

Die Schwankungen des elektrischen Feldes in der Atmosphäre und ihre Bedeutung für die Meteoropathologie

Von P. COURVOISIER¹, Davos

A. Das Problem der Meteoropathologie

Das Problem der Meteoropathologie ist seit langem Gegenstand des Studiums gewesen. So hat für die Föhnkrankheit, die als eine der auffälligsten Erscheinungen meist im Vordergrund des Interesses stand, C. T. ZOLLIKOFER² bereits im Jahre 1819 im Gründungsprogramm der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft St. Gallen die Frage zur Erforschung empfohlen, «welchen Einfluß der mit dem Namen Föhn belegte Südwind auf den menschlichen gesunden und kranken Körper» habe. Viele Theorien zur Erklärung der Erscheinungen der Wetterfähigkeit sind im Laufe der Zeit aufgestellt worden, doch konnte bisher keine eine Lösung bringen. H. v. FICKER und B. DE RUDDER³ gaben 1943 in einer Monographie über «Föhn und Föhnwirkungen» einen Überblick über diese Theorien und kamen zum Schluß, daß nurmehr die Wirkung von Luftdruckschwankungen mit Frequenzen unterhalb des akustischen Bereiches zur Erklärung wenigstens der Föhnkrankheit herangezogen werden könne.

In einer früheren Arbeit des Verfassers⁴ ist nun auf Grund der bisherigen Kenntnisse über atmosphärische Luftdruckschwankungen ein Spektrum dieser Schwankungen gezeichnet worden, aus dem in einer folgenden Arbeit⁵ die Konsequenzen für jene Erklärung der Wetterfähigkeit gezogen wurden, die eine direkte Beeinflussung des Befindens durch Schwankungen des Luftdruckes annimmt, wobei das Ohr als Rezeptor angesehen wird. Das Ergebnis dieser Betrachtungen war so, daß wenig Hoffnung mehr besteht, die Druckschwankungen für die Auslösung der Wetterfähigkeitssymptome verantwortlich machen zu können.

Nach diesem überwiegend negativen Ergebnis bei den Luftdruckschwankungen und nachdem durch C. DORNO⁶ und besonders durch M. CURRY⁷ neuerdings auf das Ozon als möglichen Wirkungsfaktor hingewiesen worden ist, besteht nun die Gefahr, daß die stän-

digen Standpunktwechsel in der Wetterfähigkeitsforschung das ganze Untersuchungsgebiet diskreditieren und daß weitere Arbeiten auf diesem auch für mancherlei Sektoren praktischer menschlicher Tätigkeit wichtigen Forschungsfeld als hoffnungslos unterlassen werden. Um dieser Gefahr zu begegnen, ist die Tätigkeit am Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos in der letzten Zeit vorwiegend darauf gerichtet gewesen, die Bedeutung wichtiger allgemeiner Erfahrungssätze zu unterstreichen, die bei der Aufstellung einer Wetterfähigkeitstheorie Beachtung finden müssen, und andererseits geophysikalische und meteorologische Kenntnisse in solcher Form darzubieten, daß sie zu einer Präzisierung der verschiedenen Standpunkte und damit zu einer besseren Übersicht über die Betrachtungsmöglichkeiten beitragen können, die beim Problem der Wetterfähigkeit bis jetzt erkennbar sind. Diesem letzteren Zweck sollen auch die folgenden Überlegungen dienen, für die zwei leitende Gesichtspunkte in den Vordergrund gestellt werden können: die oft beschriebene Tatsache des Vorfühlens eines kommenden Wetterereignisses und die neuerdings stärker betonte Erfahrung, daß der Aufenthalt in Häusern im allgemeinen keinen merkbaren Schutz gegen die Wetterbeeinflussung bietet.

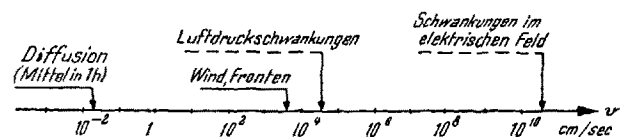


Abb. 1. Spektrum der Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Schwingungsvorgängen in der Atmosphäre.

Frägt man nun im Hinblick auf den ersteren Gesichtspunkt nach der Ausbreitungsgeschwindigkeit, mit der die an einem Ort herrschenden meteorologischen Zustände in Nachbarräume übergreifen können, so findet man ein Geschwindigkeitsspektrum beträchtlichen Umfanges (Abb. 1), auf das C. DORNO¹ in ähnlichem Zusammenhang schon einmal hingewiesen hat. Am langsamsten breiten sich die Änderungen im molekularen Zustand aus, worunter wir Änderungen im Gehalt der Luft an chemischen Beimengungen, an Staub, Ionen usw., aber auch die Schwankungen des

¹ Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos.

² C. T. ZOLLIKOFER, Anz. allg. Schweiz. Ges. ges. Naturwiss. (Aarau) 1820, Nr. 9, S. 75.

³ H. v. FICKER und B. DE RUDDER, Föhn und Föhnwirkungen (Akad. Verlagsges., Leipzig 1943).

⁴ P. COURVOISIER, Arch. Met. Geoph. Biokl. [A] 1, 1 (1948).

⁵ P. COURVOISIER, Arch. Met. Geoph. Biokl. [B] 1, 115 (1949).

⁶ C. DORNO, Meteorol. Z. 59, 206 (1942).

⁷ M. CURRY, Bioklimatik (Riederau 1946).

¹ C. DORNO, Strahlentherapie 42, 87 (1931).

Wassergehaltes und der Temperatur verstehen wollen; ihre Ausbreitung erfolgt ohne die Mithilfe makrodynamischer Vorgänge nur mit Diffusionsgeschwindigkeiten¹. Diese Ausbreitungsart wird von den in der Atmosphäre auftretenden Bewegungsvorgängen mehr oder weniger großer Luftvolumina gewaltig übertroffen (Windgeschwindigkeiten bis zu rund 40 m/s), was sich besonders in der Entstehung der bekannten meteorologischen Fronten äußert, da die Diffusion die Verschiedenheiten im molekularen Zustand der mit Windgeschwindigkeit aneinander vorbeigeführten Luftkörper nicht ausgleichen kann; dies ist auch die Ursache für die aus der Mikroklimatologie bekannten kurzperiodigen Schwankungserscheinungen der meteorologischen Elemente. Auch die Turbulenz, eine Besonderheit der hydrodynamischen Bewegungsvorgänge, reicht zum völligen Ausgleich nicht aus, da die Geschwindigkeiten der einzelnen Turbulenzelemente die Grundgeschwindigkeit des Hauptvolumens jedenfalls nicht in der Größenordnung übertreffen. Die Wanderungsgeschwindigkeit der Fronten wird demnach höchstens die maximalen Windgeschwindigkeiten erreichen können. Wieder eine Größenordnung größer ist die Schallgeschwindigkeit in Luft, die den Maximalwert darstellt, den die Ausbreitungsgeschwindigkeit mechanischer Schwingungsvorgänge in der Atmosphäre annehmen kann (Explosionswellen können außer Betracht bleiben). Die größten Ausbreitungsgeschwindigkeiten erreichen endlich die elektrischen Feldschwankungen, für die die Lichtgeschwindigkeit Maximalwert ist.

Betrachtet man dieses Geschwindigkeitsspektrum, so wird man zur Erklärung der oft beträchtlich vor dem Eintreffen des sie auslösenden Wetterereignisses auftretenden Wetterfähigkeitssymptome zunächst Luftdruckschwankungen oder Schwankungen des elektrischen Feldes annehmen, die allein sich von einer Wetterfront (oder einer Inversionsschicht in der Atmosphäre) lösen können, da ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit größer sein kann als die der Front, sofern die Frequenz der Schwankung oberhalb gewisser Minimalwerte liegt.

¹ Eine allgemeine Definition für die Geschwindigkeit der Diffusion gibt es nicht, man hat auch im einfachsten Fall ein Ausbreitungsgesetz $x^2 = kDt$ (x = Abstand vom Ausgangspunkt; t = Zeit; D = Diffusionskonstante; $k \approx 1$, abhängig von den geometrischen Bedingungen der Ausbreitung). Nimmt man als Zeiteinheit für Wetterfähigkeitsuntersuchungen 1 h, so bekommt man für die Diffusion in Gasen die maximale mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit $2 \cdot 10^{-2}$ cm/s während dieser Zeit; man kann dabei jedoch nicht erwarten, daß ein betrachtetes Teilchen in jeder Sekunde um $2 \cdot 10^{-2}$ cm in Richtung auf den Endort, den es nach 1 h einnimmt, vorgerückt ist (vgl. zur Diffusion zum Beispiel R. W. POHL², S. 291 ff.).

Die Wahl der Stunde als Zeiteinheit soll dabei nicht andeuten, daß die Ausbildung einer Wetterfähigkeitsumstimmung im Organismus eine Stunde benötigt, sondern eher, daß man sich als Arzt oder als Patient in Zeitabständen von der Größenordnung etwa einer Stunde von stattgefundenen Veränderungen des Befindens Rechenschaft ablegen wird.

² R. W. POHL, *Mechanik, Akustik und Wärmelehre* (Springer, Berlin 1942).

Alle andern Standpunkte zur Erklärung der Wetterfähigkeiterscheinungen müssen bei dem heutigen Stande unserer Kenntnisse von der Atmosphäre Veränderungen der Konzentrationen von Stoffen in der Luft annehmen, bei denen die Erfassung der beiden Erscheinungen der Vorfühlbarkeit und des Eindringens der Wirkung in Häuser zunächst gerade wegen der geringen Ausbreitungsgeschwindigkeiten beträchtliche Schwierigkeiten bereiten. Zur Überwindung dieser Schwierigkeiten müssen stets noch Vorgänge in der Atmosphäre gesucht werden, die beide Erscheinungen ermöglichen. So stützt sich zum Beispiel eine dieser Wetterfähigkeitstheorien auf die verstärkte Bodenatmung (Austritt von Radiumemanation), die als Folgeerscheinung der einem Wetterereignis voreilenden Luftdruckänderungen auftritt. Hier spielt also ein Vorgang mit hoher Ausbreitungsgeschwindigkeit eine Hilfsrolle für die Erklärung der Vorfühlbarkeit des einen der von uns benützten leitenden Gesichtspunkte; diese Hilfsrolle wäre in ihrer Bedeutung allerdings noch quantitativ zu präzisieren. In bezug auf den anderen Gesichtspunkt, das Eindringen der Wirkung in Häuser, auch wenn Fenster und Türen «geschlossen» sind, könnten die Luftdruckschwankungen erneut eine Hilfsrolle spielen, damit ihrer Hilfeschon durch eine Fensterspalte hindurch eine gewisse Ventilation der Zimmer stattfindet. Quantitative Angaben über die Geschwindigkeit, mit der die Konzentration von Spurenstoffen sich in geschlossenen Zimmern ändert, können wenigstens der Größenordnung nach abgeleitet werden (P. COURVOISIER¹). Verzögerungen und Abschwächungen der Konzentrationsschwankungen werden bei Schwankungsperioden der Ordnung 1 h merklich, die Abschwächungen erreichen unter mittleren Verhältnissen bei Perioden der Ordnung 10 min die Größe 1:10, bei der eine Schutzwirkung zumindest beginnen dürfte.

Die Analyse des Luftaustausches zwischen Innenräumen und Freiem zeigte aber, daß der mittleren Geschwindigkeit eines die Gebäude umströmenden Windes eine weit größere Bedeutung zukommt als den Luftdruckschwankungen aller Arten.

Bei den Schwankungen des Luftdruckes oder des elektrischen Feldes macht die Erklärung der Vorfühlbarkeit meist keine Schwierigkeiten, wie schon oben betont worden ist. Das Eindringen dieser Wirkungen ins Haus bedarf jedoch ebenfalls gesonderter Betrachtungen. Über die bei den Luftdruckschwankungen herrschenden Verhältnisse ist in den oben zitierten Arbeiten des Verfassers^{1,2} eingehend berichtet worden; das Bild dieser Schwankungen zeigt zwischen verschiedenen Wetterlagen starke und charakteristische Variationen in gewissen Frequenzgebieten, doch scheint es kaum möglich, daß diese Variationen am Zustande-

¹ P. COURVOISIER, Arch. Met. Geoph. Biokl. [B] 2 61 (1950).

² P. COURVOISIER, Arch. Met. Geoph. Biokl. [A] 1, 1 (1948); Arch. [B] 1, 115 (1949).

kommen der Wetterfähigkeit beteiligt sind, wenigstens solange man eine direkte Wirkung der Luftdruckschwankungen betrachtet und dabei das Ohr als Eingangspforte der Wetterbeeinflussung ansieht. Die Tatsache, daß einerseits nur bis herunter zu Schwingungsfrequenzen von rund 0,1 Hz mit einer hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Luftdruckschwankungen und zugleich mit einer leichten Erklärbarkeit der Vorführbarkeit gerechnet werden darf (vgl. ¹), während andererseits nur Schwankungen unterhalb rund 10 Hz ungeschwächt in Gebäude eindringen können (vgl. ²), unterstreicht die Bedeutung des Subschallgebietes für die Versuche zur Erklärung der Wetterfähigkeit auf Grund von Luftdruckschwankungen und gleichzeitig die Bedeutung des Ohres als Rezeptor in diesem Gebiet. Die Möglichkeiten der Wetterbeeinflussung des Organismus durch Luftdruckschwankungen sind dadurch noch geringer geworden. Durch das Zeichnen jener Spektren der Luftdruckschwankungen ist aber jedenfalls eine präzisere Grundlage zur Betrachtung dieser Möglichkeiten erreicht; sollten einmal andere Druckrezeptoren als das Ohr angenommen werden, so muß sich auch deren Wirksamkeit innerhalb des Spektrums der Luftdruckschwankungen diskutieren lassen.

B. Die Schwankungen des elektrischen Feldes

Schwankungen des elektrischen Feldes der Atmosphäre, die nun zu betrachten wären, sind früher vielfach als Ursache der Wetterfähigkeit angesehen worden, doch hat man diese Vorstellung verlassen, nachdem sich bei den umfangreichen Messungen des statischen Potentialgradienten gezeigt hatte, daß in Gebäuden dieser Gradient sowie seine Schwankungen fehlen, während Gebäude nach allgemeinen Erfahrungen keinen Schutz gegen Wetterbeeinflussung darstellen.

Man darf dieser Argumentation gegenüber einwenden, daß die Abkehr von der Betrachtung der Schwankungen des atmosphärischen elektrischen Feldes als Ursache der Wetterfähigkeit nur einer zu engen Fassung der Begriffe Feld und Feldschwankung zuzuschreiben ist (vgl. H. ISRAËL³). In völliger Analogie zu den bei den Luftdruckschwankungen herrschenden Verhältnissen kann auch für die Schwankungen des elektrischen Feldes in der Atmosphäre ein Spektrum gezeichnet werden, dessen Aussehen die Abbildung 2 in seinen wesentlichen Zügen wiedergibt; denn auch die einzelnen Schwankungen des elektrischen Feldes können, wie jede Schwankung überhaupt, durch je einen Amplituden- und einen Frequenzwert charakterisiert werden. Als Abszissen sind für dieses Spektrum die Frequenzen der Feldschwankungen gewählt, als

Ordinaten ihre Amplituden, also die Maximalbeträge der beobachteten Änderungen der Feldstärke ohne Rücksicht auf das Vorzeichen der Änderung; ebenso wenig ist auf den Vektorcharakter der Feldstärke Rücksicht genommen, die eingezeichneten Amplitudenwerte sind also Absolutbeträge. Einer in irgendeiner Weise beobachteten Feldstärkenschwankung entspricht nun in Abbildung 2 ein Punkt als Bild, wobei für nichtperiodische Feldschwankungen sich der durch Registrierung gewonnene Verlauf wenigstens aus einem oder mehreren Bogenstücken von der ungefähren Form einer halben Sinusschwingung zusammensetzen läßt (Abb. 3), so daß die Bildpunkte dieser Sinusschwingungen miteinander zumindest eine Charakterisierung der abgelaufenen Feldschwankung abgeben können. Für weitere Einzelheiten dieses Darstellungsverfahrens vergleiche man P. COURVOISIER¹ (S. 14 ff.).

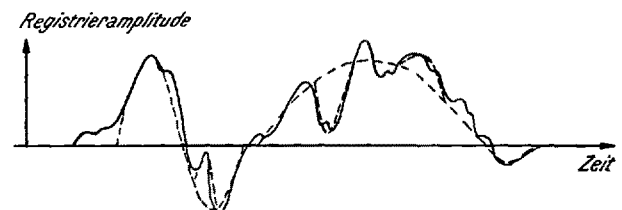


Abb. 3. Auswertung der Registrierkurven.

Dieses Verfahren betrachtet Vorgänge, die auf der in irgendeiner Weise gewonnenen Registrierung des Schwankungsverlaufes ein Kurvenstück von der ungefähren Form einer halben Sinuskurve zum Abbild haben, als Elementarvorgänge der Störung des elektrischen Feldes in der Atmosphäre. Für jede Registrierung, die ja stets nur einen gewissen Frequenzbereich erfassen kann, ist dann als ungestörter Zustand dieses Feldes jener anzusehen, der nur mehr Schwankungen mit Frequenzen aufweist, die klein sind gegen die niedrigsten von der Registrierung erfaßten Frequenzen. Die Betrachtung der Abbildung 2 lehrt nun, daß allgemein als ungestörter Zustand des elektrischen Feldes in der Atmosphäre nur ein mittlerer Zustand betrachtet werden kann, der durch Bildung der Mittel von Messungen des Potentialgradienten über den Zeitraum von vielen Jahrzehnten zu finden wäre. Durch Angabe dieses mittleren Zustandes und durch Angabe des Momentanpegels der Störungen, der durch die Verbindungslinie der Bildpunkte aller zum Zeitpunkt der Beobachtung ablaufenden Störungen in Abbildung 2 gegeben ist, wird dann der Momentanzustand des atmosphärisch-elektrischen Feldes gekennzeichnet. Dabei ist ähnlich wie bei den Luftdruckschwankungen zu fordern, daß zu allen Zeiten bei allen Frequenzen Störungen vorhanden sind, wenn auch ihre Amplituden zum Teil möglicherweise sehr klein sind; der Momentanpegel ist also eine ununterbrochene Kurve im Spektrum.

¹ P. COURVOISIER, Arch. Met. Geoph. Bick. [B] 1, 115 (1949).

² Id. [B] 2, 161 (1950).

³ H. ISRAËL, Gerlands Beitr. Geoph. 55, 314 (1939).

¹ P. COURVOISIER, Arch. Met. Geoph. Biokl. [A] 1, 1 (1948).

Die Legende der Abbildung 2 gibt über die in das Spektrum eingetragenen Beobachtungen Auskunft; es ist dabei in keiner Richtung auf Vollständigkeit Wert gelegt, da es zunächst nur darum geht, in großen

Zügen die Gegebenheiten abzustecken, innerhalb deren eine Diskussion der Möglichkeiten zur Erklärung der Wetterfähigkeit geführt werden kann. Die Eintragungen in das Spektrum sollen also nur als Beispiele

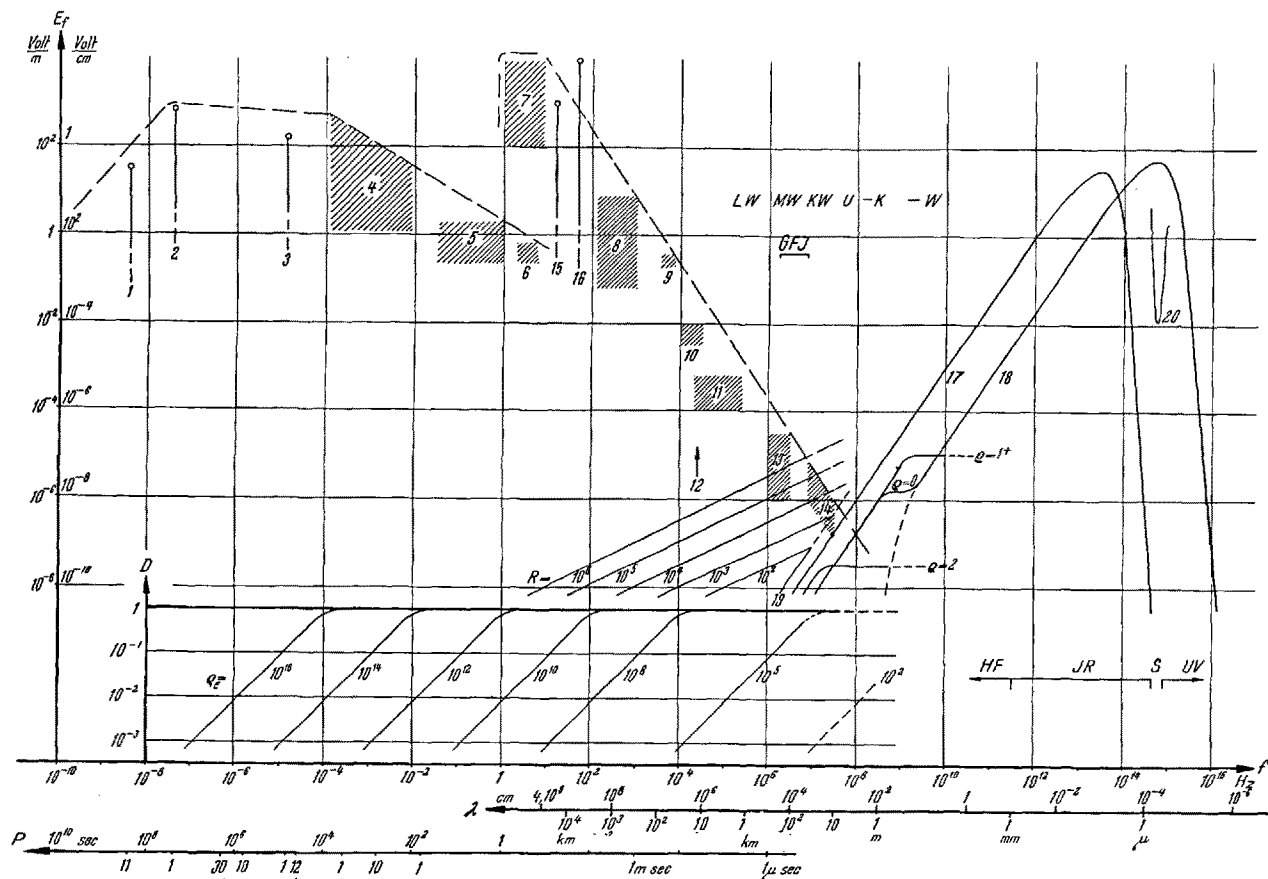


Abb. 2. Spektrum der Schwankungen der elektrischen Feldstärke E_f in der Atmosphäre bei den Frequenzen f und im Bereich $df = 0,01 f$.

- 1 11jährige Periode in den Registrierungen des Potentialgradienten nach BAUER¹.
- 2 Jahresgang des Potentialgradienten nach BENNDORF².
- 3 Tagesgang des Potentialgradienten nach BENNDORF².
- 4 «Unruhe» in den Registrierungen des Potentialgradienten nach ISRAËL³.
- 5 Feldvariographische Registrierungen von ISRAËL⁴.
- 6 Feldvariographische Registrierungen von ISRAËL³.
- 7 Feldstärken bei Blitzentladungen nach WICHMANN⁵.
- 8 «Atmospherics» nach APPLETON, WATTS und HERD⁶.
- 9 «Atmospherics» nach NORINDER und NORDELL⁷.
- 10 «Atmospherics» nach CAIRNS⁸.
- 11 «Atmospherics» nach AUSTIN⁹.
- 12 Gebiet der Beobachtungen von BUREAU¹⁰ und von LUGEON¹¹.

13 «Atmospherics» nach BÄUMLER¹².

14 «Atmospherics» nach POTTER¹³.

15 Feldstärken der $16\frac{2}{3}$ -Hz-Wechselstromnetze.

16 Feldstärken der 50-Hz-Wechselstromnetze.

17 Maximalfeldstärken der schwarzen Strahlung bei 300° K (Zimmertemperatur).

18 Maximalfeldstärken der Sonnenstrahlung (ohne Absorption durch die Atmosphäre) und Feldstärken der R_{K^0} -Komponente der radiofrequenten Koronastrahlung nach WALDMEIER¹⁴.

19 Rauschfeldstärken einer Vertikalantenne von 7,5 m effektiver Höhe und scheinbare Mindestfeldstärken bei Ankopplung eines Verstärkers mit ohmschem Eingangswiderstand R in Ohm an diese Antenne.

20 Empfindlichkeitskurve des helladaptierten Auges.

LW, MW, KW, UKW Frequenzgebiete der Lang-, Mittel-, Kurz- und Ultrakurzwellen der Hochfrequenztechnik; GFI Grenzfrequenzen der Reflexion der Ionosphäre; HF Hochfrequenzgebiet; IR Infrarot-Gebiet; UV Ultraviolett-Gebiet; S Gebiet der sichtbaren Strahlung; D Durchlässigkeitskurven für das Hausmodell nach Formel (7) für Feldschwankungen verschiedener Frequenzen bei verschiedenen Werten des spez. Baumaterialwiderstandes ϱ_E ; λ Wellenlänge elektromagnetischer Strahlungen, entsprechend λf ; c Lichtgeschwindigkeit; P Periodenlänge $1/f$.

¹ L. A. BAUER, nach H. BENNDORF², S. 283.

² H. BENNDORF, Handb. Experphys. 25, 257 (1928).

³ H. ISRAËL, Gerlands Beitr. Geoph. 55, 314 (1939).

⁴ H. ISRAËL, Meteorol. Z. 60, 56 (1943).

⁵ H. WICHMANN, Gerlands Beitr. Geoph. 59, 32, 42 (1943).

⁶ E. V. APPLETON, R. A. WATSON WATT und J. F. HERD, Proc. Roy. Soc. A 103, 84 (1923); 111, 615, 654 (1926).

⁷ H. NORINDER und R. NORDELL, Elektro-Nachr.-Techn. 12, 305 (1935).

⁸ J. E. CAIRNS, Proc. Inst. Rad. Engrs. 15, 985 (1927).

⁹ L. W. AUSTIN, Bull. Bur. Standards 1925–1930.

¹⁰ R. BUREAU, Mém. Off. Nat. Météorol. France 1936, Nr. 25.

¹¹ J. LUGEON und G. NOBILE, Ann. Meteorol. Zentralanst. Zürich 1938, Nr. 9.

¹² M. BÄUMLER, Elektro-Nachr.-Techn. 5, 473 (1928).

¹³ R. K. POTTER, Proc. Inst. Rad. Engrs. 19, 1731 (1931).

¹⁴ M. WALDMEIER, Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 93, 122 (1948); Exper. 4, 64 (1948).

dienen, um eine ungefähre Lage der häufigsten Störungen anzugeben; so sind zum Beispiel die Feldstärkeschwankungen, die von Blitzentladungen in größter Nähe herrühren, außer acht gelassen, und auf den Versuch zur Eintragung von Feldstärken der Rundfunksender ist verzichtet worden, da es sich hier um künstliche Vorgänge handelt. Bei einer Reihe von Veröffentlichungen über atmosphärisch-elektrische Erscheinungen fehlen leider Angaben, die eine Feststellung der beobachteten Feldstärken ermöglichen würden.

Es ist nun zu erwarten, daß auch in diesem Spektrum atmosphärische Erscheinungen mit einheitlicher physikalischer Ursache zu zusammenhängenden Bändern von Bildpunkten Veranlassung geben, während nicht-atmosphärisch verursachte Feldschwankungen von der Art der Sonnenfleckperiode im Potentialgradienten (Nr. 1) oder der Felder der Wechselstromnetze (Nr. 15, 16) zwar je nach dem Beobachtungsort verschiedene Amplituden bei festen Frequenzen haben, aber sonst keinen Zusammenhang untereinander. In der Tat zeichnen sich in der Abbildung 2 zunächst zwei große Bänder von Störungen des elektrischen Feldes ab; bei Frequenzen unterhalb etwa 10^8 Hz ein zweiteiliges Band von Störungen, das in bezug auf die Höhe des Störpegels den Erfahrungen nach stark vom Zustand der Atmosphäre abhängt und das in irgendeiner Weise von gleichsinnigen Verschiebungen vieler Elementarladungen erzeugt sein muß; bei Frequenzen oberhalb von 10^8 Hz dagegen überwiegt ein Band von Feldschwankungen, die von den durch die Quantentheorie beschriebenen elektromagnetischen Strahlungen herrühren, die, wenn auch hier in Form der makrophysikalisch erscheinenden Strahlung des schwarzen Körpers eingetragen, nur auf atomistischer Grundlage zu verstehen sind. Das Überschneidungsgebiet beider Bänder bei 10^7 bis 10^8 Hz bekommt demnach eine eigenartige Bedeutung¹.

1. Das Maxwell-Hertz'sche und das statische Band

Das relativ niederfrequente Band, in dem die Höhe des Störpegels der Feldstärkeschwankungen den Erfahrungen nach je nach Wetterlage innerhalb eines Bereiches von etwa 2 Zehnerpotenzen variiert, ist in Abbildung 2 durch eine roh gezeichnete Enveloppe abgeschlossen, die besonders im Gebiet bei 1 Hz noch unsicher ist. Die hier liegende Sprungstelle ist nach Angaben von H. WICHMANN³ gezeichnet, der für die langsamsten Änderungen des Feldes bei Blitzentladun-

gen Ablaufzeiten in der Größenordnung 1 s gefunden hat. Demgegenüber sind die Schwankungen unterhalb der Sprungstelle den Beobachtungen des «ungestörten» Schönwetterfeldes von H. ISRAËL¹ entnommen, beruhen also jedenfalls nicht auf Blitzentladungen in größerer Nähe. Der Zusammenhang der ersteren Erscheinungen mit den als «atmospherics» oder «Parasiten» bezeichneten Effekten im Hochfrequenzgebiet läßt das Teilband oberhalb 1 Hz als gewittrigen Ursprungs erkennen, während das Teilband unterhalb 1 Hz Zusammenhang mit dem Tages- und Jahresgang des Potentialgradienten und daher auch mit den weltweiten Strömungsvorgängen elektrischer Ladungen verrät.

Es kann kein Zweifel sein, daß die angegebene Form und Lage des Sprunges in der Enveloppe sehr stark durch die Auswahl der wenigen bisher in diesem Gebiet registrierten und veröffentlichten Kurven wie auch durch apparative Besonderheiten und nicht zuletzt durch die Entfernung der Störherde und die Ausbreitungsbedingungen zwischen Herd und Beobachtungsort beeinflußt sein werden. Nach den dem Verfasser bekannten Unterlagen muß ein solcher Sprung zunächst gezeichnet werden; besonders im Hinblick auf die in den nächsten beiden Abschnitten skizzierten Verhältnisse wäre aber eine eingehendere Erforschung der Schwankungserscheinungen in dem kritischen Frequenzgebiet sehr erwünscht.

Betrachtet man die in Abbildung 2 eingetragene Skala der Frequenzen und jene der Wellenlängen der ihnen zugehörenden elektromagnetischen Wellen, so wird man bei den Störungen mit den niedrigsten Frequenzen in Abbildung 2 kaum annehmen können, daß mit ihnen eine Welle verbunden ist, besonders da sich das elektrische Geschehen in der Atmosphäre zwischen zwei leitenden Flächen (Erdoberfläche und Ionosphäre, Größenordnung des Abstandes 100 km), also in einem Kugelkondensator, abspielt, wenigstens für Frequenzen unterhalb 10^7 Hz, bei denen die Ionosphäre noch reflektiert. Die Ausbreitungsgesetze von Wellen zwischen zwei leitenden Ebenen ändern sich, wenn die Wellenlänge in die Größenordnung des Abstandes der Ebenen kommt², und zwar findet ein Übergang vom Ausbreitungsgesetz $1/r$ für die Feldstärke zum Gesetz $1/r^2$ statt, wobei nurmehr eine Feldrichtung senkrecht zu den leitenden Flächen möglich ist, wie L. BERG-

¹ H. ISRAËL, Gerlands Beitr. Geoph. 55, 314 (1939); Meteorol. Z. 60, 56 (1943).

² Eine ähnliche Überschneidung wiederholt sich bei 10^{11} bis 10^{12} Hz, wo die Abmessungen der Röhren und Schwingungskreise zur künstlichen Herstellung von Schwingungen so klein werden, daß ihre Erzeugung nurmehr mit Intensitäten möglich wäre, die unterhalb der Intensitäten der Temperaturstrahlung liegen (H. KLUMB²). Man wird demnach bei etwa $3 \cdot 10^{11}$ Hz die Grenze zwischen Infrarotstrahlung und technischem Hochfrequenzgebiet ansetzen können.

³ H. KLUMB, Z. Phys. 115, 321 (1940).

⁴ H. WICHMANN, Gerlands Beitr. Geoph. 59, 32, 42 (1943).

² Eine Diskussion zwischen den Herren Dr. W. GERBER und CHR. GLINZ (Generaldirektion PTT, Bern) und dem Verfasser hatte die Frage zum Gegenstand, ob nicht das System Erdoberfläche-Ionosphäre als Wellenleiter zu betrachten sei; Wellen von der Größenordnung des Abstandes beider Flächen und mehr wären dann nicht mehr möglich. Für das Auftreten von Grenzfrequenzen in Wellenleitern ist aber (bei kleinen Permeabilitäten der Wände des Wellenleiters) ein gut leitender Zusammenhang des ganzen Umfanges des Leiterinnenraumes nötig (vgl. W. O. SCHUMANN³, S. 219), der im System Erde-Ionosphäre fehlt.

³ W. O. SCHUMANN, Elektrische Wellen (C. Hanser, München 1948).

MANN und W. DOERFEL¹ rechnerisch und an Modellversuchen gezeigt haben; man kann also gerade für lange Wellen (über 100 km) eine geringe Feldstärkenabnahme bei ihrer Ausbreitung in der Atmosphäre erwarten². Doch ist anzunehmen, daß die längstmögliche Wellenlänge die Größenordnung des Erdumfanges ($4 \cdot 10^9$ cm) nicht wesentlich übersteigen wird, weshalb die Wellenlängenskala hier abgebrochen ist.

Besonders interessant wird diese letzte Feststellung dadurch, daß der Sprung in der Envelope, die das niederfrequente Band der atmosphärischen Störungen in Abbildung 2 umschließt, zunächst in das kritische Wellenlängengebiet gezeichnet werden muß. Zweifellos wird eine genauere Analyse von Registrierungen in diesem Gebiet noch manche Feinheiten zeigen, vielleicht einen Knick in der Envelope im Gebiet der Wellenlängen von 100 km, wo die angedeutete Änderung der Ausbreitungsbedingungen stattfinden wird.

Beschreibt man das niederfrequente Band der Störungen durch die Regel: Amplitude \times (Frequenz)ⁿ = const. mit $n \approx 3/2$ — eine Regel, die erst nach ausreichender Erforschung der Ursachen dieser Art atmosphärisch-elektrischer Störungen und der räumlichen Abnahme der Feldstärken bei ihrer Ausbreitung zum Gesetz werden kann — so wird also oberhalb von 100 km Wellenlänge eine Änderung von n zu erwarten sein.

Das jetzige Aussehen der Envelope des ganzen Bandes legt es jedenfalls schon nahe, bei Störungen mit Frequenzen unterhalb von etwa 10 Hz nur eine rein statisch-influenzierende Beeinflussung der Meßorgane anzunehmen, mit denen die Schwankungen des elektrischen Feldes gemessen werden können³, wobei die Stärke dieser Beeinflussung von der wechselseitigen Kapazität des Meßorgans und der influenzierenden Raumladung abhängt. Entsprechend stimmt hier die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Feldschwankung mit der Wanderungsgeschwindigkeit der sie erzeugenden Raumladung überein. Erst oberhalb von 10 Hz ist eine Abstrahlung mit bis zu Lichtgeschwindigkeit vom

Entstehungsgebiet der Störung aus möglich, also die Entstehung eines Wellenfeldes. Man wird daher das Band der Feldstärkeschwankungen zwischen 1 und 10^8 Hz als *elektrodynamisches* oder *Maxwell-Hertzsches* Band bezeichnen dürfen, während das Teilband unterhalb 10 Hz bis zu beliebig niedrigen Frequenzen als *statisches* Band bezeichnet werden soll¹.

Bei der Klärung der Frage nach der physikalischen Natur der Erscheinungen, die das Maxwell-Hertzsche Band der Störungen hervorrufen, lassen sich vielleicht aus der Betrachtung des Systems Erdoberfläche-Ionosphäre als Hohlraumresonator abgeleitete elektromagnetische Eigenfrequenzen der Gesamtatmosphäre heranziehen, analog ihren mechanischen Eigenschwingungen, über die vom Verfasser² referiert worden ist; dabei könnten von innerhalb oder außerhalb hervorgerufene Schwankungen der Zustände in den Ionosphärenschichten Ursache der Entstehung von Feldschwankungen sein, die durch Resonanz in jenem Hohlraum vielleicht beträchtliche Amplituden bekommen.

Im Gebiet der höchsten Frequenzen des Maxwell-Hertzschen Bandes, bei denen die Ionosphäre schon durchlässig ist, kommen Strahlungen aus gewissen Bereichen des Fixsternhimmels zu uns, vgl. K. G. JANSKY³ und K. FRÄNZ⁴. Auf die Strahlung der Sonnenkorona in diesem Gebiet wird weiter unten eingegangen werden.

Neuerdings wird von MENZEL und SALISBURY⁵ die Existenz auch einer tonfrequenten Sonnenstrahlung behauptet (25 bis 400 Hz), die von den Sonnenflecken ausgehen soll. Wenn die Ionosphäre, wie oben angenommen worden ist, auch bei niedrigen Frequenzen reflektiert, so könnte eine solche tonfrequenten Sonnenstrahlung nicht zum Erdboden gelangen. Doch hätte man hier den mehr oder weniger steilen Einfall von Planwellen, während die Sprungstelle bei 1 Hz im Band der atmosphärisch bedingten Feldschwankungen, die mit der Reflexion der Ionosphäre in Verbindung gebracht wurde, Wellenvorgängen mit wesentlich anderer Form zugehört. Bei ihnen kämen für die Übertragung im Raum Erde-Ionosphäre streifende Reflexionen in Frage, so daß trotz des Mißverhältnisses zwischen Wellenlänge und Ionosphärenhöhe im Frequenzgebiet 1 Hz die oben gemachte allgemeine Aussage, die atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen

¹ L. BERGMANN und W. DOERFEL, Ann. Phys. 13, 409 (1932).

² Die Unbrauchbarkeit solcher Wellen für Signalübermittlungen hat demgegenüber andere Gründe.

³ Die klassische Methode der Luftelektrischen Forschungen, die in Abbildung 2 in das Gebiet der niedrigsten Frequenzen zu verweisen sind, setzte sich die Messung des Potentials gewisser Punkte gegenüber der Erdoberfläche zum Ziel. Dazu wurden Sonden verwendet, die zu sogenannten Kollektoren ausgebaut wurden, um einen raschen Ausgleich ihres Potentials mit dem der Umgebung zu ermöglichen. In späteren Phasen dieser Arbeiten war es das Bestreben, durch Heraussetzen der Leistungsfähigkeit dieser Kollektoren (radioaktive Präparate) und besonders durch Verkleinerung aller Kapazitäten die Einstellzeit der Instrumente zu vermindern. Dieses Verfahren läuft schließlich auf die Konstruktion von Ionenzählern hinaus, die den Zu- oder Abgang einzelner Ladungen auf der Sonde messen, eine Entwicklung, die nicht ganz sinnvoll erscheint und die zeigt, daß die Methode in ihrer Bedeutung noch nicht voll erkannt ist (H. ISRAËL⁴). Da im Gebiet von 1 bis 10 Hz der Übergang vom elektrostatischen zum elektrodynamischen Feld liegt, wird es angebracht sein, bei Frequenzen oberhalb dieses Gebietes Meßorgane zu benutzen, die dem physikalischen Charakter der elektrodynamischen Vorgänge entsprechen, und auf Kollektoren zu verzichten.

⁴ H. ISRAËL, Wiss. Abh. Reichswetterdienst 5, 12 (1939).

⁵ Diese Teilung der Schwankungserscheinungen läßt erwarten, daß im Spektrum der magnetischen Feldschwankungen oberhalb 1 Hz ein Band bestehen wird, das mit dem Maxwell-Hertzschen Band in einer festen Beziehung steht, die durch die Maxwell'schen Gleichungen gegeben wird. Erst unterhalb von 1 Hz brauchen auf der Erde keine festen Beziehungen mehr zwischen den Schwankungsgrößen beider Felder zu bestehen, so daß hier das Gebiet der reinen Elektrostatik und Magneto-statik liegt. Ich verdanke diese Bemerkung einer Diskussion mit Herrn Dr. H. ISRAËL, Buchau a. F.

² P. COURVOISIER, Arch. Met. Geoph. Biokl. [A] 1, 1 (1948).

³ K. G. JANSKY, Proc. Inst. Rad. Engrs. 21, 1387 (1933); 23, 1158 (1935); 25, 1517 (1937).

⁴ K. FRÄNZ, Hochfr.-Techn. und El.-Akust. 59, 105, 143 (1942).

⁵ D. H. MENZEL und W. W. SALISBURY, Nature 161, 91 (1948).

spielten sich zwischen zwei leitenden Ebenen ab, den Tatsachen entsprechen könnte. Zweifellos bedürfen diese Verhältnisse noch der Erforschung.

Zur Klärung der Struktur der beiden atmosphärisch verursachten Teilbänder wären systematische Registrierungen in jeweils aneinanderstoßenden Frequenzbereichen nötig, während bei den bisherigen Beobachtungen eine derartige Dichte wohl noch nicht angestrebt worden ist. Eine Welligkeit in der Häufigkeit von Schwankungen bei verschiedenen Frequenzen, wie sie H. WICHMANN¹ andeutet, könnte auch eine triviale Ursache in der noch zu geringen Frequenzdichte der Beobachtungen haben.

Es scheint, daß die Schwierigkeiten, die dem Bau von Verstärkern mit sehr breitem Frequenzband entgegenstehen, es bisher unmöglich gemacht haben, über das Aussehen eines individuellen «atmospheric» eine ganz klare Anschauung zu gewinnen. Der Verlauf der Enveloppe des Maxwell-Hertzschen Bandes ist aber ein Produkt verschiedener Faktoren, besonders eben der eigentlichen Form der atmospherics, die wohl am besten durch die Amplitudenverteilung ihrer Fourierkomponenten beschrieben wird, dann aber auch der Frequenzabhängigkeit der Übertragung der Teilwellen, durch die die Form der atmospherics längs des Weges zum Beobachtungsort geändert wird; zuletzt können für den in Abbildung 2 gezeichneten Verlauf der Enveloppe noch da und dort gewisse Eigenschaften der Empfänger – insbesondere ihre Bandbreite – von Einfluß sein (vgl. dazu den Abschnitt über die Bedeutung der Meßbandbreite).

2. Das Band der Temperaturstrahlungen

Oberhalb der Frequenz 10^7 Hz ist der Störpegel in Abbildung 2 in der Hauptsache durch zwei auf Grund der Theorie der Temperaturstrahlung gezeichnete Kurven eingetragen. Die eine dieser Kurven (17) stellt die Strahlung dar, die in einem geschlossenen Raum von Zimmertemperatur herrscht, also etwa gerade in einem Zimmer mit geschlossenen Fenstern, durch die von außen keine Strahlung eintritt. Die andere Kurve (18) gibt die Strahlung wieder, die im Freien in vollem Sonnenschein als gerichtete Strahlung bestehen würde, falls keine Absorption durch die Erdatmosphäre stattfindet.

Zur Gewinnung und Bedeutung dieser Kurven bedarf es einiger ergänzender Angaben. Das Plancksche Gesetz der Temperaturstrahlung gibt für die Energie unpolarisierter Strahlung, die im Frequenzbereich von f bis $f + df$ aus der Oberflächeneinheit eines schwarzen Strahlers der Temperatur $T^\circ\text{K}$ pro Zeiteinheit in den Halbraum austritt, den Wert

$$S_f df = \pi C_1 f^3 \frac{df}{e^{C_2/fT} - 1}, \quad (1)$$

¹ H. WICHMANN, *Grundprobleme der Physik des Gewitters* (Wolvenbüttel 1948).

der in Watt/cm^2 erhalten wird, wenn die Konstanten die Werte $C_1 = 1,47 \cdot 10^{-54} \text{ Watt} \cdot \text{s}^4/\text{cm}^2$ und $C_2 = 4,78 \cdot 10^{-11} \text{ s} \cdot \text{Grad}$ haben (vgl. zum Beispiel R. W. POHL²). Der gleiche Betrag an Strahlung tritt durch eine in einem Hohlraum mit der Wandtemperatur $T^\circ\text{K}$ beliebig orientierte Fläche von 1 cm^2 von der einen Flächenseite zur anderen hindurch. Weiterhin wird durch eine elektromagnetische Welle, in der die elektrische Feldstärke den Amplitudenbetrag E hat, nach dem Poyntingschen Satz eine Energie

$$S = C_3 E^2 \quad (2)$$

durch eine senkrecht durchstrahlte Fläche von 1 cm^2 hindurch transportiert. Mit E in Volt/cm und $C_3 = c/4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11} = 1/377 \Omega^{-1}$ (377Ω beträgt der Strahlungswiderstand des Vakuums, vgl. R. W. POHL², S. 251) erhält man S in Watt/cm^2 . Kombiniert man die Gleichungen (1) und (2), so entsteht

$$E_f = \left(\frac{S_f df}{C_3} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

Diese Formel ist folgendermaßen zu interpretieren: ein Gerät zur Messung der Feldstärken in Wechselfeldern soll nur auf Frequenzen ansprechen, die zwischen f und $f + df$ liegen. Das Gerät wird mit einem Sondenorgan, einer Antenne, ausgerüstet sein müssen, die in das Wechselfeld eingebracht wird und der eine gewisse wirksame Fläche zugeordnet werden kann, wie in der Theorie der Antennen gezeigt wird (wirksame Fläche = Konstante \times Antennenhöhe \times Wellenlänge, wobei die Konstante von der Form der Antenne abhängt.) Diese Antenne soll nun so beschaffen sein, daß die wirksame Fläche in eine feste Ebene gelegt werden kann und daß für jede Welle, die unter einem Winkel auf diese Ebene auftritt, nur die Vertikalkomponente wirksam ist (Gültigkeit des Lambertschen Kosinusgesetzes). Denkt man sich nun die eine Seite dieser Antennenfläche von einer genügend großen halbkugelförmig die Antennenfläche überdeckenden und nach dem Gesetz (1) strahlenden Fläche bestrahlt, während aus dem anderen Halbraum auf die andere Seite der Antennenfläche keine merkliche Strahlung auffallen soll, so wird das Gerät den Feldstärkebetrag E_f nach Formel (3) anzeigen, wenigstens für die Dauer des Durchzuges einer kohärenten Welle.

Bevorzugt die Antenne des Gerätes noch eine bestimmte Richtung innerhalb der Antennenfläche, so daß diejenigen Wechselfelder, bei denen die Richtung der elektrischen Feldstärke mit dieser Richtung zusammenfällt, am stärksten angezeigt werden (polarisierte Antenne), so kann eine Reduktion des vom Gerät angezeigten Betrages von E_f auf die Hälfte oder weniger eintreten. Bevorzugt weiterhin die Antenne, entgegen einer Allgemeingültigkeit des Lambertschen Kosinus-

² R. W. POHL, *Optik* (Springer, Berlin 1943), S. 283.

² R. W. POHL, *Elektrizitätslehre* (Springer, Berlin 1943).

gesetzes, Wellen, die aus einem gewissen, mehr oder weniger engen Winkelbereich kommen (Richtantenne), so wird eine weitere Reduktion des unter den oben beschriebenen Einstrahlungsbedingungen gemessenen Betrages von E_f eintreten. Unter den oben vorausgesetzten Verhältnissen kann diese Reduktion durch das sogenannte Flächenwinkelverhältnis (H. WEICKMANN¹) gemessen werden, das – unter Annahme des Lambert'schen Kosinussatzes wenigstens für den Winkelbereich, aus dem heraus eine Strahlung merkbar aufgenommen wird – die Intensität der Strahlung jenes Bereiches auf die Empfängerfläche im Verhältnis zur Intensität der Strahlung aus dem ganzen Halbraum angibt. Wenn der ausgesonderte Winkelbereich rotationssymmetrisch um die Normale der Antennenfläche herum liegt, und wenn seine Begrenzung von dieser Fläche aus gesehen unter dem Winkel 2φ erscheint, so hat das Flächenwinkelverhältnis Ψ den Wert $\sin^2\varphi$ ($\Psi = 1$ für $\varphi = 90^\circ$, also Strahlungseinfall aus dem ganzen Halbraum). Für die Reduktion der mit einer Richtantenne vom Öffnungswinkel 2φ gemessenen Feldstärke ist – entsprechend (2) – die Größe $\Psi^{\frac{1}{2}}$ maßgeblich. Man erhält also folgende zusammengehörigen Werte, bei denen jeweils noch das Verhältnis ϱ des Öffnungswinkels φ zum scheinbaren Sonnenradius (16') angegeben ist (vgl. später):

Ψ	$\Psi^{\frac{1}{2}} = \sin \varphi$	φ	ϱ
$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$5^\circ 45'$	21,6
$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2^\circ 54'$	10,8
$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1^\circ 10'$	4,38
$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$34,5'$	2,16
$2,5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$17,2'$	1,07

Die Formel (3) gibt also die Maximalbeträge, die mit einem Feldstärkegerät unter den obigen Bedingungen im Strahlungsfeld eines Strahlers der Temperatur $T^\circ\text{K}$ gemessen werden können, sofern die Frequenzcharakteristik, anders ausgedrückt die Bandbreite Δf oder die spektrale Spaltbreite des Meßgerätes, bekannt ist.

Wenn auf Grund von Formel (3) Feldstärkewerte der Temperaturstrahlung in das Spektrum der Abbildung 2 eingetragen werden sollen, die mit den Messungen von Feldstärkeschwankungen im Band unterhalb 10^8 Hz vergleichbar sind, so muß jedoch noch über die Größe von Δf in geeigneter Weise verfügt werden. Dies geschieht am besten durch eine Analyse der Bedeutung der spektralen Breite im Gebiet der Beobachtungen unterhalb 10^8 Hz.

3. Die Bedeutung der Meßbandbreite

Im Gebiet der Frequenzen unterhalb etwa 10^8 Hz sind offenbar zwei Möglichkeiten gegeben, wie man Feldstärkeschwankungen beobachten kann: Man kann

einmal an geeigneter Stelle im Meßgerät ein sogenanntes Bandfilter anbringen, das nur Schwankungen mit Frequenzen innerhalb eines bestimmten kleinen Frequenzbereiches hindurchläßt (beinicht echtperiodischen Feldstärkeschwankungen wird es der Anteil ihres kontinuierlichen Fourier-Spektrums sein, der auf das ausgefilterte Frequenzband trifft). Man wird dann nurmehr Amplitudenbeträge der Feldstärkeschwankungen beobachten oder registrieren und wird so gemessene Größen der Feldschwankungen ohne weitere spektrale Betrachtungen dem Schwerpunkt der Frequenzcharakteristik des Bandfilters zuordnen und entsprechende Bildpunkte in Abbildung 2 eintragen. Bandfilter enthalten nun stets resonanzfähige Elemente und die Durchlaßbreite Δf der Bandfilter ist durch Formeln mit der Halbwertbreite der Resonanzkurven jener Schwingelemente gekoppelt. In der Schwingungslehre wird gezeigt (vgl. R. W. POHL¹, S. 155), daß diese Halbwertbreiten – und damit auch die Bandbreite Δf – stets konstante Bruchteile der (beliebigen) Resonanzfrequenzen f der Schwingelemente sind, sofern die logarithmischen Dämpfungsdekremente Δ für die Elemente den gleichen Wert haben. Da man nun bei den meisten Schwingelementen, weitgehend unabhängig von der Höhe ihrer Resonanzfrequenz, mit dem gleichen experimentellen Aufwand auch ungefähr zu gleich geringen Dämpfungen kommen kann, so werden alle mit etwa gleichem Aufwand gebauten Bandfilter Durchlaßbreiten von demselben Bruchteil der mittleren durchgelassenen Frequenz besitzen. Die Erfahrung zeigt, daß ein Bruchteil der Größenordnung 10^{-2} gut zu erreichen ist, wenigstens im Bereich des Maxwell-Hertz'schen Bandes; bei höheren Frequenzen sind leicht geringere relative Bandbreiten erreichbar, bei tieferen Frequenzen fehlt schließlich die Möglichkeit, Resonanzelemente überhaupt noch zu bauen. Es ist also für die Schmalband-Meßgeräte, wie wir sie hier betrachtet haben, stets etwa $\Delta f = 10^{-2} f$.

Die zweite Möglichkeit zur Beobachtung von Feldstärkeschwankungen in einem Frequenzgebiet benützt, im Gegensatz zur ersten, Meßgeräte mit großer Bandbreite, bei denen Frequenzen in Bereichen bis zu etwa einer Zehnerpotenz vom Gerät gleich gut wiedergegeben werden. Durch eine Registriervorrichtung kann man hier ein Abbild des zeitlichen Verlaufes der Feldstärke bekommen, wenigstens insoweit, als Schwankungserscheinungen in das vom Meßinstrument erfaßte Frequenzintervall hineinfallen. Die so aufgezeichneten Kurven bedürfen aber einer Analyse, die feststellt, welche Schwankungsfrequenzen und -amplituden in der Kurve enthalten sind. Hierfür empfiehlt sich bei offensichtlich echtperiodischen Kurven die harmonische Analyse, sonst benützt man die bekannten Verfahren der Periodogramm-Analyse, während das vorgeschlagene Verfahren des Aufbaus der Registrier-

¹ H. WEICKMANN, Gerlands Beitr. Geoph. 55, 411 (1939).

¹ R. W. POHL, *Optik* (Springer, Berlin 1943) S. 155.

kurve aus bogenförmigen Teilstücken nur einer großzügigen Orientierung, besonders bei den Kurven, die keine Regelmäßigkeiten erkennen lassen, dienen, aber keinen Anspruch auf ausschöpfende Genauigkeit erheben soll. Die beiden anderen, exakteren Analysenverfahren werden aber auch eine begrenzte Genauigkeit, speziell in der Angabe der Frequenzen, besitzen, die den registrierten Schwankungen des Feldes zuzuschreiben sind. Diese Genauigkeit ist zur Hauptsache von dem Auswerteverfahren abhängig, dem die graphisch vorliegende Registrierkurve unterworfen wird, wobei es zunächst ohne Bedeutung ist, mit welchem Zeitvorschub die Registrierung aufgenommen worden

zu günstig, bewerten wollen. Erst nachdem die Auswerteverfahren Zahlenwerte für die in der Registrierung enthaltenen Periodenlängen als Vielfache einer auf dem Streifen zunächst beliebig festgelegten Basislänge geliefert haben, kann die Umrechnung in Zeitperioden bzw. in Frequenzen mit Hilfe der Vorschubgeschwindigkeit der Registrierung erfolgen. Auch diese zweite Möglichkeit der Beobachtung von Feldschwankungen liefert also Schwankungsfrequenzen nur mit einer gewissen relativen Genauigkeit, und wir können auch hier etwa $df = 10^{-2}f$ annehmen. Auch für das Sinusbogenverfahren kann eine solche Frequenzbandbreite angenommen werden; denn man hat mit dem

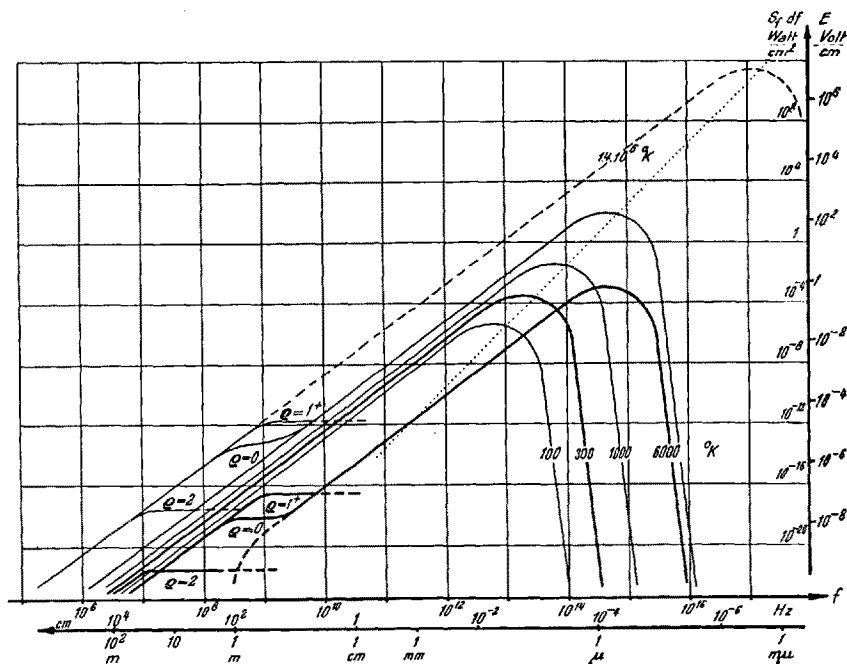


Abb. 4. Spektrale Verteilung der Strahlungsdichte und der Feldstärken der Temperaturstrahlungen für eine Bandbreite $df = 0,01 f$.

ist. Die Analysenverfahren erfordern nun entweder die Festlegung einer graphischen Grundperiode auf dem Registrierstreifen nach irgendwelchen Anhaltspunkten (zum Beispiel Nulldurchgängen), mit der man jedoch innerhalb eines vorgegebenen Stückes der Registrierkurve nur mit einem gewissen Fehler die wahre darin enthaltene Periode trifft, oder sie verlangen die Feststellung der Größenverteilung der Amplituden, die durch Analysen mit schrittweise geänderter Analysenperiode gewonnen werden. Diese Verteilung wird im Gebiet der wahren registrierten Periode die Form einer Glockenkurve sein, deren Maximalstelle man als wahre Periode ansprechen wird und deren Halbwertsbreite man als Maß der Genauigkeit betrachten kann, mit der die wahre Periode festgestellt worden ist. In beiden Fällen wird die Genauigkeit der durch die Analyse gefundenen Perioden ein gewisser Bruchteil dieser Periodenlängen sein, den wir mit 10^{-2} , wenn auch vielleicht

eingezeichneten Bogen den betrachteten Teil der Registrierkurve vielleicht nur sehr grob getroffen, doch ist wenigstens die Ablaufdauer des fertig gezeichneten Sinusbogens und damit seine Frequenz nach einem der eben besprochenen Verfahren auf 1% genau feststellbar.

Das Spektrum in der Abbildung 2 wird also die gewünschte Einheitlichkeit der Bänder von Feldschwankungen bekommen, wenn wir auch in den Formeln (3) bzw. (1) $df = 10^{-2}f$ setzen (vgl. dazu G. WILKENS¹).

Wie oben schon angedeutet worden ist, können die Feldstärkeangaben für gewisse Teilgebiete des Maxwell-Hertzischen Bandes in Abbildung 2 noch durch von dieser Definition abweichende Empfängerbandbreiten verfälscht sein, es war jedoch nicht möglich, genügend Angaben über Störfeldstärken zu bekommen, bei denen auch noch die Bandbreite ausreichend vermerkt war.

¹ G. WILKENS, Ann. Phys. 43, 73 (1943).

Nachdem über d/f in dieser Weise verfügt ist, lassen sich zunächst die Kurven der spektralen Verteilung nach dem Gesetz (1) für verschiedene Temperaturen zeichnen, was in doppeltlogarithmischem Maßstab in Abbildung 4 geschehen ist; die Zuordnung der Feldstärkebeträge nach Formel (3) ist hier durch Änderung des Ordinatenmaßstabes leicht möglich. Abbildung 4 enthält zur Hauptsache Kurven für die Zimmertemperatur ($T = 300^\circ\text{K}$) und für die Strahlungstemperatur der Sonne ($T = 6000^\circ\text{K}$) sowie für die Temperatur der Sonnenkorona ($R_{k,e}$ -Komponente, $T = 1,4 \cdot 10^6^\circ\text{K}$ nach M. WALDMEIER¹). Für die auf einer atmosphärenlosen Erde bestehende Sonnenstrahlung ist die 6000°K -Kurve um einen Betrag zu erniedrigen, der der Feldstärkenabnahme bei der Ausbreitung von Kugelwellen von der Sonne bis zur Erde entspricht; der Betrag der Feldstärken ist demnach auf der Erde im Verhältnis Sonnenradius: Erdbahnradius = 1:215 kleiner. In ähnlicher Weise ist die schwarze Strahlung der Korona unterhalb 10^{10} Hz reduziert; bis zum scheinbaren Sonnendurchmesser $\varrho = 1$ ist die Reduktion im gleichen Maß erfolgt, bei $\varrho = 2$ entsprechend geringer. Diese radiofrequente Koronastrahlung wird von einer stark variablen, von den Sonnenflecken ausgehenden Strahlung um mehr als 2 Größenordnungen, von gelegentlichen kurzzeitigen Ausbrüchen unbekannter Herkunft sogar noch weit mehr, in der Intensität übertroffen ($R_{k,s}$ - und R_e -Komponenten nach M. WALDMEIER¹).

Die Tatsache, daß die Feldstärke der Sonnenstrahlung zwischen 10^8 und 10^{14} Hz von den Feldstärken der Strahlung mit der Temperatur 300°K stark übertroffen wird, bedeutet nicht, daß dieser Teil des Sonnenspektrums unbeobachtbar wäre; denn diese Überdeckung kommt nur durch die verschiedene Richtungsverteilung der Strahlungen zustande. Während bei der 300°K -Kurve Strahlung einer Fläche in einen Halbraum bzw. Bestrahlung einer Fläche aus einem Halbraum angenommen ist, wird auf der Erde eine Empfängerfläche nur aus einem kleinen Winkel heraus von der Sonne bestrahlt. Die Angaben, die oben über die Bestrahlungsverhältnisse des Antennenorgans des Meßgerätes und dessen Eigenschaften gemacht worden sind (Flächenwinkelverhältnis Ψ), lassen erkennen, wie durch Verwendung geeignet «abgeblendeter» Antennen die Heraushebung auch der langwelligen von der Sonne und der Korona, sowie von anderen Sternen kommenden Strahlungen über die 300°K -Strahlung gelingt (Radio-Astronomie, vgl. H. SIEDENTOPF²).

4. Die Mindestfeldstärken

Die Angaben der Bänder von Feldstärkeschwankungen im Spektrum Abbildung 2 würden in wesentlicher Beziehung unvollständig sein, wenn nicht versucht

würde, die durch die Brownsche Bewegung bei niedrigen Frequenzen gegebenen Mindestfeldstärken einzuzichnen und damit dem ganzen Spektrum nach unten hin seinen Abschluß zu geben. Diese Mindestfeldstärken müßte der «Störpegel» in allen den Frequenzgebieten aufweisen, in denen eine Störtätigkeit der Atmosphäre fehlen sollte. Da das Frequenzspektrum der Schwankungserscheinungen der Brownschen Bewegung kontinuierlich ist, so folgt – wie schon oben angedeutet – daß der Gesamtschwankungspegel eine lückenlose Kurve sein muß.

Die Feststellung dieser Mindestfeldstärken ist Gegenstand zahlreicher Arbeiten gewesen, als deren vorläufiger Abschluß zwei Veröffentlichungen von K. FRÄNZ¹ angesehen werden können. Durch Einsetzen des Strahlungswiderstandes einer Antenne in die Nyquistische Formel für die Rauschspannung an einem reellen Widerstand erhielt FRÄNZ die Formel

$$E_{\min} = 8\pi \sqrt{10 kT} \frac{\sqrt{df}}{\lambda} \quad (4)$$

für die Mindestfeldstärke, die mit Hilfe einer Vertikalantenne beobachtbar ist, wenn die effektive Antennenhöhe kleiner als $\lambda/4$ ist. Die Temperatur T (k ist die Boltzmannsche Konstante) ist dabei jene Temperatur, die dem Strahlungswiderstand zugeschrieben wird; T wird also etwa 300°K betragen für Wellenlängen λ , die größer sind als die Grenzwellenlängen der Ionosphärenechos, da für diese Wellen ein Strahlungsgleichgewicht im abgeschlossenen Raum zwischen der Erde und der Ionosphäre herrschen wird.

Wir formen die Beziehung (4) durch Einführung von $df = 10^{-2}f$ und $\lambda = c/f$ (c = Lichtgeschwindigkeit) noch etwas um und erhalten mit $T = 300^\circ\text{K}$

$$E_{\min} = 16 \frac{\pi}{c} 10^{-11} f^{3/2} = 1,68 \cdot 10^{-20} f^{3/2} \quad (5)$$

wenn E in Volt/cm und f in Hz gemessen werden. Setzen wir die Verwendung einer Antenne von 7,50 m effektiver Höhe voraus, so daß als kürzeste Welle 30 m bzw. als höchste Frequenz 10^7 Hz mit den Formeln (4) und (5) verträglich sind, so erhält man die Gerade 19 in Abbildung 2, die – wie nach der atomistischen Theorie der Brownschen Bewegung zu erwarten war – parallel zur Strahlungskurve des schwarzen Körpers mit $T = 300^\circ\text{K}$ läuft; sie ist gegen diese etwas verschoben, da eine Vertikalantenne und eine Fläche nicht die gleichen räumlichen Strahlungsdiagramme haben.

Berechnet man den Strahlungswiderstand der hier angenommenen Antenne für die höchste Frequenz von 10^7 Hz, so erhält man rund 100Ω , bei 10^6 Hz rund 1Ω , also Widerstände, die zumindest bei den niedrigeren Frequenzen nicht mehr groß sind gegen die reellen Wi-

¹ M. WALDMEIER, Vjschr. Naturf. Ges. Zürich 93, 122 (1948); Exper. 4, 64 (1948).

² H. SIEDENTOPF, Naturwissenschaften 35, 289 (1948).

¹ K. FRÄNZ, Hochfr.-Techn. und El.-Akust. 59, 105, 143 (1942); Elektr. Nachr.-Techn. 16, 92 (1939).

derstände der Eingangsschaltungen der Meßempfänger. Es wird daher bei gegebenem Widerstand einer Eingangsschaltung eine gewisse Frequenz existieren, bei der die Rauschspannung des Schaltungswiderstandes gleich der aus dem Strahlungswiderstand der Antenne stammenden Rauschspannung ist, und für Frequenzen unterhalb dieser Übergangsfrequenz überwiegt der Rauscheffekt des reellen Schaltungswiderstandes. Nach H. NYQUIST¹ ist die mittlere Rauschspannung U an einem reellen Widerstand R mit der Temperatur T

$$U = (4 k T R df)^{\frac{1}{2}} \text{ bzw. } U = (0,04 k T R f)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

wenn wieder $df = 10^{-2}f$ gesetzt wird. Man kann nun diese mit $f^{\frac{1}{2}}$ relativ flach verlaufenden Geraden der Rauschspannung an festen Widerständen R in das Spektrum der Feldstärkeschwankungen dadurch einzeichnen, daß man sie in die Gerade der Mindestfeldstärken der oben angegebenen Antenne bei jenen Frequenzen einbiegen läßt, bei denen der Strahlungswiderstand der Antenne jeweils den Wert R besitzt. Auf diese Art erhält man Kurven scheinbarer Mindestfeldstärken², die in Abbildung 2 für R -Werte zwischen 10^2 und $10^6 \Omega$ eingezeichnet sind. Für die Höhe dieser Mindestfeldstärken ist es gleichgültig, ob man Schmalbandempfänger mit Registrierung der mittleren Amplituden der Feldstärkeschwankungen oder Breitbandempfänger mit Registrierung des zeitlichen Feldstärkeverlaufes und nachfolgender graphischer Frequenzanalyse verwendet (vgl. K. FRÄNZ³).

C. Beeinflussung des Befindens durch Feldschwankungen

Kehren wir jetzt zurück zum Problem der Beeinflussung des Befindens durch Schwankungen des elektrischen Feldes in der Atmosphäre, so läßt sich zur Entscheidung der Frage, welche Frequenzgebiete in diesem Spektrum die Wetterfühligkeit verursachen könnten, die oben erwähnte Erfahrung heranziehen, daß Häuser im allgemeinen keinen Schutz gegen Wetterfühligkeit bieten; die elektrischen Felder der fraglichen Frequenzgebiete müssen also ohne wesentliche Schwächung in Gebäude eindringen können. Um ungefähr abzuschätzen, welche Frequenzen dazu in der Lage sein werden, kann man ein Haus ersetzen durch einen Plattenkondensator, der aus dem Baugrund und dem

Hausdach gebildet und der durch die Hausmauern als Widerstände überbrückt wird (Abb. 5). Bringt man ein solches System in ein Wechselfeld der in der

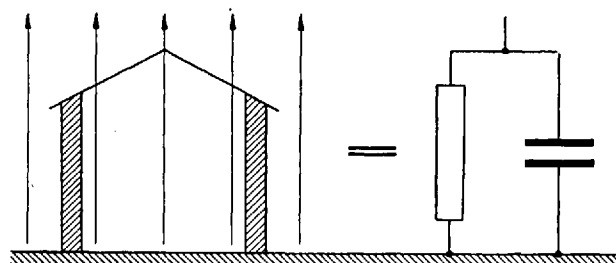


Abb. 5. Ersatzschaltung für ein Haus (nach W. GERBER)
(Pfeile in Feldrichtung).

Abbildung 5 angedeuteten Richtung, so ist die Amplitude der Feldstärke E_c im Kondensator

$$E_c = E_a \frac{\omega \tau}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}; \quad D = \frac{E_c}{E_a} = \frac{\omega \tau}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad (7)$$

wenn $\omega = 2\pi f$ die Kreisfrequenz des äußeren Wechselfeldes mit der Amplitude E_a und $\tau = RC$ die Zeitkonstante der RC-Schaltung ist sowie D die Durchlässigkeit des Hauses für Schwankungen des elektrischen Feldes¹. Die Form der Frequenzabhängigkeit von E_c ist im doppeltlogarithmischen Maßstab einfach durch eine horizontale Gerade für $\omega\tau \gg 1$ und eine unter 45° geneigte Gerade für $\omega\tau \ll 1$ gegeben, mit relativ scharfem Knick bei $\omega\tau \approx 1$. Nimmt man als Größenordnung der Abmessungen der Hauskanten 10 m, so hat C die Größenordnung 10^{-10} Farad, und R wird für 1 m dicke Mauern $2,5 \cdot 10^{-3} \rho_E$ Ohm, wenn ρ_E der mittlere spezifische Widerstand des Baumaterials in $\Omega \cdot \text{cm}$ ist; damit wird $\tau = 2,5 \cdot 10^{-13} \rho_E$. Die für verschiedene Werte von ρ_E in Abbildung 2 eingetragenen Frequenzfunktionen D nach Gleichung (6) zeigen nun, daß die bei den bisher üblichen sogenannten luftelektrischen Beobachtungen erfaßten Feldstärke-

¹ Ich verdanke dieses Modell einer Diskussion mit Herrn Dr. W. GERBER (Bern). Auch für horizontale Richtung eines Feldvektors wird man ähnliche Verhältnisse haben, da nun die Wände sowie Dach und Boden ihre Rollen vertauschen. Bei einer Unterteilung des Hauses in Stockwerke wiederholt sich für jedes Stockwerk die Ersatzschaltung, wobei die Zeitkonstante erhalten bleibt, da R und C in entgegengesetztem Sinn von der Stockwerkhöhe abhängen; allerdings ist dann eine zunehmende Reduktion der Feldstärkeschwankungen in den unteren Stockwerken zu erwarten, da Böden und Decken der Stockwerke nicht nur gegeneinander, sondern auch gegen den Erdboden eine endliche Kapazität besitzen, wodurch eine Art mehrfacher Abschirmung entsteht (vgl. S. KLIMKE² und A. DENNHARDT³). Neuerdings ist durch H. W. KASEMIR⁴ die Feldschwächung in einer Hohlkugel mit endlicher Wandstärke exakt berechnet worden. Die von KASEMIR erhaltene Kurve der Durchlässigkeit, die auch für eine Hohl-Halbkugel über einer leitenden Ebene gilt, stimmt in der Form mit (7) bis auf Abweichungen bei sehr tiefen Frequenzen überein, und es kann zahlenmäßig für die Feldschwächung bei einer gegebenen Frequenz gute Übereinstimmung erzielt werden, wenn man bei der Berechnung der Zeitkonstante τ eine Form des Hauses annimmt, die der Halbkugelform am nächsten kommt.

² S. KLIMKE, Elektro-Nachr.-Techn. 4, 458 (1927).

³ A. DENNHARDT, Elektrowirtschaft 34, 197 (1935).

⁴ H. W. KASEMIR [Ann. Géophys. (im Druck)].

¹ H. NYQUIST, Phys. Rev. 32, 110 (1928).

² Diese Mindestfeldstärken werden als scheinbar bezeichnet, da sie durch das Meßgerät, nicht durch das atmosphärische Feld bedingt sind. Demgegenüber sind die Feldstärken nach (4) oder (5) von speziellen Eigenschaften der Antenne höchstens in ihrem Geltungsbereich abhängig; sie entsprechen dem Energieaustausch zwischen den Wandflächen der Atmosphäre, zu denen auch eine eingebrachte Antenne gehört.

Der Geltungsbereich von Formel (5) könnte bei 10 Hz nach unten hin begrenzt sein, vgl. die Überlegungen über die Teilung in ein statisches und ein dynamisches Band von Störungen. Der Geltungsbereich von Formel (6) ist hier nicht begrenzt, da die Elektronenbewegung im Schaltungswiderstand R unabhängig von der Größe des Erdumfangs ist.

³ K. FRÄNZ, Elektro-Nachr.-Techn. 19, 166 (1942).

schwankungen, deren obere Frequenzgrenze bei 1 Hz angesetzt werden kann, höchstens in aus trockenem Holz gebaute Häuser ohne größere Schwächung eindringen können ($10^{16} > \varrho_E > 10^{10}$); man wird von ihnen also keine bedeutendere Wirksamkeit im Sinne der Wetterfähigkeit erwarten können, da ja Häuser im allgemeinen keinen Schutz bieten sollen (vgl. H. ISRAËL¹). Auf der anderen Seite werden moderne Betonbauten kleine mittlere Werte des Widerstandes ϱ_E haben², so daß sie erst für sehr hohe Frequenzen, etwa 10^7 Hz, durchlässig sein würden, bei denen das obige Modell zu einfach ist, da es die Selbstinduktionen nicht enthält. Bei diesen Frequenzen ist die elektromagnetische Wellenlänge schon von der Größenordnung der Abmessungen der Häuser, so daß das einfache Kondensatormodell sicher nicht mehr genügt. Bei noch kürzeren Wellen muß schließlich «optisch», das heißt unter Berücksichtigung der molekularen und atomaren Eigenfrequenzen gerechnet werden, die wenigstens vom UR-Gebiet ab eine praktisch völlige Undurchlässigkeit der Mauern zur Folge haben.

In noch höherem Maße wirken Eisenbetonbauten abschirmend, bei denen das Netzwerk der Eisenarmierung fast einen geschlossenen Faradaykäfig darstellt; doch werden sich auch hier Frequenzen finden, die in solche Gebäude eindringen können, etwa diejenigen, bei denen die Wellenlänge kleiner ist als der mittlere Abstand der Eisenstäbe des Netzwerkes, so daß auch für solche Bauten die Durchlässigkeit für Wellen von einigen cm Länge merklich sein wird. Es ist jedoch allgemein zu beachten, daß die Abschirmung eines Raumes gegen Wechselfelder eine schwierige Sache ist und daß man nicht erwarten darf, mit ein wenig Drahtnetz schon einen völlig feldfreien Raum hergestellt zu haben.

Da die Zahl der Beton- und Eisenbetonhäuser noch nicht so sehr groß ist, kann man aus der allgemeinen Erfahrung, daß Gebäude kein Schutz gegen Wetterfähigkeit sind, wohl noch nicht schließen, daß auch Betonhäuser keinen Schutz bieten. Wenn dies letztere der Fall ist, so erschiene es zunächst ziemlich aussichtslos, die Erklärung für die Wetterfähigkeit irgendwo im Spektrum der elektrischen Feldschwankungen zu suchen; denn es kämen dann nurmehr Schwankungen mit Frequenzen im längstwelligen Teil des Wärme-strahlungsgebietes in Frage, die man wegen der dort meist überwiegenden Felder der stets vorhandenen 300°-Strahlung wohl kaum wird anschuldigen können⁴.

Demnach könnte eine etwas exaktere Fassung der bis jetzt *grosso modo* gemachten Erfahrung, daß Gebäude keinen Schutz gegen Wetterfähigkeit bedeuten, einen wichtigen Beitrag zu dem hier skizzierten Fragenkomplex leisten.

Sieht man das Frequenzgebiet zwischen etwa 10^5 und 10^8 Hz als kritisch an – atmosphärische Störungen mit diesen Frequenzen können ungehindert oder nur wenig geschwächt in wohl den meisten Häusern zur Wirkung kommen (Radioempfang mit Zimmerantenne) – so tritt allerdings jetzt, nachdem sich die Hochfrequenztechnik dieses Frequenzgebiet erobert hat, die Frage auf, welche Bedeutung die von der Technik verursachten Feldschwankungen für das Befinden der Menschen haben. Die Technik braucht für ihre Zwecke Feldstärken, die wenigstens im allgemeinen Zeitdurchschnitt merklich über diejenigen liegen, die – im Sinne der Technik als Störeffekte – durch atmosphärische Vorgänge entstehen, und bei der relativ großen Dichte der Sender in diesem Frequenzbereich sind wir schon heute viel mehr der Wirkung des Radioverkehrs als der der Atmosphäre ausgesetzt. Man könnte aus diesem Grunde, ähnlich wie bei den Luftdruckschwankungen, zu einer Ablehnung der Vorstellung einer Wirksamkeit des Frequenzbereiches zwischen 10^5 und 10^8 Hz kommen; denn trotz DORNOS¹ Frage, wer es wage, die immer mehr fortschreitende Nervosität der Menschheit in Beziehung zu setzen zur Wirkung technischer Wechselfelder, scheint es nicht gesichert, daß seit dem Einsetzen der Rundfunksendungen wirklich eine Steigerung der Nervosität oder der Wetterfähigkeit der Menschen stattgefunden hat.

Allerdings haben alle diese quantitativen Überlegungen nur dann als Argumente für oder wider einen Erklärungsversuch der Wetterfähigkeit durch die Wirkung elektrischer Feldschwankungen genügendes Gewicht, wenn man sicher sagen kann, daß eine unerfreuliche Wirkung nur zu erwarten ist, wenn die Störungen große Amplituden haben. Die Erfahrungen scheinen aber noch nicht umfangreich genug zu sein, um die Annahme einer besonderen Wirkung gerade der kleinen Störampplituden, das heißt einer unerwünschten Wirkung bei Fehlen von Schwankungen mit großer Amplitude, als sinnlos auszuschließen.

Der beste Weg zur Entscheidung der Frage der Beeinflussung des Befindens durch Schwankungen des elektrischen Feldes wäre jedenfalls das Experiment²: Bringt man Versuchspersonen in Kondensatoren

¹ H. ISRAËL, Dtsch. Med. Wschr. 75, 202 (1950).

² Herr Prof. K. BERGER (Zürich) hat freundlicherweise Zahlenangaben zur Verfügung gestellt, nach denen ϱ_E für Beton je nach Feuchtigkeit zwischen 10^3 und $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ liegt. Für Ziegelsteine ist nach S. KLIMKE³ ϱ_E etwa $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$.

³ S. KLIMKE, Elektro-Nachr.-Techn. 4, 458 (1927).

⁴ Die oben erwähnten radiofrequenten Strahlungen $R_{K,s}$ und R_e der Sonnenflecken und der Korona übertreffen die 300°-Strahlung auch ohne Richtantenne und sind daher als Wirkungsfaktoren allgemein durchaus in Betracht zu ziehen, jedoch nicht, wenn man eine spezielle Wirkung des Wetters sucht; denn die Verteilung dieser

Strahlungen auf der Erde dürfte wohl kaum durch die Orographie bedingt sein, während das zum Beispiel für die Föhnwindwirkung außer Zweifel steht.

¹ C. DORNO, Wetter 44, 265 (1927).

² Dem Versuch von CURRY³ (Bd. I, S. 158), durch einen Faradaykäfig Feldschwankungen überhaupt auszuschalten, wobei die Wetterfähigkeit unbeeinflusst blieb, kommt offensichtlich nur der Charakter einer Stichprobe zu, die noch nicht für eine gesicherte Ablehnung der Feldschwankungstheorie der Wetterfähigkeit ausreicht.

³ M. CURRY, Bioklimatik (Riederau 1946).

(Holzhäuschen, Decke und Boden mit Blech oder Drahtnetz belegt), deren Flächen an mit variablen Frequenzen arbeitende Oszillatoren angeschlossen werden¹, so lassen sich leicht Feldschwankungen herstellen, die beliebigen Punkten in Abbildung 2 unterhalb etwa 10^8 Hz entsprechen; die Grenze 10^8 Hz ist die Schwingungsfrequenz, bei der die Wellenlänge von der Größenordnung des nötigen Abstandes der Kondensatorflächen (2 m) wird, so daß man nur bis zu dieser Frequenz mit einer aus Wechselspannung und Flächenabstand entnommenen homogenen Feldstärke rechnen darf. Zur Abhaltung nicht kontrollierter äußerer Feldschwankungen wird man zweckmäßig den Versuchskondensator in einen Faradkäfig stellen, wozu ein möglichst engmaschiges Drahtnetz in solchem Abstand vom Kondensator genügt, daß die Feldverteilung im Kondensator nicht zu stark verzerrt wird.

Es muß dann möglich sein, in das Spektrum Abbildung 2 Linien gleicher spezifischer Wirksamkeiten einzutragen, über die sich wohl noch nicht viel mehr mit Sicherheit sagen läßt, als daß bei allen Frequenzen, außer etwa den allertiefsten, wenigstens Warmwirkungen ausgelöst werden können, falls nur die Amplitude der Feldstärkeschwankung hoch genug ist. Unterhalb von etwa 10^4 Hz sind vielleicht bei genügend großen Feldstärken direkte Einwirkungen, wenn auch höchst komplexer Art, auf die Nervenleitungsvorgänge zu erwarten. Andeutungen für eine differenzierte derartige Wirksamkeit niederer Frequenzen können den Versuchen von O. WYSS² entnommen werden (vgl. H. SCHAEFER³), ebenso den mehrfach unternommenen Versuchen zur Herstellung narkotischer Zustände mit Hilfe von Wechselströmen durch den Körper (vgl. F. SCHEMINZKY⁴), die allerdings unter Verwendung von Elektroden am oder im Körper ausgeführt worden sind, so daß ihnen nicht ohne weiteres Feldstärkewerte zugeordnet werden können. Der Übergang von einer Durchleitung von Wechselströmen mit Hilfe von Körper Elektroden zum Vorgang der Stromleitung in einem Körper, der einem Wechselfeld ausgesetzt wird, ist aber besonders bei höheren Frequenzen nur graduell; lediglich bei tiefen Frequenzen kommt im Körper ohne Elektroden nur eine sehr geringe Stromamplitude zustande, solange die äußere Feldstärke nicht auf sehr große Beträge gesteigert wird. In ähnlicher Weise, wie es oben für das elektrische Ersatzbild des Hauses gezeigt worden ist, wird auch im Körper bei niedrigen Frequenzen nur ein geschwächtes Feld bestehen; doch ist beim Körper die Trennung in Kondensatorflächen und Überbrückungswiderstände nicht möglich, so daß

die Größenordnung der Frequenzen, bei denen die Schwächung des Feldes im Körperinnern beginnt, in dieser Weise nicht ermittelt werden kann. Zahlenangaben darüber würden aber eine wesentliche Ergänzung des Spektrums Abbildung 2 bedeuten.

Neuerdings berichtet R. REITER¹, daß bei Amputierten im Feld der Fahrleitungen von Tram und Bahn sowie im Feld der Hochspannungsleitungen (Nr. 15 und 16 in Abbildung 2) Schmerzgefühle auftreten, die den durch Wettererscheinungen ausgelösten ähnlich sind. REITER versucht auch, das seit langem heftig umstrittene Wüschelrutenproblem auf atmosphärisch- und geoelektrische Erscheinungen zurückzuführen (vgl. dazu auch J. WÜST² sowie H. ISRAËL³).

Es ist anzunehmen, daß mehrere Systeme von Linien gleicher Wirksamkeit im Spektrum der Feldschwankungen zu finden sein werden, da mehrere Arten von Wirksamkeiten denkbar sind, zum Beispiel eben eine mögliche Wirksamkeit auf das gesamte Nervensystem oder auf gewisse seiner Teile neben der Warmwirkung, die besonders im Gebiet hoher Frequenzen groß wird (Kurzwellentherapie), in dem ja auch Befindensstörungen auftreten sollen («Senderkrankheit», vgl. E. SCHLIEPHACKE⁴, S. 86); weiter sind noch die Ultraviolett-, Röntgen- und γ -Strahlenwirkungen neben den Sinneswirkungen auf das Auge im optischen Frequenzgebiet bekannt⁵. Der Verlauf der spektralen Empfindlichkeit des Auges ist in Abbildung 2 als Beispiel einer solchen physiologischen Wirkungskurve eingezeichnet (Nr. 20)⁶.

Der Stäbchenapparat unseres Auges besitzt kein Farbunterscheidungs-Vermögen (Dämmerungssehen); die Halbwertsbreite seiner Empfindlichkeitskurve ist $\Delta\lambda = 75 \mu\mu$, das Maximum der Empfindlichkeit liegt bei $\lambda = 510 \mu\mu$, es ist also $\Delta\lambda/\lambda = 0,15$ sehr viel größer als der im Spektrum Abbildung 2 sonst gültige Wert $\Delta\lambda/\lambda = 0,01$. Demgegenüber besitzt der Zäpfchenapparat (Tagesehen) ein Unterscheidungsvermögen für Wellenlängen, die nur rund $2 \mu\mu$ auseinanderliegen; er hat also ein etwas besseres spektrales Auflösungsvermögen als 0,01, paßt damit jedoch im Rahmen der Genauigkeit in das Spektrum hinein. Die Empfindlichkeitskurve ist in Abbildung 2 für den Fall eingezeichnet, daß eine im Wellenlängenbereich λ bis $\lambda + d\lambda$ (mit $d\lambda/\lambda = 0,01$) gleichmäßig und mit der Leuchtdichte $L = 3 \cdot 10^{-4}$ Stilb strahlende Fläche – das Auge ist dann helladaptiert – ausreichende Größe besitzt, um gerade auf die *Fovea centralis* abgebildet zu werden. Die Bestrahlungsstärke an der Augenpupille ist dann $M\lambda\omega_F$ in Watt/cm², wenn $M\lambda$ das mechanische Lichtäquivalent für die betrachtete Wellenlänge und ω_F den Raumwinkel der *Fovea centralis* in bezug auf das Pupillenzentrum bedeuten.

¹ R. REITER und J. KAMPIK, *Neue Ergebnisse der Klimatologie und Biophysik* (Egge, Nürnberg 1948).

² J. WÜST, *Z. Wüschelrutenforschung* (1939).

³ H. ISRAËL, *Dtsch. Med. Wschr.* 75, 202 (1950).

⁴ E. SCHLIEPHACKE, *Kurzwellentherapie* (Jena 1935).

⁵ Vgl. hierzu auch die Zusammenstellung von R. SCHULZE, *Naturwiss.* 34, 238 (1947).

⁶ Die Herren Prof. H. GOLDMANN und Prof. H. KÖNIG in Bern hatten die Freundlichkeit, bei der Festlegung dieser Kurve mitzuwirken, wofür ich ihnen sehr dankbar bin.

¹ Eventuell unter Einschaltung von Unterbrechern, so daß nicht-kontinuierliche Schwankungen des Feldes, etwa stoßartige Störungen, entstehen, die möglicherweise anders wirken als sinusförmige Schwankungen.

² O. WYSS, *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 242, 215 (1939); 243, 457 (1940).

³ H. SCHAEFER, *Elektrophysiologie* (Wien 1940).

⁴ F. SCHEMINZKY, *Exper.* 4, 63 (1948).

Sind einmal durch die vorgeschlagenen Beobachtungen im künstlichen Feld – zu denen besonders die Physiologen anzuregen der Hauptzweck dieser Darlegungen ist, da das Schwergewicht dabei auf der physiologischen Beobachtungsmethodik liegen wird – genügend Unterlagen vorhanden, dann können, in ähnlicher Weise, wie das für die Schwankungen des Luftdruckes geschehen ist, auch für die Schwankungen der atmosphärisch-elektrischen Feldstärke die Beobachtungen natürlicher Feldschwankungen mit den gefundenen Wirksamkeitskurven verglichen werden, und es sollte auf diesem Wege möglich sein, zu einer abschließenden Beurteilung des hier dargestellten Teilbereiches des Wetterfähigkeitsproblems zu kommen.

Summary

For a long time it has been discussed by many authors whether changes of the state of health of men might be due to electrical influences. This paper undertakes to give an intuitive basis for such a discussion, as far as it concerns the influence of electric fields on men. This attempt goes parallel in scope and methods to previous papers on oscillations of air-pressure, taking from them mainly the method of drawing "spectra" of representative points of oscillations of the field. As is the case with pressure oscillations, such representative points of

observed oscillations of the electric field group themselves in coherent regions that are homogenous in regard to their physical conditions.

Upon drawing the curves of oscillations that correspond to PLANCK's law of radiation, the question of the spectral slit-width of the instruments used for observation comes to our attention. This problem is solved by an analysis of the possible methods of measuring field oscillations, and it is shown that always slit-widths can be used that have a constant ratio to the frequencies observed. By this the whole consideration is essentially broadened and completed. Concerning physical and geophysical aspects, there can be distinguished frequency ranges in the spectrum that are covered mainly by the laws of either electrostatics, electrodynamics, or quantum physics.

It is to be expected that influences on the state of health, possibly of different kinds, that are due to oscillations of the electrical field can be represented in the spectrum by systems of lines of like effectiveness. The sensibility curve of the eye that is adapted to daylight serves as an example for that. Other observations of such influences are known but little, so that corresponding lines in the spectrum cannot be assigned as yet. As, however, the explanation of meteoropathological effects could possibly be found in the spectrum of oscillations of the electric field of the atmosphere, experimental investigations on these effects using artificial field oscillations are recommended, which might yield the needed data and complete our knowledge essentially.

Brèves communications - Kurze Mitteilungen Brevi comunicazioni - Brief Reports

Les auteurs sont seuls responsables des opinions exprimées dans ces communications. – Für die kurzen Mitteilungen ist ausschließlich der Autor verantwortlich. – Per le brevi comunicazioni è responsabile solo l'autore. – The editors do not hold themselves responsible for the opinions expressed by their correspondents.

Zur antifokalen Keplerschen Bewegung

K. STUMPF¹ hat mittels numerischer Entwicklungen auf den praktischen Vorteil hingewiesen, welchen die Benutzung der antifokalen Anomalie² bei der Auflösung der Keplerschen Gleichung

$$x - t - \varepsilon \sin x = 0$$

bietet, und die geometrischen Analogien zwischen fokaler und antifokaler Anomalie abgeleitet³. Die von ihm konstatierte schnellere Konvergenz der Auflösung der Keplerschen Gleichung nach x beruht prinzipiell einfach darauf, daß in der Lagrange-Besselschen Entwicklung⁴

$$x = t + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} J_n(n\varepsilon) \quad (1)$$

¹ K. STUMPF, Astron. Nachr. 273, 179 (1943). – Vgl. auch Fiat Rev. German Sci. 20, 44 (1948).

² Bei den historischen Angaben übersieht STUMPF die Rolle, welche der Antifokus in den Planetentheorien des 17. Jahrhunderts spielte [vgl. J. O. FLECKENSTEIN, Gesnerus 7, 132 (1950)].

³ K. STUMPF, Astron. Nachr. 277, 55 (1949).

⁴ J. O. FLECKENSTEIN, Comment. Math. Helv. 13, 83 (1941).

bei der Ersetzung von ε in $-\varepsilon$ die Besselschen Funktionen die Relation

$$J_n(n\varepsilon) = (-1)^n J_n(n\varepsilon)$$

erfüllen, so daß die Reihe (1) alternierend wird.

Funktionentheoretisch ergänzt die antifokale Anomalie die singuläre Kurve der Keplerschen elliptischen Bewegung in der negativen imaginären Halbebene. Die Singularitäten der Funktion

$$w - l + \zeta \sin w = 0$$

erhält man aus

$$\frac{dw}{d\zeta} = - \frac{\sin w}{1 + \zeta \cos w}$$

für $1 + \zeta \cos w = 0$. Wegen $\cos w = -1/\zeta$ ergibt sich

$$i \sin w = \pm \sqrt{\frac{1}{\zeta^2} - 1},$$

so daß

$$e^{iw} = \cos w + i \sin w = e^{-i\zeta \sin w + il} = -\frac{1}{\zeta} \pm \sqrt{\frac{1}{\zeta^2} - 1}$$

wird, woraus

$$-\frac{1}{\zeta} \pm \sqrt{\frac{1}{\zeta^2} - 1} = e^{\mp \sqrt{1 - \zeta^2 + i l}} \quad (2)$$