Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 32 (1954)

Heft: 7

Artikel: Theoretische Feldstärken und Einfallswinkel der WWV-Frequenzen für den Empfang in Châtonnaye

Autor: Glinz, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874481

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bolt nicht erfasst. Das Auftreten dieser Tangentialkomponente, die durch den Druckgradienten parallel zur Wand erzeugt wird, kann natürlich weder durch Abdecken des Schluckstoffes mit einer Lochplatte noch durch Kassettierung des Schluckstoffes verhindert werden, es sei denn, dass die Querdimensionen der Kassettierung von der Grössenordnung der Teilchenamplituden sind, der Schluckstoff also genau dem *Rayleigh*-Modell entspricht.

Für einen homogenen Schluckstoff ohne Vorzugsrichtung, wie zum Beispiel die handelsübliche Glasfaserplatte, dürfte die Berechnung des Einflusses der Tangentialschnelle noch relativ leicht möglich sein. Da aber diese Platten zur Erzielung einer grösseren Wirksamkeit meist in einem gewissen Abstand vor der Wand montiert werden, was zu unübersichtlicheren Verhältnissen führt, wäre auch damit noch nicht viel gewonnen.

Theoretische Feldstärken und Einfallswinkel der WWV-Frequenzen für den Empfang in Châtonnaye

Von *C. Glinz*, Genf

621.396.722.029.58(494)

Zusammenfassung. *Für die Frequenzen 2,5...35 MHz der amerikanischen Station WWV in Beltsville werden die Einfallswinkel für den Empfang in Châtonnaye berechnet, wie sie nach den theoretischen Formeln der Radiowellenausbreitung zu erwarten sind. In Abweichung von der Methode CRPL erfolgt die Zerlegung der Raumwellen in die einzelnen Übertragungsarten von 2, 3,... Sprüngen zwischen der Erde und der ionosphärischen F_2-Schicht. Als Muster werden die Monate Dezember 1948 und Juni 1949, sowie die Greenwicher Zeiten 0300 und 1500 ausgewählt. Man beachtet den Einfluss verschiedener Höhen der F_2-Schicht und bespricht die Frage der höchsten brauchbaren Frequenz ausführlich. Der Rechengang enthält Korrekturterme für die Richtdiagramme der Sendeantennen und die Empfangsrhombusantennen, wie sie aus Messungen von J. Dufour entnommen werden konnten. Im weiteren werden die Leistungsunterschiede für die verschiedenen Frequenzen eingerechnet. Durch Kombination aller dieser Zahlen lassen sich die voraussichtlichen Feldstärkebeträge für Wahrscheinlichkeiten von 90%, 50% und 10% bestimmen. Die Übereinstimmung dieser Vorhersage mit den Beobachtungen von W. Ebert ist, in Anbetracht der in den theoretischen Rechengang eingeführten Vereinfachungen, befriedigend.*

1. Einleitung

In einer sehr ausführlichen Arbeit von *W. Ebert* [1] wurden die Empfangsbeobachtungen der WWV-Normalfrequenzen in Châtonnaye für die Zeit von Februar 1946 bis Juli 1949 besprochen. Im gleichen Zusammenhang führte die Forschungs- und Versuchsanstalt ausgedehnte Messungen der Richtdiagramme von Rhombus- und Rideau-Antennen dieser Empfangsstation durch, und zwar mit Hilfe der Besatzung eines Flugzeuges des Schweizerischen Luftamtes. Die Auswertungen und Ergebnisse wurden von *J. Dufour* [2] in einem Bericht zusammengefasst, der auszugsweise in den Technischen Mitteilungen [3] erschienen ist.

Diese Versuche, die recht gut mit den errechneten Richtdiagrammen übereinstimmen, zeigen die günstigsten Einfallswinkel für die verschiedenen Antennenanlagen an, um am Empfängereingang eine hohe HF - Spannung zu erzeugen. Rhombusantennen haben bekanntlich für bestimmte Einfallswinkel sehr ausgeprägte Empfangslappen, während sie für andere Winkel sehr unempfindlich sind. Als Ergänzung zu diesen beiden Berichten erschien es uns reizvoll, in einer rechnerisch-theoretischen Wellenausbreitungs-Studie zu untersuchen, was für Einfallswinkel für den Empfang der WWV-Frequenzen in Châtonnaye eigentlich zu erwarten sind.

Es muss zum voraus betont werden, dass man gezwungen ist, eine grosse Zahl von einschränkenden Vereinfachungen und Annahmen zu treffen. Beim heutigen Stand der Wissenschaft ist es noch nicht möglich, *sämtliche* wirksamen Faktoren bei der Abstrahlung, der Übertragung durch die Ionosphäre und der Aufnahme am Empfangsort genau zu bestimmen und in die Rechnung einzubauen. Aus diesem Grunde wäre es nicht erstaunlich, wenn eine allfällige praktische Messung der Einfallswinkel zu abweichenden Resultaten käme. Die anschliessend beschriebenen Verhältnisse auf der Strecke Beltsville-Châtonnaye dürften als *Muster des Übertragungsmechanismus* dennoch ihren Wert behalten.

2. Übertragungsstrecke

Die beiden Endpunkte der Übertragungsstrecke haben die folgenden geographischen Koordinaten:

Beltsville	38° 59′ 33″ N	76° 50′ 52″ W
Châtonnaye	46° 45′ 40″ N	6° 57′ 20″ E

Nach den Formeln der sphärischen Trigonometrie findet man daraus für den Grosskreisabstand D der beiden Stationen:

$$D = 6550 \text{ km}$$

Das Azimut von Beltsville aus beträgt 52° 40′ 18″, jenes von Châtonnaye aus 293° 35′ 10″. Nach der Berechnungsmethode des amerikanischen Central Radio Propagation Laboratory (CRPL) hat man ausserdem zwei Kontrollpunkte, je 2000 km vor dem Ende der Übertragungsstrecke, zu bestimmen. Deren Koordinaten sind:

P_1:	47° 58′ N	P_2: 51° 39′ N
	55° 19′ W	19° 44′ W

Der Grosskreis verläuft von Beltsville aus genau über Boston (700 km), über Neu-Fundland (2000 km, Kontrollpunkt P_1), über die Südwestspitze Englands, südlich von Cherbourg und Paris, über Dijon nach Châtonnaye. Der Kontrollpunkt P_2 liegt über Meer, rund 1000 km westlich der Südwestspitze Englands.

Es wäre wertvoll, die für unsere Strecke vorhergesagten und die beobachteten Zahlen zu vergleichen mit den Angaben, welche die Ionosphärenstationen liefern, die sich im gleichen Raume befinden und vertikale Lotungen der Ionosphäre ausführen. Leider ist das Netz dieser Stationen noch nicht sehr dicht. Ausserdem scheint es uns gewagt, alle Zahlen einer Station unbesehen auf Punkte zu übertragen, die ausserhalb eines Umkreises von etwa 500 km liegen. Am nützlichsten wären für uns vertikale Messungen des Ionosphärenzustandes über den beiden Kontrollpunkten. P_1 liegt im Bereich der neufundländischen Station St. John's, deren Beobachtungen jedoch für die beiden ausgewählten Monate Dezember 1948 und Juni 1949 nicht auffindbar waren. An ihrer Stelle wurden die Resultate von Boston verwendet. Anderseits hilft uns die Kenntnis des Ionosphärenzustandes in 300 km Höhe über Washington nichts, da die Frequenzen von WWV im benachbarten Beltsville auf dem Boden (in 0 km Höhe) abgestrahlt werden und die Ionosphäre erst in mehreren Hundert Kilometern Distanz erreichen. Ebenfalls zu weit abseits liegen die Stationen Slough (England), Bagneux (Frankreich) und Freiburg (Deutschland). Für die schweizerische Station Schwarzenburg gilt das Gleiche wie für Washington, und zudem stand sie für die betrachteten Zeitabschnitte noch nicht im regelmässigen Betrieb. Für das europäische Teilstück unserer Strecke wurden deshalb die Messungen der etwa 600 km von Châtonnaye entfernten französischen Station Poitiers berücksichtigt, deren Zahlen, gleich jenen von Boston, einer monatlichen Publikation des CRPL [4] entnommen werden konnten.

3. Geometrische Optik

Die Rechenmethode des CRPL [5] bildet, allerdings mit einigen wichtigen Ausnahmen, die Grundlage für unsere Untersuchung. Für den Erdradius setzen wir $R = 6367$ km ein. CRPL rechnet mit einer konstanten Höhe der F_2-Schicht von 320 km, die, als Funktion ihrer Ionisierung, wie ein Metallspiegel reflektiert. Die Welle dringt nicht in die Schicht ein und erfährt keine kontinuierliche Brechung. Wie verschiedene Messungen gezeigt haben, ist die Vorstellung im grossen Ganzen richtig, dass sich die Kurzwellen durch wiederholte Reflexionen im Zickzack zwischen der Ionosphäre und der Erde ausbreiten. Die Reflexionsverluste in der F_2-Schicht werden meistens vernachlässigt, während CRPL für jede Reflexion an der schlecht leitenden Erdoberfläche einen Feldstärkeverlust von 4 dB einsetzt. Diese Zahl dürfte sehr reichlich bemessen sein. Für Kurzwellen fallen Beugungserscheinungen längs der Erdoberfläche ausser Betracht; die so entstehenden *Bodenwellen* werden sehr stark absorbiert. Da die Troposphäre erst bei noch höheren Frequenzen zu wirken beginnt, verlaufen unsere *Raumwellen* zwischen der Erde und der Ionosphäre praktisch geradlinig. CRPL vernachlässigt ferner die Hohlspiegelwirkung des Systems, sowie für grössere Distanzen als 4000 km die Einflüsse der 105 km hohen E-Schicht (Abschirmung, selektive Absorption).

Mit Hilfe einer einfachen geometrischen Konstruktion lässt sich der Zusammenhang zwischen der Entfernung, die ein einzelner F_2-Sprung überbrückt, und dem Abgangs- oder Einfallswinkel (Winkel zwischen Erdoberfläche und Strahlrichtung) finden. Für grosse Abgangswinkel ist die überbrückte Entfernung klein,

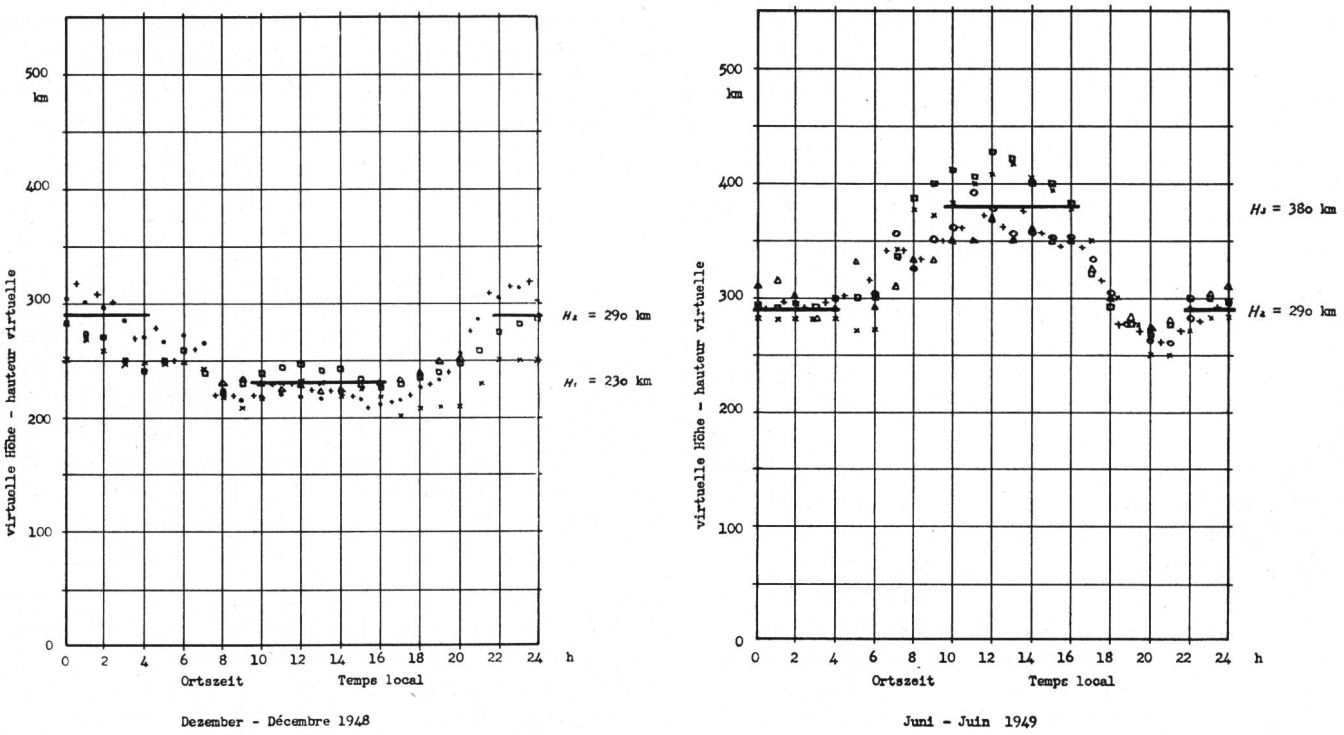

Fig. 1 und 2. Messungen der virtuellen Höhen der F_2-Schicht für sechs Ionosphärenbeobachtungsstationen

während zum kleinsten möglichen Abgangswinkel von 0° die maximale Entfernung von rund 4000 km gehört, die mit einem einzigen F_2-Sprung zu überbrücken ist.

Da unsere Grosskreisentfernung zwischen Sender und Empfänger 6550 km beträgt, genügt ein einziger Sprung an der 320 km hohen F_2-Schicht nicht, da negative Abgangswinkel unmöglich sind. Unsere Strecke kann aber bequem in zwei Sprüngen zurückgelegt werden, welche je 3275 km überbrücken. Abgangs- und Einfallswinkel sind aus Symmetriegründen in beiden Sprüngen gleich gross und betragen je 3° 23′. Ebenfalls realisierbar sind drei Sprünge über je 2183 km mit Winkeln von 11° 9′, sowie jeder beliebige höhere Modus.

Legt man der geometrischen Konstruktion eine andere Schichthöhe als 320 km zu Grunde, so ändern sich selbstverständlich die Winkel, sowie die maximale Entfernung für den Abgangswinkel 0°. Fig. 1 und 2 zeigen die Messungen der virtuellen Höhen der F_2-Schicht für die sechs Stationen Bagneux, Boston, Freiburg, Poitiers, Slough und Washington, die sich relativ wenig unterscheiden. Da der Ortszeitunterschied zwischen Sender und Empfänger nur 5 h 35 min beträgt, lassen sich folgende Mittelwerte bilden, die in der Rechnung als für die ganze Strecke gültig angenommen werden dürfen:

Tabelle I: Schichthöhen

Dezember 1948	bei Tag	230 km = H_1
	bei Nacht	290 km = H_2
Juni 1949	bei Tag	380 km = H_3
	bei Nacht	290 km = H_2

Die Umrechnung der virtuellen Höhen auf wahre Schichthöhen ist nicht nötig, da im Rahmen unserer Annahmen die Abgangswinkel für beide Strahlenwege gleich gross sind. Mit Hilfe dieser Schichthöhen berechnen wir die Winkel für einige Übertragungsarten. Zur Vereinfachung wird in den folgenden Tabellen an Stelle von F_2 nur F gesetzt.

Tabelle II: Abgangs- und Einfallswinkel für verschiedene Schichthöhen

Modus	Grosskreissprungweite	Abgangs- und Einfallswinkel für eine Schichthöhe von			
		320 km CRPL	230 km Dez. Tag	290 km Dez. + Juni Nacht	380 km Juni Tag
2 F	3275 km	3° 23′	0° 27′	2° 24′	5° 16′
3 F	2183	11° 9′	6° 46′	9° 38′	13° 44′
4 F	1638	17° 18′	11° 44′	15° 24′	20° 33′
5 F	1310	22° 41′	16° 4′	20° 27′	26° 26′
6 F	1092	27° 29′	20°	24° 58′	31° 35′
7 F	933	31° 40′	23° 44′	29° 11′	36° 13′
8 F	819	35° 27′	27° 2′	32° 51′	40° 10′

Mit den Angaben der *Tabelle II* ist unser Ziel aber noch lange nicht erreicht, da wir zuerst prüfen müssen, ob die Feldstärke jedes einzelnen Modus überhaupt gross genug ist, um am Empfangsort einen Ausschlag eines Messinstrumentes zu erzeugen. Zu diesem Zweck müssen wir in erster Linie die von jedem Strahl durchlaufene Gesamtstrecke (Zickzackweg) berechnen und die Abnahme der Feldstärke längs dieses Weges bestimmen. Für die Streckenberechnung benützen wir die gleiche geometrische Konstruktion wie für die Winkel. Längs dieses Weges r ändert sich die freie, nichtabsorbierte Feldstärke, gemäss der Kugelwellenformel, wie $1/r$. Es ist praktischer, den Dezibelmaßstab einzuführen und als Referenzfeldstärke den Betrag von 300 mV/m oder 109,5 dB über 1 μV/m zu wählen. Diese Feldstärke wird von einer kurzen vertikalen Antenne auf idealem Boden in 1 km Horizontalentfernung erzeugt, wenn die Strahlungsleistung 1 kW beträgt. Von diesem Referenzpegel sind ausser dem Dekrement für die durchlaufene Strecke r noch 4 dB für jede Reflexion an der Erdoberfläche, sowie 4,6 dB für Interferenz- und Polarisationsschwund zu subtrahieren [5]. Für grössere Schichthöhen nimmt die durchlaufene Strecke zu, doch sind die Unterschiede wegen des logarithmischen Maßstabes viel weniger auffällig als bei den Abgangswinkeln.

Tabelle III: Freie, nicht absorbierte Feldstärke für verschiedene Schichthöhen

Modus	durchlaufene Strecke r für H_2 = 290 km Nacht	Feldstärke F_v für eine Schichthöhe von		
		230 km Dez. Tag	290 km Dez. + Juni Nacht	380 km Juni Tag
2 F	6778 km	24,4 dB	24,3 dB	24,1 dB
3 F	6907	20,3	20,1	19,9
4 F	7082	16,1	15,9	15,5
5 F	7296	11,9	11,6	11,1
6 F	7548	7,7	7,3	6,7
7 F	7815	3,5	3,0	2,2
8 F	8149	–0,7	–1,3	–2,3

Aus *Tabelle III* geht hervor, wie die Übertragungsarten mit mehreren Sprüngen, hauptsächlich wegen der Erdreflexionsverluste, zunehmend benachteiligt sind.

4. Antennen-Richtdiagramme und Leistungskorrekturen

Da die Sendeantennen nicht für alle Winkel gleich viel Energie abstrahlen, und auch die Empfangsantennen nicht für alle Winkel gleich viel Energie aufnehmen, müssen wir weitere Korrekturen zu den Werten von *Tabelle III* beifügen, die wir aus den Richtdiagrammen der Antennen entnehmen können.

Die in Beltsville stehende Sendeanlage mit dem Rufzeichen WWV, welche vom amerikanischen National Bureau of Standards betrieben wird, umfasst acht Sender, die ausser Zeitzeichen und Warnungen vor Störungen in der Radiowellenausbreitung über den Nordatlantik dauernd ein Normalfrequenzprogramm

auf 2,5, 5, 10, 15, 20, 25, 30 und 35 MHz ausstrahlen. Nach einer freundlichen Mitteilung des CRPL werden als Antennen vertikale Rundstrahler verwendet, und zwar beträgt die Antennenhöhe der Anlage für 2,5 MHz ein Viertel der Wellenlänge, während sie für alle übrigen Frequenzen der halben Wellenlänge entspricht. Die Leitfähigkeit des Erdbodens in der Senderumgebung liegt schätzungsweise in der Mitte zwischen «gut» und «schlecht», das heisst bei etwa 4.10^{-14} elektromagnetischen Einheiten.

Durch Mittelung zweier Strahlungsdiagramme für Vertikalantennen und «guten» und «schlechten» Erdboden [6] lassen sich die Korrekturen für die Senderseite, für die 8 Frequenzen und alle Winkel der *Tabelle II* bestimmen. Sie sind, als Beispiel für die Schichthöhe 290 km, in *Tabelle IV* enthalten.

Tabelle IV: Richtdiagramm-Korrekturen für die Sendeseite
Tableau IV: Corrections relevées sur les diagrammes directifs pour le côté émission

Modus Mode de transmission	Winkel Angle (290 km)	Frequenz – Fréquence							
		2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	35 MHz
2 F	2° 24′	—13,9 dB	—14,4 dB	—15,7 dB	—16,0 dB	—16,2 dB	—16,2 dB	—16,2 dB	—16,2 dB
3 F	9° 38′	— 6,5	— 6,4	— 7,3	— 7,3	— 7,4	— 7,4	— 7,5	— 7,5
4 F	15° 24′	— 5,2	— 5,2	— 5,6	— 5,6	— 5,6	— 5,6	— 5,6	— 5,6
5 F	20° 27′	— 4,8	— 5,1	— 5,5	— 5,5	— 5,4	— 5,4	— 5,3	— 5,3
6 F	24° 58′	— 4,7	— 5,7	— 5,8	— 5,7	— 5,6	— 5,5	— 5,4	— 5,3
7 F	29° 11′	— 4,8	— 6,5	— 6,5	— 6,3	— 6,1	— 6,0	— 5,9	— 5,8
8 F	32° 51′	— 5,0	— 7,3	— 7,3	— 7,1	— 6,9	— 6,8	— 6,6	— 6,4

Analoge Korrekturen lassen sich für die beiden andern Schichthöhen und die dazugehörigen Winkel gemäss *Tabelle II* bestimmen. Setzt man *Tabelle IV* mit *Tabelle III* zusammen, so findet man die in Châtonnaye *einfallende* Feldstärke, unter der Annahme, dass die Antennen von WWV mit je 1 kW gespeist werden.

Für die Empfangsantennen bilden wir das Mittel der Messungen von *J. Dufour* [2, 3] für die beiden Rhomben I und III, wobei die wahren Einfallswinkel der Fig. 11 von [2] entnommen werden können. Eine bequeme Dezibelskala lässt sich mit folgender Maßstabtransformation finden:

für 5, 25 und 30 MHz:

$$100 \text{ mm} \mathrel{\widehat{=}} 2000\ \mu\text{V} \mathrel{\widehat{=}} 600 \frac{\text{mV}}{\text{m}} \mathrel{\widehat{=}} +\ 6 \text{ dB}$$

für 10, 15 und 20 MHz:

$$100 \text{ mm} \mathrel{\widehat{=}} 4000\ \mu\text{V} \mathrel{\widehat{=}} 1200 \frac{\text{mV}}{\text{m}} \mathrel{\widehat{=}} +\ 12\text{dB}$$

Die gefundenen Richtdiagramme stimmen nach Lage und Betrag der Maxima recht gut mit den Angaben für die amerikanische Normantenne «Rhombus Typ E» überein [6], entsprechend den geometrischen Abmessungen:

	Châtonnaye	*Rhombus Typ E*
Rhombusseitenlänge . .	84,2 m	82,5 m
Rhombusöffnungswinkel	63° 30′	65°
Mittlere Höhe über Boden	20 m	16 m

Tabelle V enthält, wiederum als Beispiel für die Schichthöhe 290 km, die Korrekturen für Châtonnaye.

Für die Frequenz von 2,5 MHz übernehmen wir die Zahlen der Normantenne Typ E, für 35 MHz setzen wir der Einfachheit halber jene von 30 MHz ein. Da die Frequenz 35 MHz gemäss den Beobachtungen von *W. Ebert* [1] nur sehr selten empfangen werden kann, fällt der dabei gemachte Fehler nicht stark ins Gewicht.

Tabelle V: Richtdiagramm-Korrekturen für die Empfangsseite
Tableau V: Corrections relevées sur les diagrammes directifs pour le côté réception

Modus Mode de transmission	Winkel Angle	Frequenz – Fréquence					
		5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz
2 F	2° 24′	—28 dB	—22 dB	+ 7,3 dB	+10,1 dB	—0,9 dB	—14 dB
3 F	9° 38′	— 7,1	+ 8,7	+11,3	+12,4	+0,8	— 5,7
4 F	15° 24′	— 2,4	+ 9,2	+11,2	+ 8,7	—4,5	— 7,1
5 F	20° 27′	+ 0,4	+ 8,7	+ 9,0	+ 3,7	—4,5	+ 2,9
6 F	24° 58′	+ 2,7	+ 8,0	+ 1,6	— 2,8	+4,8	+ 0,7
7 F	29° 11′	+ 4,2	+ 6,4	+ 0,4	— 2,0	+7,1	— 5,4
8 F	32° 51′	+ 5,1	+ 4,1	— 3,9	+11,4	+3,4	— 4,5

Tabelle VI: Leistungen für die verschiedenen Frequenzen

Frequenz	Leistung	Pegel
2,5 MHz	0,7 kW	—1,5 dB
5	8	+ 9
10	9	+ 9,5
15	8	+ 9
20	8,5	+ 9,3
25	0,1	—10
30	0,1	—10
35	0,1	—10

In Wirklichkeit betragen die den verschiedenen Antennen zugeführten Leistungen nicht genau 1 kW, so dass wir eine weitere Korrektur einführen müssen. Nach der Mitteilung des CRPL gilt für unsere Beobachtungsperiode *Tabelle VI*, mit dem Bezugspegel 1 kW $\widehat{=}$ 0 dB:

Alle diese Zusätze sind den Zahlen der *Tabelle III* zuzufügen, um die zu erwartende Feldstärke am Empfangsort zu bestimmen. Das Ergebnis *(Tabelle VII)* gilt *unter der Voraussetzung*, dass die F_2-Schicht wirklich sämtliche Frequenzen reflektiert, als wäre sie ein Metallspiegel, und dass tiefere Ionosphärenschichten (E und D) die durchstossenden Strahlen nicht dämpfen.

Tabelle VII: Zu erwartende, nichtabsorbierte Feldstärke – **Tableau VII:** Intensité de champ non absorbée probable

Modus Mode de transmission	Zeit – temps	2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	35 MHz
2 F	Nacht – Nuit	—21 dB	—9,1 dB	— 3,9 dB	24,6 dB	27,5 dB	— 2,8 dB	—15,9 dB	—15,9 dB
	Wintertag – jour d'hiver	Keine Übertragung, da Abgangswinkel 0° 27′ zu klein – pas de transmission, angle d'émission 0° 27′ trop faible							
	Sommertag – jour d'été	—17	6,7	30,4	34,1	34,4	3,4	— 3,4	— 3,4
3 F	Nacht – nuit	—16	15,6	31,0	33,1	34,4	3,5	— 3,1	— 3,1
	Wintertag – jour d'hiver	—19	7,2	28,6	31,1	32,4	1,2	— 5,1	— 5,2
	Sommertag – jour d'été	—11,5	20,2	32,7	34,5	33,2	— 0,5	— 4,0	— 4,0
4 F	Nacht – nuit	—13,3	17,3	29,0	30,5	28,3	— 4,2	— 6,8	— 6,8
	Wintertag – jour d'hiver	—17,3	14,0	28,2	28,5	30,4	1,0	— 7,0	— 7,0
	Sommertag – jour d'été	— 9,3	19,8	28,2	28,0	23,1	— 4,4	3,1	3,1
5 F	Nacht – nuit	—13,2	15,9	24,3	24,1	19,2	— 8,3	— 0,8	— 0,8
	Wintertag – jour d'hiver	—16,2	13,8	25,0	26,4	23,9	— 8,2	— 9,1	— 9,1
	Sommertag – jour d'été	— 8,9	17,3	22,2	6,3	6,7	1,7	— 5,3	— 5,2
6 F	Nacht – nuit	—13,7	13,3	19,0	12,2	8,2	— 3,4	— 7,4	— 7,3
	Wintertag – jour d'hiver	—17,1	11,8	20,4	20,5	15,7	—12,2	— 5,5	— 5,5
	Sommertag – jour d'été	—10,7	13,6	14,5	7,8	17,8	— 4,8	—15,3	—15,2
7 F	Nacht – nuit	—15,3	9,7	12,4	6,1	4,2	— 5,9	—18,3	—18,2
	Wintertag – jour d'hiver	—18,7	9,1	15,5	12,9	6,2	— 8,2	— 9,5	— 9,4
	Sommertag – jour d'été	—14,1	8,0	1,6	1,3	15,7	—19,9	—18,2	—18,1
8 F	Nacht – nuit	—18,8	5,5	5,0	— 3,3	12,5	—14,7	—22,4	—22,2
	Wintertag – jour d'hiver	—19,9	5,8	9,4	3,1	—11,2	— 9,2	—18,9	—18,8
	Sommertag – jour d'été	—17,8	2,0	—10,1	— 0,7	6,3	—27,0	—20,9	—20,8

5. Zwei Auswahlbedingungen

Darüber, ob eine bestimmte Frequenz mit diesem oder jenem Modus (und mit zugehörigem Einfallswinkel) wirklich zu empfangen sei, entscheiden zwei Auswahlbedingungen:

1. Die *reflektierende* F_2-Schicht muss an *allen* geometrischen Reflexionpunkten genügend stark ionisiert sein, um ein Entweichen des Strahls aus dem System Erde-Ionosphäre zu verhindern.
2. Die *absorbierende* D-Schicht darf die Welle nicht so stark dämpfen, dass ihre Feldstärke unter den Störpegel oder das Empfängerrauschen sinkt.

Die Einflüsse der E-Region, die wir zur Vereinfachung ausser Betracht lassen, wären als dritte Auswahlbedingung aufzufassen.

Die Bedingung hinreichender Reflexion kann den Kurvenscharen der sogenannten MUF (maximum

usable frequency) entnommen werden. Mit MUF bezeichnet man den Medianwert der höchsten Frequenz, welche durch einen gegebenen Ionisationszustand reflektiert wird. Die MUF ist in erster Linie von der zu überbrückenden Entfernung abhängig, daneben aber auch von der Tages- und Jahreszeit, von der Sonnenfleckenrelativzahl und von der geographischen und geomagnetischen Lage. Hält man die übrigen Parameter fest, so nimmt die MUF mit wachsender Entfernung zu. Aus unserer geometrischen Konstruktion ersehen wir, dass der Abgangswinkel für wachsende Entfernungen abnimmt und dass gleichzeitig der Strahl immer flacher in die Ionosphäre einfällt. Aus diesem Grunde werden immer höhere Frequenzen reflektiert, obwohl die Elektronendichte der F_2-Schicht konstantgehalten wird. Die MUF erreicht ihr Maximum für den Abgangswinkel 0°, das heisst für eine Entfernung von rund 4000 km (bei einer Schichthöhe von 320 km). Die kleinsten MUF-Werte findet man anderseits bei den senkrechten Echolotungen der Ionosphären-Beobachtungsstationen, wobei der Abgangswinkel 90°, die Entfernung 0 km betragen. Anschaulich ausgedrückt, erfordert die Umlenkung des senkrecht aufsteigenden Strahls um 180° mehr Aufwand, als eine kleine Richtungsänderung bei flachem Einfall. Dieselbe gegebene Elektronendichte vermag bei senkrechtem Einfall (0 km) beispielsweise Frequenzen bis 10 MHz zu reflektieren, bei flachem Einfall (4000 km) dagegen bis 30 MHz.

Auf Grund ihrer Messungen geben zahlreiche Organisationen regelmässige *Vorhersagen* der MUF für bestimmte Verbindungen oder für die ganze Erde heraus. Die bekannteste Veröffentlichung sind die «Basic Radio Propagation Predictions» des CRPL [7]. Für längere Strecken als 4000 km genügt es nach dieser Methode, die Bedingungen der MUF in den beiden Kontrollpunkten (je 2000 km vor dem Ende der Strecke) aufzustellen und den ungünstigsten Wert auszuwählen, der dann für die ganze Übertragungsstrecke gültig ist. In unserem Falle ist zu beachten, dass Kontrollpunkt P_1 in der geomagnetischen Zone W, Kontrollpunkt P_2 in der Zone I liegt. Die nach der Methode CRPL (*ohne* Beachtung der Schichten E und E_s) berechneten MUF-Kurven für Dezember 1948 und Juni 1949 sind in den Fig. 3 und 4 dargestellt. Diese Methode, wie auch die Feldstärkeberechnung für lange Strecken, hat ihre unbestrittenen Vorzüge, nämlich auf einfache Weise und in kurzer Zeit brauchbare Kurven und Zahlen zu liefern. Anderseits sind darin schwerwiegende Nachteile enthalten, da die ursprüngliche Grundlage nur in empirischen Kenntnissen und Faustformeln bestanden hatte. Es sind Vorarbeiten im Gange, die Unstetigkeiten beim Übergang aus einer Zone in die andere zu beseitigen. Noch wichtiger scheint uns der *Ersatz* der bisherigen Kontrollpunktbetrachtung durch eine Methode, welche die MUF *für jeden Reflexionspunkt jedes einzelnen Modus* prüft.

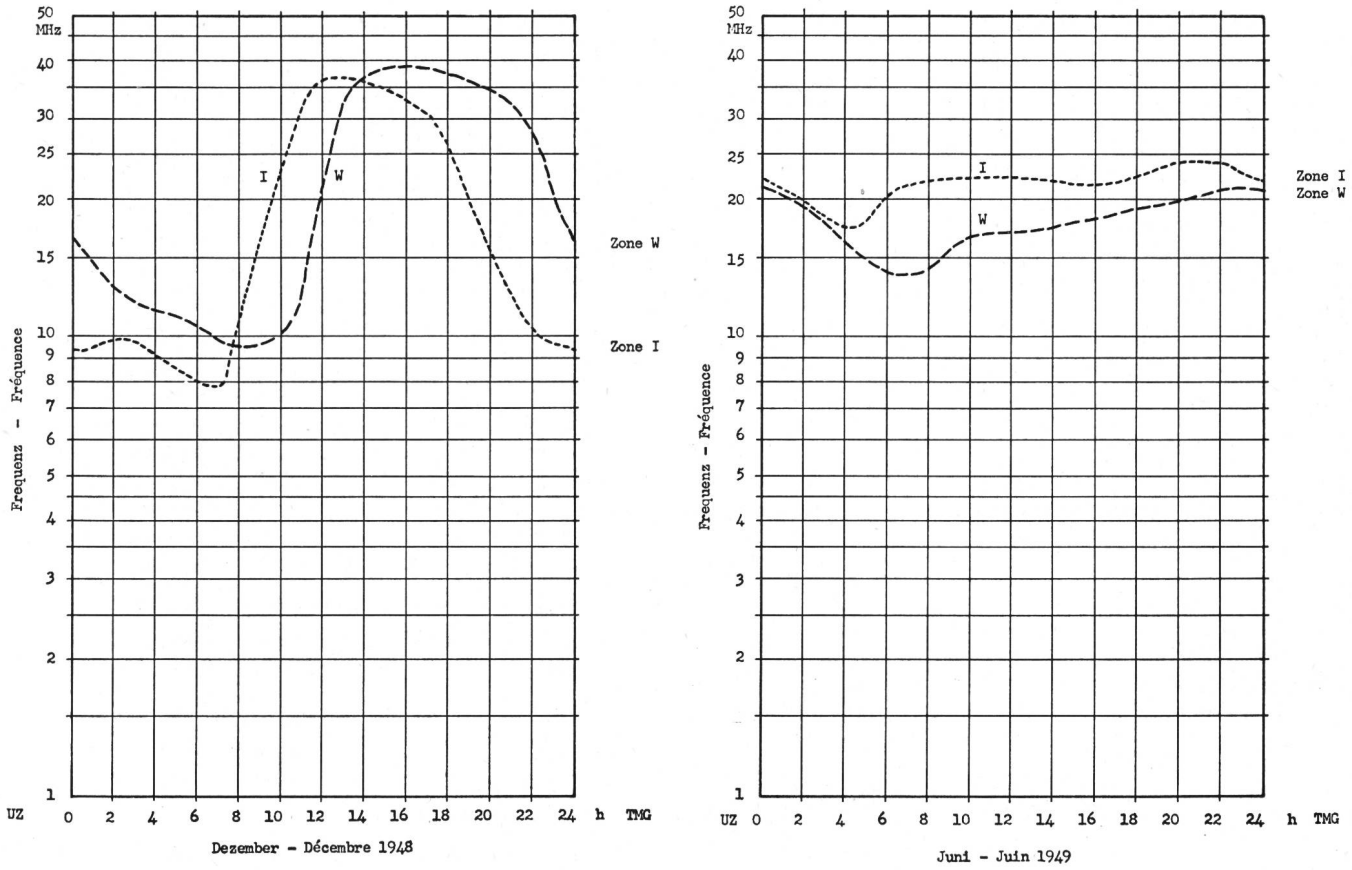

Fig. 3 und 4. MUF-Kurven nach der Methode CRPL, ohne Beachtung der Schichten E und E_s

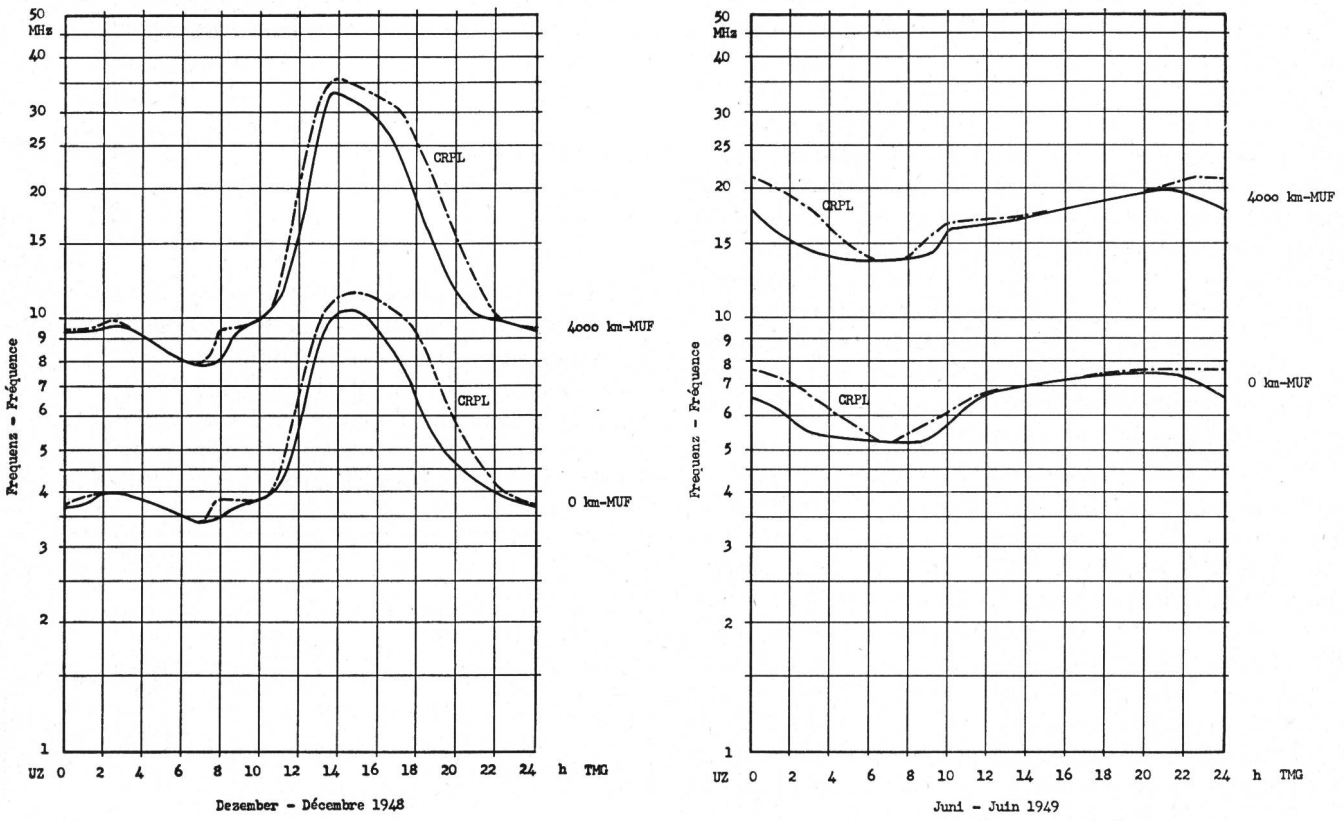

Fig. 5 und 6. Vergleich der MUF-Kurven nach CRPL und nach einer der Methode SPIM angenäherten Behelfsmethode

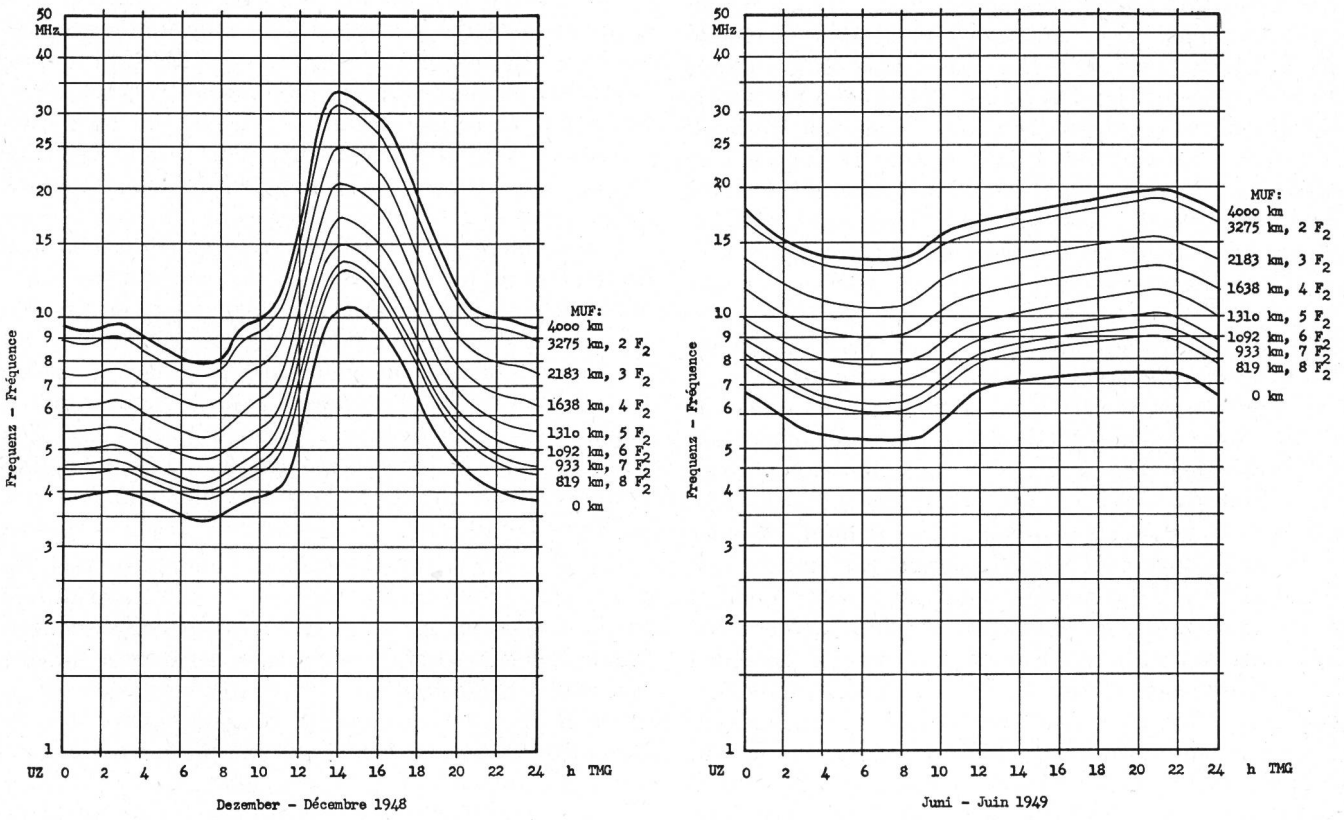

Fig. 7 und 8. MUF-Kurven für die einzelnen Übertragungsarten 2...8 F_2 zwischen Beltsville und Châtonnaye

Diese mehr analytische Berechnung wurde von *K. Rawer* [8] beschrieben und den Vorhersagen des SPIM (Service des Prévisions Ionosphériques Militaire) zu Grunde gelegt. Untersuchen wir zum Beispiel den Modus 4 F_2 auf unserer Strecke, so liegen die vier ionosphärischen Reflexionspunkte in Entfernungen von 819, 2457, 4095 und 5733 km von Beltsville. Infolge des Ortszeitunterschiedes dieser vier Punkte ist die Ionisation nicht überall gleich gross, und folglich auch die MUF nicht. Es leuchtet ein, dass der kleinste der vier MUF-Werte die Übertragung über die ganze Strecke steuert. Eine Frequenz, die höher liegt als der kleinste MUF-Wert, würde an einer Reflexionsstelle unser System verlassen und würde den Empfänger nicht erreichen.

Behelfsmässig lassen sich auch die Prognosen-Nomogramme des CRPL [7] als Ionisationskarten für diese analytische Berechnung verwenden. Der Übertragungsweg wird, wie üblich, auf ein Transparentpapier gezeichnet. An beiden Enden des Weges darf man die ersten 500 km abschneiden, da sie für ionosphärische Reflexionspunkte nicht in Frage kommen. Ausserdem wird die Grenze zwischen Zone W und Zone I markiert. Dieses Transparent wird auf die 4000 km-MUF-Karte einer Zone gelegt. Man bestimmt nun nicht mehr die MUF des Kontrollpunktes als Funktion der Tageszeit, sondern liest für alle 1 oder 2 Stunden die *kleinste* MUF ab, die man für das zu prüfende Teilstück der Übertragungsstrecke in irgend einem Punkte findet. Aus den Tabellen der beiden Zonen ist jeweils der niedrigere Wert als für die ganze Strecke gültig auszulesen. Fig. 5 und 6 zeigen den Vergleich der reinen Kontrollpunktsmethode nach CRPL und unserer, auf SPIM gegründeter Behelfsmethode. Im Dezember 1948 liegen besonders die Nachmittagswerte der neuen Minimum-Methode deutlich niedriger. So findet man z. B. für 18 Uhr Greenwicherzeit auf der 4000 km-Kurve nur 19 MHz anstatt 26 MHz. Im Juni 1949 sind anderseits die Nachtwerte tiefer als die Zahlen der Kontrollpunktsmethode, die in diesem Falle für alle 24 Stunden aus der Zone W stammen.

In analoger Weise lässt sich die Minimumkurve für 0 km Entfernung bestimmen. Unser Hauptinteresse gilt aber weder der MUF für 4000 km noch jener für 0 km, sondern der MUF für unsere verschiedenen Übertragungsarten 2, 3,...8 F_2 mit den zugehörigen Entfernungen 3275, 2183, ...819 km *(Tabelle II)*. Diese Zwischenwerte lassen sich mit Hilfe des Nomogramms in Fig. 6.17 von [5] finden. Sie sind in den Figuren 7 und 8 dargestellt. Aus diesen beiden Figuren kann ohne weiteres abgelesen werden, welches die höchsten brauchbaren Frequenzen für die einzelnen Übertragungsarten sind. In *Tabelle VIII* sind als Beispiel einige aus Figur 7 entnommene Werte angegeben.

Es ist aufschlussreich, die Vorhersagen für unsere Strecke mit den Vertikalbeobachtungen der MUF (auch ZERO-MUF oder Grenzfrequenz f_{crit} genannt) der beiden Stationen Boston und Poitiers zu vergleichen. Nach einigen Umrechnungen lassen sich gleichartige Kurven für 0 und 3000 km gewinnen, die eine befriedigende Übereinstimmung von Prognose und Messung für die MUF aufzeigen, während die Sonnenfleckenzahlen stärker auseinander fallen.

Tabelle VIII: MUF für Dezember 1948, 3 Uhr Greenwicher Zeit

2 F	MUF = 9,2 MHz
3 F	7,7
4 F	6,5
5 F	5,7
6 F	5,1
7 F	4,7
8 F	4,5

Tabelle IX: Sonnenflecken-Relativzahlen in Vorhersage und Beobachtung

	Dez. 1948	Juni 1949
arithmetisches Monatsmittel $\overline{R}$		
Prognose	—	—
Beobachtung	138	121
gleitendes Monatsmittel $\overline{\overline{R}}$		
Prognose	114	108
Beobachtung	139	136

Für die Frequenzen liegen die Abweichungen innerhalb von $\pm$ 20 %, was in Anbetracht anderer, unbekannter Einflüsse auf die Wellenausbreitung als nicht so schwerwiegend gelten dürfte.

Die Grundlagen für die *Absorptionsbedingung* entnehmen wir Kap. 7 von [5]. Die Nomogramme ergeben zwar nur die gesamte Absorption, da CRPL für grosse Distanzen keine Zerlegung in einzelne Übertragungsarten 2 F_2, 3 F_2 usw. kennt. Doch gilt für diese Entfernungen mit guter Näherung die Regel, dass der Betrag der Absorption für jeden Modus ungefähr gleich gross ist. Der Strahl des Modus 3 F_2 durchstösst die absorbierende D-Schicht im ganzen sechsmal, dafür sind die in der D-Schicht liegenden Teilstücke, entsprechend dem steileren Durchstoss, kürzer. Für den Modus 2 F_2 treten nur 4 Durchstösse auf, dafür sind die der Absorption ausgesetzten Teilstücke grösser. Die Länge dieser Teilstücke lässt sich mit einem Sekans-Gesetz berechnen. Es zeigt sich, dass das Produkt aus Teilstücklänge in der D-Schicht und Durchstosszahl praktisch konstant bleibt, und damit auch der Totalbetrag der Absorption für jeden Modus.

Da es völlig ausgeschlossen ist, die theoretisch zu erwartende Feldstärke für die ganze mehrjährige Registrierperiode für 24 Stunden und alle Frequenzen in nützlicher Frist zu berechnen, wurden zwei Monate und zwei Tageszeiten als Prüfmuster herausgegriffen, nämlich die bereits mehrmals genannten Monate Dezember 1948 und Juni 1949 und die beiden Tageszeiten 3 Uhr und 15 Uhr Greenwicher Zeit (Universalzeit UZ oder Greenwich Mean Time GMT), wofür die Beobachtungen vollständig vorhanden waren.

Gemäss den Unterschieden der geographischen Länge finden wir folgende mittlere Ortszeiten *(Tabelle X)*:

Tabelle X: Ortszeiten

		Nacht = N	Tag = T	
Beltsville	77° W	2153	0953	
Greenwich	0°	0300	1500	(GMT)
Châtonnaye	7° E	0328	1528	
Meridian	15° E	0400	1600	(MEZ)

Der gesamte Ortszeitunterschied zwischen Sender und Empfänger beträgt 5 h 35 min. Aus *Tabelle X* geht hervor, dass Kolonne N den Zustand «Nacht» auf der ganzen Strecke (wenigstens auf der Erdoberfläche) beschreibt, Kolonne T dagegen den Zustand «Tag». Bei genauer Durchrechnung findet man für die Zeit kleinster Absorption 0200 UZ, so dass im Juni 1949 die tieferen Frequenzen um 0300 bereits wieder schwach absorbiert werden.

Mit Hilfe der verschiedenen Nomogramme aus Kap. 7 von [5] findet man folgende Absorptionskenngrössen, auf die im übrigen nicht näher eingegangen werden soll *(Tabelle XI)*.

Tabelle XI: Absorptionskenngrössen für 1500 UZ

	Dezember 1948	Juni 1949
K_1	0,42	0,87
K_2	0,22	0,73
K_1+K_2	0,64	1,60
D'	6,55	6,55
Kd	2,2	5,7
J	1,3	1,0
R	139	136
Q	1,695	1,68
Ad	4,85	9,6

Die endgültigen Absorptionsbeträge für die verschiedenen Frequenzen sind in *Tabelle XII* zusammengestellt.

Tabelle XII: Absorptionsbeträge

Frequenz	Dezember 1948		Juni 1949	
	0300 UZ	1500 UZ	0300 UZ	1500 UZ
2,5 MHz	0 dB	125 dB	8 dB	225 dB
5	0	115	1,5	175
10	0	29,5	0	58,5
15	0	13,5	0	27,5
20	0	8	0	16
25	0	5	0	10
30	0	3,5	0	7
35	0	2,5	0	5

6. Theoretische Ergebnisse für die einzelnen Frequenzen

Unsere Untersuchung lässt sich im folgenden noch etwas verfeinern. Es entspricht allgemeiner Abmachung, dass unter dem Begriff der MUF, wie wir ihn bisher im Text und in den Figuren 3 bis 8 verwendet haben, der *Medianwert* zu verstehen ist. Ebenso stellen unsere Feldstärkeangaben den Medianwert dar. Die Erfahrung zeigt, dass die Vorgänge in der Ionosphäre statistischen Gesetzen folgen und dass die einzelnen Messungen stets über einen gewissen Bereich verstreut sind. Anschauliche Beispiele dieser täglichen Schwankungen sind die Beobachtungen von *W. Ebert* [1] (Fig. 4 bis 7). Aus diesem Grunde ist es angezeigt, auch die Streubreite der Messungen zu untersuchen.

Als Medianwert ist jener Wert definiert, der von 50% der Messwerte (oder während 50% der Zeit) überschritten wird. Lesen wir zum Beispiel in Fig. 7 eine MUF von 10 MHz heraus, so bedeutet das, dass die Messwerte für beliebige 15 Tage des Monats Dezember 1948 gleich oder grösser als 10 MHz, für andere 15 Tage gleich oder kleiner als 10 MHz sind. Halten wir diesen MUF-Medianwert von 10 MHz fest, und prüfen wir drei verschiedene Arbeitsfrequenzen, so lassen sich drei Beträge der *Wahrscheinlichkeit W* einer Reflexion in der Ionosphäre angeben.

Wählen wir die Arbeitsfrequenz f_1 gleich der MUF, so beträgt die Wahrscheinlichkeit der Reflexion 50%, denn die tägliche MUF liegt an 15 Tagen, entsprechend ihrer Streuung, höher als 10 MHz:

$$f_1 = MUF \quad , \quad W = 50\ \%$$

Wählen wir die Arbeitsfrequenz f_2 gleich 85 % der MUF, so steigt, unter der Annahme einer normalen Verteilung, die Wahrscheinlichkeit der Reflexion auf 90%:

$$f_2 = 0{,}85\ MUF = FOT, \quad W = 90\%.$$

Die tägliche MUF liegt nur etwa an 3 Tagen tiefer als 8,5 MHz. Als *Faustregel* für die Praxis drahtloser Verbindungen gilt daher: man arbeite zweckmässig nicht auf der MUF, sondern auf der um 15 % niedrigeren FOT (fréquence optimum de travail). Die Arbeitsfrequenz noch viel weiter zu senken, ist nicht ratsam, da dadurch die Absorption immer mehr hervortritt, obwohl die Reflexionswahrscheinlichkeit nahezu 100% beträgt.

Wählen wir umgekehrt die Arbeitsfrequenz f_3 = 115% der MUF, so sinkt die Wahrscheinlichkeit der Reflexion auf 10%; die tägliche MUF liegt etwa an 3 Tagen so hoch, dass auch f_3 reflektiert wird:

$$f_3 = 1{,}15\ MUF = UDF, \quad W = 10\ \%$$

Im Gegensatz zur FOT, ist diese um 15 % *höher* als die MUF liegende Frequenz bisher in der Praxis recht unbeachtet geblieben. Sie tritt auch nur in besonderen Fällen auf, zum Beispiel in der Prüfung der gegenseitigen Störung zweier Sender derselben Frequenz. Aus diesem Grunde hat diese Frequenz auch noch keinen allgemein anerkannten Namen. Man könnte sie, entsprechend dem Begriff des Medianwertes aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung, als *oberen Dezilwert* bezeichnen. In einer Diskussion mit Herrn *N. H. Roberts*, Mitglied des Comité international d'enregistrement des fréquences (IFRB = International Frequency Registration Board) entstand auf diese Weise die vorläufige Bezeichnung mit UDF = Upper Decile

Tabelle XIII: Theoretisch zu erwartende Feldstärke – **Tableau XIII:** Intensité de champ théorique

Frequenz Fréquence	Monat Mois	Universal-zeit Temps TMG	Wahrschein-lichkeit *W* Proba-bilité *W*	Reflexion Réflexion	Geometrische Summe Somme géométrique	Korrektur n. Rayleigh Correction sel. Rayleigh	Absorption	Feldstärke Intensité de champ
2,5 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	2...8 F	— 6,7 dB	—8 dB	0 dB	—14,7 dB
			50%	2...8 F	— 6,7	0	0	— 6,7
			10%	2...8 F	— 6,7	+5	0	— 1,7
	Juni – juin 49	0300	90%	2...8 F	— 6,7	—8	— 8	x
			50%	2...8 F	— 6,7	0	— 8	—14,7
			10%	2...8 F	— 6,7	+5	— 8	— 9,7
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3...8 F	—10	—8	—125	x
			50%	3...8 F	—10	0	—125	x
			10%	3...8 F	—10	+5	—125	x
	Juni – juin 49	1500	90%	2...8 F	— 3,2	—8	—225	x
			50%	2...8 F	— 3,2	0	—225	x
			10%	2...8 F	— 3,2	+5	—225	x
5 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	2...4 F	19,5	—8	0	11,5
			50%	2...6 F	21,8	0	0	21,8
			10%	2...8 F	22,2	+5	0	27,2
	Juni – juin 49	0300	90%	2...8 F	22,2	—8	— 1,5	12,7
			50%	2...8 F	22,2	0	— 1,5	20,7
			10%	2...8 F	22,2	+5	— 1,5	25,7
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3...8 F	19,1	—8	—115	x
			50%	3...8 F	19,1	0	—115	x
			10%	3...8 F	19,1	+5	—115	x
	Juni – juin 49	1500	90%	2...8 F	24,6	—8	—175	x
			50%	2...8 F	24,6	0	—175	x
			10%	2...8 F	24,6	+5	—175	x
10 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	2 F	— 3,9	+5	0	1,1
	Juni – juin 49	0300	90%	2 F	— 3,9	—8	0	—11,9
			50%	2...3 F	31,0	0	0	31,0
			10%	2...4 F	33,1	+5	0	38,1
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3...8 F	32,7	—8	—29,5	— 4,8
			50%	3...8 F	32,7	0	—29,5	3,2
			10%	3...8 F	32,7	+5	—29,5	8,2
	Juni – juin 49	1500	90%	2...4 F	35,6	—8	—58,5	x
			50%	2...5 F	35,8	0	—58,5	x
			10%	2...7 F	35,8	+5	—58,5	x
15 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	2 F	24,6	+5	0	29,6
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3...4 F	33,0	—8	— 13,5	11,5
			50%	3...5 F	33,9	0	— 13,5	20,4
			10%	3...7 F	34,1	+5	— 13,5	25,6
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	— 27,5	x
			50%	2 F	34,1	0	— 27,5	6,6
			10%	2...3 F	37,3	+5	— 27,5	14,8

Tabelle XIII (Fortsetzung) **Tableau XIII** (suite)

Frequenz Fréquence	Monat Mois	Universal-zeit Temps TMG	Wahrschein-lichkeit *W* Proba-bilité *W*	Reflexion Réflexion	Geometrische Summe Somme géométrique	Korrektur n. Rayleigh Correction sel. Rayleigh	Absorption	Feldstärke Intensité de champ
20 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8 dB	0 dB	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3 F	32,4 dB	—8	— 8	16,4 dB
			50%	3...4 F	34,5	0	— 8	26,5
			10%	3...4 F	34,5	+5	— 8	31,5
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—16	x
			50%	keine – aucune	x	0	—16	x
			10%	keine – aucune	x	+5	—16	x
25 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Dez. – déc. 48	1500	90%	keine – aucune	x	—8	— 5	x
			50%	keine – aucune	x	0	— 5	x
			10%	3 F	1,2	+5	— 5	1,2
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—10	x
			50%	keine – aucune	x	0	—10	x
			10%	keine – aucune	x	+5	—10	x
30 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Dez. – déc. 48	1500	90%	keine – aucune	x	—8	— 3,5	x
			50%	keine – aucune	x	0	— 3,5	x
			10%	keine – aucune	x	+5	— 3,5	x
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	— 7	x
			50%	keine – aucune	x	0	— 7	x
			10%	keine – aucune	x	+5	— 7	x
35 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Dez. – déc. 48	1500	90%	keine – aucune	x	—8	— 2,5	x
			50%	keine – aucune	x	0	— 2,5	x
			10%	keine – aucune	x	+5	— 2,5	x
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	— 5	x
			50%	keine – aucune	x	0	— 5	x
			10%	keine – aucune	x	+5	— 5	x

Frequency. Nach derselben Überlegung stellt die FOT den *unteren Dezilwert* dar.

In der folgenden *Tabelle XIII* sind demnach nicht nur die Medianwerte, sondern auch die beiden extremen Dezilwerte aufgeführt. Für die Reflexion sind diese Zahlen leicht zu finden, indem man die MUF um 15 % erhöht oder erniedrigt. So gilt z. B. für Dezember 1948, 0300 UZ und den Modus 8 F_2 eine *UDF* von $1{,}15 \cdot 4{,}5 = 5{,}2$ MHz; für den Modus 2 F_2 zur gleichen Zeit der Wert: *UDF* = 10,8 MHz. Für Juni 1949, 1500 UZ gelten die Werte: *UDF* (6 F_2) = 10,8 MHz, *UDF* (7 F_2) = 10,1 MHz, *UDF* (8 F_2) = 9,7 MHz. Selbstverständlich hat auch die Absorption ihre gesetzmässigen Schwankungen. Doch sind hier die Streuungsverhältnisse zahlenmässig weniger genau bekannt, so dass wir nicht näher darauf eingehen wollen. Mit Hilfe der *Verteilungskurve nach Rayleigh* (Fig. 3.11 von [5]) versuchen wir dennoch, einen Anhaltspunkt über die Feldstärkewerte für $W = 90$ % und $W = 10$ % zu gewinnen. Wir lesen aus dieser Kurve:

$F_{90} = 0{,}4\ F_{50}$, Pegel liegt 8 dB niedriger

$F_{10} = 1{,}8\ F_{50}$, Pegel liegt 5 dB höher.

Nachdem wir nun sämtliche einzelnen Faktoren besprochen haben, können wir sie mosaikartig zu einem Ganzen zusammensetzen, um unser Ziel, die theoretisch zu erwartende Feldstärke und die zugehörigen Einfallswinkel zu erreichen. Getrennt für die vier Bedingungen: Nacht, Tag, Winter, Sommer, gehen wir von *Tabelle VII* aus und prüfen zunächst nach Fig. 7 und 8, wieviele Übertragungsarten wirklich in Frage kommen (W = 90 % oder FOT, W = 50 % oder MUF, W = 10 % oder UDF). Da die einzelnen Komponenten des Gesamtfeldes voneinander unabhängig sind, hat man sie *geometrisch* zu addieren. Von der geometrischen Summe ist gemäss *Tabelle XII* der Absorptionsbetrag abzuziehen, ferner sind für $W = 10$ % und 90 % die eben besprochenen Korrekturen nach Rayleigh beizufügen. Es ist zu beachten, dass der Modus 2 F_2 für Dezember 1948, 1500 UZ nicht übertragen werden kann, auch wenn die MUF dies gestatten würde. Sein Abgangswinkel beträgt infolge der sehr tiefen Schicht (230 km) 0° 27′, so dass keine nennenswerte Abstrahlung stattfindet. In *Tabelle XIII* sind Feldstärken unterhalb —20 dB durch das Zeichen x ersetzt worden, da sie praktisch bedeutungslos sind. Dasselbe Zeichen steht dann, wenn die Ionisation zu gering ist, um eine bestimmte Frequenz zu reflektieren.

Tabelle XIV: Wichtigste Einfallswinkel (mit Rhombusantennenkorrekturen)

Tableau XIV: Angles d'incidence les plus intéressants (avec corrections pour antennes losanges)

Monat, Zeit Mois, heure	Frequenz – Fréquence 2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	35 MHz
Dez. – déc. 48 0300	20° 27′ 15° 24′	15° 24′ 20° 27′	x (2° 24′)	x	x	x	x	x
Juni – juin 49 0300	20° 27′ 15° 24′	15° 24′ 20° 27′	9° 38′ (15° 24′)	(2° 24′)	x	x	x	x
Dez. – déc. 48 1500	16° 4′ 20°	11° 44′ 16° 4′	6° 46′ 11° 44′	6° 46′ 11° 44′	6° 46′ 11° 44′	(6° 46′)	x	x
Juni – juin 49 1500	26° 26′ 20° 33′	13° 44′ 20° 33′	13° 44′ 5° 16′	5° 16′ (13° 44′)	x	x	x	x

Tabelle XV: Wichtigste Einfallswinkel für isotrope Empfangsantenne

Tableau XV: Angles d'incidence les plus intéressants pour une antenne isotrope

Monat, Zeit Mois, heure	Frequenz – Fréquence 2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	35 MHz
Dez. – déc. 48 0300	9° 38′ 15° 24′	9° 38′ 15° 24′	x (2° 24′)	x	x	x	x	x
Juni – juin 49 0300	9° 38′ 15° 24′	9° 38′ 15° 24′	9° 38′ (15° 24′)	(2° 24′)	x	x	x	x
Dez. – déc. 48 1500	6° 46′ 11° 44′	6° 46′ 11° 44′	6° 46′ 11° 44′	6° 46′ 11° 44′	6° 46′ 11° 44′	(6° 46′)	x	x
Juni – juin 49 1500	5° 16′ 13° 44′	5° 16′ 13° 44′	13° 44′ 5° 16′	5° 16′ (13° 44′)	x	x	x	x

Tabelle XVII: Vergleich von Vorhersage und Beobachtung – **Tableau XVII:** Comparaison entre prévision et observation

Frequenz Fréquence	Monat Mois	Universalzeit Temps TMG	Wahrscheinlichkeit W Probabilité W	berechnete Feldstärke Intensité de champ calculée	beobachtete Spannung Tension observée	vermutete Gründe der Abweichung Motif supposé de l'écart
				dB (μV/m)	dB (μV)	
2,5 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	—14,7	x	
			50%	— 6,7	-2	
			10%	— 1,7	10	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	
			50%	—14,7	4	Absorption nach Tab. XII zu gross – absorption selon tableau XII trop élevée
			10%	— 9,7	10	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
5 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	11,5	22	
			50%	21,8	45	
			10%	27,2	50	
	Juni – juin 49	0300	90%	12,7	28	
			50%	20,7	34	
			10%	25,7	40	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
10 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	-2	MUF-Vorhersage zu niedrig, 2 F und 3 F werden reflektiert – prévision MUF trop basse, 2 F et 3 F sont réfléchis
			50%	x	10	
			10%	1,1	22	
	Juni – juin 49	0300	90%	—11,9	34	MUF-Vorhersage zu niedrig, 3 F wird auch mindestens zu 90% reflektiert – prévision MUF trop basse, 3 F est aussi réfléchi à 90% au moins
			50%	31,0	50	
			10%	38,1	55	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	— 4,8	x	Absorption nach Tab. XII zu klein – absorption selon tableau XII trop faible
			50%	3,2	x	
			10%	8,2	-2	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
15 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	sporadische E-Schicht – couche E sporadique
			50%	x	x	
			10%	x	4	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	10	MUF-Vorhersage zu niedrig, 2 F wird mindestens zu 50% reflektiert; sporadische E-Schicht – prévision MUF trop basse, 2 F est réfléchi à 50% au moins; couche E sporadique
			50%	x	50	
			10%	29,6	55	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	11,5	4	
			50%	20,4	22	
			10%	25,6	34	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	-2	
			50%	6,6	10	
			10%	14,8	22	

Tabelle XVII (Fortsetzung) **Tableau XVII** (suite)

Frequenz Fréquence	Monat Mois	Universalzeit Temps TMG	Wahrscheinlichkeit W Probabilité W	berechnete Feldstärke Intensité de champ calculée	beobachtete Spannung Tension observée	vermutete Gründe der Abweichung Motif supposé de l'écart
				dB (μV/m)	dB (μV)	
20 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	starke sporadische E-Schicht – forte couche E sporadique
			50%	x	4	
			10%	x	40	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	16,4	16	
			50%	26,5	34	
			10%	31,5	40	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	–2	starke sporadische E-Schicht – forte couche E sporadique
			50%	x	10	
			10%	x	22	
25 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	–2	MUF-Vorhersage zu niedrig, 4 F wird mindestens zu 50% reflektiert – prévision MUF trop basse, 4 F est réfléchi à 50% au moins
			50%	x	16	
			10%	1,2	28	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	sporadische E-Schicht – couche E sporadique
			50%	x	x	
			10%	x	–2	
30 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	–2	MUF-Vorhersage zu niedrig – prévision MUF trop basse
			50%	x	4	
			10%	x	16	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
35 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	x	MUF-Vorhersage zu niedrig – prévision MUF trop basse
			50%	x	x	
			10%	x	–2	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	

Mit Hilfe von *Tabelle XIII* können wir nun ebenfalls die wichtigsten Einfallswinkel für die verschiedenen Frequenzen bestimmen, indem wir die Komponenten mit den grössten Beträgen der Feldstärke suchen. Wir dürfen dabei aber nicht übersehen, dass durch das lappenförmige Richtdiagramm der Empfangs-Rhombusantennen bestimmte Komponenten unter bestimmten Winkeln sehr stark bevorzugt werden. Die Rangfolge der Wichtigkeit könnte erheblich anders lauten, falls eine andere Empfangsantenne verwendet werden sollte. Zum Vergleich rechnen wir deshalb in einer weiteren Tabelle die Einfallswinkel für die wichtigsten *einfallenden* Feldstärkekomponenten nochmals aus, indem wir die Korrekturen der Empfangsantenne *(Tabelle V)* wieder eliminieren, das heisst eine Empfangsantenne voraussetzen, die in jeder Richtung gleich empfindlich ist. *Tabellen XIV* und *XV* geben für unsere vier Bedingungen die beiden Winkel an, unter denen die grösste und zweitgrösste Feldstärke zu erwarten ist. Eingeklammerte Werte gelten nur für den oberen Dezilwert.

7. Vergleich unserer Vorhersagen mit den Beobachtungen in Châtonnaye

Zum Vergleich unserer Feldstärkevorhersagen mit den tatsächlichen Beobachtungen in Châtonnaye wurden die Fig. 4...7 des Berichtes von *W. Ebert* [1] herangezogen, deren Originale uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden. Es muss aber deutlich hervorgehoben werden, dass die Zahlenangaben in [1] *Spannungen U* bedeuten, während unsere Vorhersagen als *Feldstärken F* berechnet worden sind. Diese beiden Grössen sind durch den Proportionalitätsfaktor *«effektive Höhe der Rhombusantenne»* miteinander verknüpft. Dieser Faktor ist *nicht bekannt*; es ist im übrigen anzunehmen, dass er frequenzabhängig ist. Dies bedeutet, dass die beiden letzten Zahlenreihen der *Tabelle XVII (Vergleich von Vorhersage und Beobachtung) nicht absolut* miteinander zu vergleichen sind, sondern *nur ihrem Sinne* nach. Fallen Vorhersage und Messung stark auseinander, so sind die vermuteten Gründe in Stichworten beigefügt. Die Beobachtungen sind als relative HF-Eingangsspannungen in einer S-Skala angegeben, die wir auf dB über 1 μV umrechnen *(Tabelle XVI)*.

Tabelle XVI: Umrechnung der S-Skala in eine Dezibelskala

S 9+20 dB	≙ 1000 μV	≙ 60 dB
S 9+10 dB	312	50
S 9	100	40
S 8	50	34
S 7	25	28
S 6	12,5	22
S 5	6,25	16
S 4	3,12	10
S 3	1,56	4
S 2	0,78	–2
S 1	0,39	–8
O	0	x

Getrennt für unsere vier Bedingungen: Nacht, Tag, Winter, Sommer, bestimmen wir durch Auszählen der Beobachtungen den Medianwert und die beiden Dezilwerte (W = 90 % und 10 %) und setzen sie in Verbindung mit den Werten der letzten Kolonne von *Tabelle XIII*.

8. Schlussbemerkungen

Die Berechnung der theoretischen Feldstärke und der Winkel musste, wie bereits betont, unter vielen Vereinfachungen durchgeführt werden, da sich eine Reihe von Einflüssen noch nicht mit sicheren Zahlen in den Rechengang einbauen lässt. So wurde beispielsweise vernachlässigt:

— die gesamte Polarisationsfrage und der *Brewster*-winkel,
— die Hohlspiegelwirkung des Systems Erde-Ionosphäre, die nach SPIM rund 10 dB Zuschlag ergäbe,
— die zusammengesetzten Übertragungsarten, wie E + 2 F, 2 E + F, M, W, usw.,
— die im Bericht von *J. Dufour* [2, 3] beschriebene zusätzliche Reflexion am Hügelzug westlich der Broye, für Einfallswinkel von 0° bis 8°.

Benützt man an Stelle der Methode CRPL konsequent jene von SPIM, so sind unter Umständen ganz andere Ergebnisse für die theoretischen Winkel zu erwarten.

Bibliographie

[1] *W. Ebert.* Empfangsbeobachtungen der WWV-Normalfrequenzen. Techn. Mitt. PTT **28** (1950), 457...482.

W. Ebert. La réception des fréquences-étalon émises par la station de Beltsville WWV. Bulletin technique PTT **28** (1950), 457...482.

[2] *J. Dufour.* Diagrammes directifs d'antennes de réception rhombiques et d'antennes «rideau» dans des plans verticaux. Rapport du Laboratoire de recherches et d'essais de la Direction générale des PTT, du 26 XI 1952.

[3] *J. Dufour.* Diagrammes de réception d'antennes rhombiques dans un plan vertical. Résultats expérimentaux. Bulletin technique PTT **31** (1953), 65...72.

[4] *Ionospheric Data.* Série F des publications mensuelles du Central Radio Propagation Laboratory (CRPL), Washington.

[5] *Ionospheric Radio Propagation.* National Bureau of Standards, Circular 462. Washington 1948.

[6] *Radio Propagation Unit Technical Report n° 2*, 1947. Signal Depot, Baltimore 20, Md.

[7] *Basic Radio Propagation Predictions.* Série D des publications mensuelles du CRPL, Washington.

[8] *K. Rawer.* Die Ionosphäre. Groningen 1953.