenordnung sind.

6. Zusammenfassung

Aufgrund des Standes der Erkenntnisse und der vom Forschungsinstitut der Zementindustrie durchgeführten Untersuchungen über luftelektrische Felder in umbauten Räumen und im Freien kann folgendes festgestellt werden:

6.1. Bis heute ist nicht geklärt, ob und, wenn ja, unter welchen Voraussetzungen und in welchem Maße das Befinden von Mensch und Tier durch bestimmte luftelektrische Felder eindeutig und auf Dauer beeinflusst wird.

6.2. Elektrostatische Felder der Außenluft werden von Bauteilen aus Baustoffen wie Glas, Holz, Mauerziegel, Kalksandstein und bewehrtem Beton in gleicher Weise abgeschirmt. Trotz dieser Abschirmung sind in normal genutzten Innenräumen elektrostatische Felder und Feldschwankungen vorhanden, die durch Menschen und Einrichtungen in den Räumen verursacht werden und die eine größere Feldstärke als die Felder der Außenluft aufweisen können.

6.3. Auch Luftionen der Außenluft werden von Bauteilen aus allen Baustoffen abgeschirmt. Dennoch sind in normal genutzten Innenräumen in der Regel positive und negative Luftionen vorhanden, deren Konzentration größer als die Luftionenkonzentration im Freien bei Schönwetter sein kann. Sie können durch Raumöffnungen hineingetragen oder in den Räumen, z. B. durch Strahlung, Verbrennungsvorgänge oder Verdampfungsvorgänge, erzeugt werden.

6.4. Elektromagnetische Felder mit Eigen- oder Folgefrequenzen bis zu 20 Hz, denen aus biologischer Sicht teilweise eine wichtige Funktion zugeschrieben wird, können natürlichen und technischen Ursprungs sein. In dicht besiedelten Gebieten sind sie, auch im Freien, überwiegend technischen Ursprungs und weisen große Feldschwankungen und größere Feldstärken auf als in ländlichen Gebieten. In normal genutzten Innenräumen mit Bauteilen aus Beton, Mauerziegel, Kalksandstein oder Holz und parallel dazu in der Nähe dieser Gebäude im Freien wurden in gleicher Gegend elektromagnetische Felder gleicher Art und Feldstärke gemessen. Bei Messungen in Innenräumen ohne Nutzung und Stromanschluß wurde praktisch eine gleiche Dämpfung dieser elektromagnetischen Felder durch Holz-, Mauerziegel-, Kalksandstein- und Betonbauteile festgestellt.

SCHRIFTTUM

- [1] Israel, H., und H. W. Kasemir: Über die Schirmwirkung von Gebäuden auf die Schwankungen des atmosphärisch-elektrischen Feldes. *Annales de Géophysique* 7 (1951) S. 63/68.
- [2] Frey, W.: Die Ionisation in geschlossenen Räumen. *Schweizerische medizinische Wochenzeitschrift* 82 (1952) S. 994/996.
- [3] Reiter, R.: *Meteorologie und Elektrizität der Atmosphäre*. Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig, Leipzig 1960.
- [4] Reiter, R.: Grundgedanken zum Problem Lufterlektrizität und Raumklima. *Klima-Kälte-Ing.* 3 (1974) S. 149/152.
- [5] Altmann, G.: Die physiologische Wirkung elektrischer Felder auf Organismen. *Arch. Meteor. Geoph. Biokl., Ser. B*, 17 (1969) S. 269/290.
- [6] Fischer, G.: Die bioklimatologische Bedeutung des elektrostatistischen Gleichfeldes. *Zbl. Bakt. Hyg., 1. Abt., Orig., Reihe B*, 157 (1973) S. 115/130.
- [7] Zahner, R.: Zur Wirkung des elektrischen Feldes auf das Verhalten des Goldhamsters (*Mesocricetus Auratus Waterhouse*). *Zeitschr. vergl. Physiologie* 49 (1964) S. 172/190.
- [8] Schuà, L.: Die Fluchtreaktion von Goldhamstern aus elektrischen Feldern. *Die Naturwissenschaften* 40 (1953) S. 514.
- [9] Lang, S.: Stoffwechselphysiologische Auswirkungen der Faradayschen Abschirmung und eines künstlichen lufterlektrischen Feldes der Frequenz 10 Hz auf weiÙe Mäuse. *Arch. Meteor. Geoph. Biokl., Ser. B*, 20 (1972) S. 109/122.
- [10] Umschau-Nachrichten. Experimentelle Heliobiologie. *Umschau* 15 (1975) S. 480/481.

- [11] Ranscht-Froemsdorff, W. R.: Die Meteoropathie – Forschung und Therapiemöglichkeit. Veröffentl. Meteor. Ges., München, 5 (1974) S. 13/26.
- [12] Mühleisen, R.: Zur Methodik der lufterlektrischen Potentialmessungen. – Einfluß des Windes bei radioaktiven Kollektoren. Zeitschr. Naturforschung 6 a (1951) S. 667/671.
- [13] Clayton, M. D., et al.: Absolute Calibration of Antennas at Extremely Low Frequencies. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 21 (1973) S. 514/523.
- [14] Ogawa, T., et al.: Observations of Natural ELF and VLF Elektromagnetic Noises by Using Ball Antennas, Journ. Geomagn. and Geoelectr. 18 (1966) S. 443/454.
- [15] Hughes, H. G.: Power Spectral Analyses of Modulated Earth-Ionosphere Cavity Resonances. Journ. Geophys. Res. 69 (1964) S. 4709/4712.
- [16] Watt, A. D.: VLF Radio-Engineering, 1. Auflage, Pergamon Press 1967.