

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 66 (1968)

Heft: 7

Artikel: Wellenlängenwahl für elektronische Distanzmessgeräte

Autor: Hagger, H.J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-222307>

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: 27.01.2026

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

Wellenlängenwahl für elektronische Distanzmeßgeräte

H. J. Hagger

Zusammenfassung

Auf Grund der Reichweitegleichung für Mikrowellenverbindungen im Trägerfrequenzbereich zwischen 3 und 50 GHz wird gezeigt, daß die wirkliche Reichweite sich proportional zum Produkt aus Antennengewinn und Wellenlänge multipliziert mit einem Reduktionsfaktor verhält, der vom Verhältnis der verfügbaren Senderleistung und Empfänger-Rauschzahl und von den frequenzabhängigen Übertragungsverlusten unter gegebenen meteorologischen Bedingungen abhängt.

Für verschiedene Antennenabmessungen im Vergleich zur Wellenlänge werden Reichweitekurven angegeben.

Daraus folgt, daß das meist verwendete 3-cm-Wellenlängenband für elektronische Distanzmeßgeräte einen guten Kompromiß zwischen erzielbarer Reichweite und durch die Antenne gegebener Geräteabmessungen darstellt.

1. Einleitung *

Die maximale Einsatzstrecke elektronischer Distanzmeßgeräte hängt gemäß der Reichweitegleichung von verschiedenen Parametern ab, welche jedoch voneinander in komplizierter Weise abhängig sind. Internationale Vereinbarungen gestatten verschiedene Frequenzbänder zur Verwendung durch solche Geräte. Es soll hier versucht werden, den Einfluß der Wahl der Trägerfrequenz auf die Einsatzreichweite auf Grund der zulässigen Antennengröße und unter verschiedenen Witterungsbedingungen aufzuzeigen.

2. Reichweitegleichung

Die Signalleistung P_r am Empfängereingang im Abstand R eines Senders der Leistung P_t beträgt:

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t}{4 \pi R^2} \cdot \frac{A_e}{L(R, \lambda)} \quad (1)$$

- wobei P_r = Signalleistung am Empfängereingang
 P_t = Senderleistung
 G_t = Sendeantennengewinn bezogen auf einen isotropen Strahler
 R = Abstand zwischen Sender und Empfänger
 A_e = Absorptionsfläche der Empfangsantenne
 $L(R, \lambda)$ = zusätzlicher Leistungsverlust auf der Übertragungsstrecke R infolge Dämpfung in der Atmosphäre

* English-speaking readers are invited to request an English copy of this paper at the author's address.

Der Antennengewinn G und die zugehörige Antennen-Absorptionsfläche A_e gehorchen folgender Beziehung:

$$A_e = \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4 \pi} \quad (2)$$

Hier ist A_e = Absorptionsfläche der Empfangsantenne
 G_r = Empfangsantennengewinn
 λ = Wellenlänge

Um eine vorgeschriebene Meßgenauigkeit zu erreichen, ist ein bestimmtes Verhältnis P_r/N_r der empfangenen Signalleistung P_r zur Eigenstörleistung N_r des Empfängers erforderlich.

Die Eigenstörleistung oder Rauschleistung N_r ist:

$$N_r = k \cdot T \cdot B \cdot \overline{NF}(\lambda) \quad (3)$$

wobei N_r = Rauschleistung des Empfängers
 k = Boltzmannsche Konstante
 T = absolute Temperatur des Empfängers
 B = Rauschbandbreite des Empfängers (etwa gleich der Empfängerbandbreite zu setzen)
 $\overline{NF}(\lambda)$ = Empfängerrauschzahl

Aus Gleichung (1–3) folgt nun

$$\left(\frac{P_r}{N_r} \right)_{\min} = \frac{P_t(\lambda) [G_t \cdot \lambda \cdot G_r \cdot \lambda]}{(4 \pi)^2 L(R, \lambda) \cdot R^2} \cdot \frac{1}{k T B \overline{NF}(\lambda)} \quad (4)$$

Um nun die uns wesentliche Betrachtung des Einflusses der Wellenlänge auf die Einsatzdistanz durchführen zu können, machen wir folgende Voraussetzungen:

- Gleicher Antennengewinn für Senden und Empfang, das heißt $G_t = G_r$
- Gleicher erforderliches minimales Signal-Geräusch-Verhältnis, das heißt $(P_r/N_r)_{\min}$ unabhängig von der Wahl der Wellenlänge λ .
- Gleiche Empfängerbandbreite B und gleiche Empfängertemperatur T .

In diesem Falle können wir Gleichung (4) ersetzen durch:

$$\frac{P_t(\lambda) \cdot (G\lambda)^2}{L(R, \lambda) \cdot \overline{NF}(\lambda)} \cdot \frac{1}{R^2} = \text{konst.} \quad (5)$$

Die Konstante auf der rechten Seite von Gleichung (5) ist unter den gemachten Voraussetzungen unabhängig von der verwendeten Trägerwellenlänge λ .

Wir betrachten nun drei Fälle:

Fall A: Antennenabmessungen proportional zur verwendeten Wellenlänge:

Dies bedeutet konstanten Antennengewinn $G = \text{konst.}$ und damit von der Wellenlänge unabhängige Bündelung des Strahles.

Fall B: Antennenabmessungen proportional zur Wurzel aus der Wellenlänge: Dies bedeutet konstantes Produkt aus Antennengewinn und Wellenlänge $G \cdot \lambda = \text{konst.}$ und damit bei gleicher Senderleistung von der Wellenlänge nicht abhängige Empfangsleistung bei dämpfungsfreier Atmosphäre.

Fall C: Antennendimensionen unabhängig von der Wellenlänge: Dies bedeutet konstantes Produkt aus Antennengewinn und Quadrat der Wellenlänge $G\lambda^2 = \text{konst.}$ und damit von der Wellenlänge unabhängige Strahlungs- und Absorptionsfläche der Antenne.

Damit schreibt sich Gleichung (5):

$$\text{Fall A: } \frac{P_t(\lambda)}{L(R, \lambda) \cdot \overline{NF}(\lambda)} \cdot \frac{\lambda^2}{R^2} = \text{konst.} \quad (6a)$$

$$\text{Fall B: } \frac{P_t(\lambda)}{L(R, \lambda) \cdot \overline{NF}(\lambda)} \cdot \frac{1}{R^2} = \text{konst.} \quad (6b)$$

$$\text{Fall C: } \frac{P_t(\lambda)}{L(R, \lambda) \cdot \overline{NF}(\lambda)} \cdot \frac{1}{R^2 \cdot \lambda^2} = \text{konst.} \quad (6c)$$

Die Werte der Konstanten auf der rechten Seite der Gleichungen (6a–c) interessieren uns nicht weiter.

3. Senderleistung und Empfänger-Rauschzahl

3.1. Verfügbare Senderausgangsleistung $P_t(\lambda)$

Für leichte Mikrowellensender kleiner Leistung kommen sowohl Reflexklystronröhren als auch Halbleiter-Leistungsquellen in Frage, welche beide Systemwirkungsgrade (abgegebene Mikrowellenleistung zu total zugeführter Leistung) in der Größenordnung von 1% aufweisen.

Typische Betriebdaten von Klystrons und Halbleiterquellen ergeben unter der Annahme gleicher zugeführter Leistung einen mit kleiner werdender Wellenlänge zunehmenden Abfall an verfügbarer Mikrowellenleistung. Vergleichen wir die Werte mit demjenigen bei 10 GHz, so ergeben sich folgende relative Ausgangsleistungen:

Trägerfrequenz	3 GHz	10 GHz	30 GHz	50 GHz
Relative Ausgangsleistung	2,0	1,0	0,62	0,40
	+ 3 dB	0 dB	— 2 dB	— 4 dB

3.2. Empfänger-Rauschzahl \overline{NF} (λ)

Infolge Laufzeiteffekten in den Mischdioden des Überlagerungsempfängers steigt die Rauschzahl mit steigender Frequenz an. Diese Zunahme nimmt erst bei Trägerfrequenzen oberhalb etwa 10 GHz erhebliche Werte an, während die Rauschzahl bei tiefen Trägerfrequenzen etwa einem Wert von 6 dB (4 kTo) zustrebt. Bei 10 GHz beträgt die Rauschzahl etwa 8 dB (6 kTo).

Die Empfänger-Rauschzahl gibt an, auf welcher scheinbaren Temperatur sich der Eingangswiderstand befinden müßte, damit der Empfänger die gleiche Rauschleistung abgibt.

Vergleichen wir wieder die Rauschzahlwerte mit dem für 10 GHz typischen Wert von 6 kTo, so ergibt sich folgendes Bild:

Trägerfrequenz	3 GHz	10 GHz	30 GHz	50 GHz
Relative Rauschzahl	0,66	1,0	3,3	6,3
	— 1,8 dB	0 dB	+ 5 dB	+ 8 dB
Typische Rauschzahl	4,2 kTo	6 kTo	20 kTo	40 kTo
	6,2 dB	8,0 dB	13 dB	16 dB

3.3. Systemempfindlichkeit in Abhängigkeit von der Trägerfrequenz

Die Abnahme der verfügbaren Senderleistung mit zunehmender Trägerfrequenz einerseits und die frequenzbedingte Zunahme der Empfänger-Rauschzahl anderseits haben gemäß Gleichung (5) eine Abnahme der Systemempfindlichkeit (Verhältnis von Senderleistung zu Empfänger-Rauschzahl) zur Folge. Vergleichen wir diese Werte wieder mit dem Wert bei 10 GHz, so erhalten wir die relative Systemempfindlichkeit Δ :

$$\Delta \stackrel{\text{def.}}{=} \frac{P_t(\lambda)}{P_t(\lambda = 3 \text{ cm})} \cdot \frac{\overline{NF}(\lambda = 3 \text{ cm})}{\overline{NF}(\lambda)} \quad (7)$$

Trägerfrequenz	3 GHz ($\lambda = 10 \text{ cm}$)	10 GHz ($\lambda = 3 \text{ cm}$)	30 GHz ($\lambda = 1 \text{ cm}$)	50 GHz ($\lambda = 0,6 \text{ cm}$)
Relative Systemempfindlichkeit Δ	3,0	1,0	0,2	0,06
	+ 4,8 dB	0 dB	— 7 dB	— 12 dB

Wir sehen daraus, daß die Systemempfindlichkeit über eine Dekade der Trägerfrequenz (3–30 GHz) um einen Faktor 15 sich ändert, was wegen des quadratischen Zusammenhangs mit der Reichweite etwa einem Faktor 4 in der Distanz entspricht.

4. Ausbreitungsgeschwindigkeit

Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Trägerwelle in die Distanzmessung direkt eingeht, ist ihr genauer Wert von großer Wichtigkeit. Froome [12] hat durch sorgfältige Interferometermessung bei 72 GHz den Wert im Vakuum bestimmt zu $c_0 = 299\,792,50 \pm 0,10$ km/s. Die Atmosphäre besteht aus einer Mischung polarer und nicht polarer Gase, deren Brechungsindex n – die Verhältnisgröße der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zu der in der Atmosphäre – vom Luftdruck, dem Wasser gehalt und dem CO₂-Gehalt der Atmosphäre sowie der Temperatur in bekannter Weise abhängt; vgl. [11].

Für unsere Verhältnisse können wir den Einfluß der Wasserabsorptionslinie bei 22,5 GHz vernachlässigen. Beschränken wir uns auf Trägerfrequenzen kleiner als 50 GHz, so beeinflußt die Absorptionslinie des Sauerstoffs bei 60 GHz die Ausbreitung noch nicht.

5. Schönwetterreichweite R_0

In Gleichung (5) wurde die atmosphärische Dämpfung des Übertragungsweges im Verlustfaktor $L(\lambda, R)$ zusammengefaßt. Zur Berechnung der Schönwetterreichweite R_0 setzen wir $L(\lambda, R) = 1$, da die atmosphärische Dämpfung bei schönem Wetter vernachlässigbar ist.

Mit Hilfe der in Abschnitt 3.3 definierten relativen Systemempfindlichkeit Δ können wir aus Gleichung (5) für $L(\lambda, R) = 1$ die *relative Schönwetterreichweite* $\delta_0(\lambda)$ bei der Wellenlänge λ bezogen auf die Schönwetterreichweite bei $\lambda = 3$ cm berechnen:

$$\delta_0(\lambda) = \frac{R_0(\lambda)}{R_0(\lambda = 3 \text{ cm})} = \sqrt{\Delta} \frac{[G \cdot \lambda]_\lambda}{[G \cdot \lambda]_{\lambda=3 \text{ cm}}} \quad (8)$$

Für die drei in Abschnitt 2 betrachteten Fälle (vgl. Gleichung 6a–c) ergibt sich:

$$\text{Fall A: } \delta_{01}(\lambda; G = \text{konst.}) = \sqrt{\Delta} \cdot \frac{\lambda}{\lambda = 3 \text{ cm}} \quad (9a)$$

$$\text{Fall B: } \delta_{02}(\lambda; G\lambda = \text{konst.}) = \sqrt{\Delta} \quad (9b)$$

$$\text{Fall C: } \delta_{03}(\lambda; G\lambda_1 = \text{konst.}) = \sqrt{\Delta} \cdot \frac{\lambda = 3 \text{ cm}}{\lambda} \quad (9c)$$

Tabelle 1 und Figur 1 zeigen die relative Schönwetterreichweite für die Fälle A–C.

Relative Reichweite
 $\frac{R_o(\lambda)}{R_o(3\text{ cm})} \cdot 100\%$

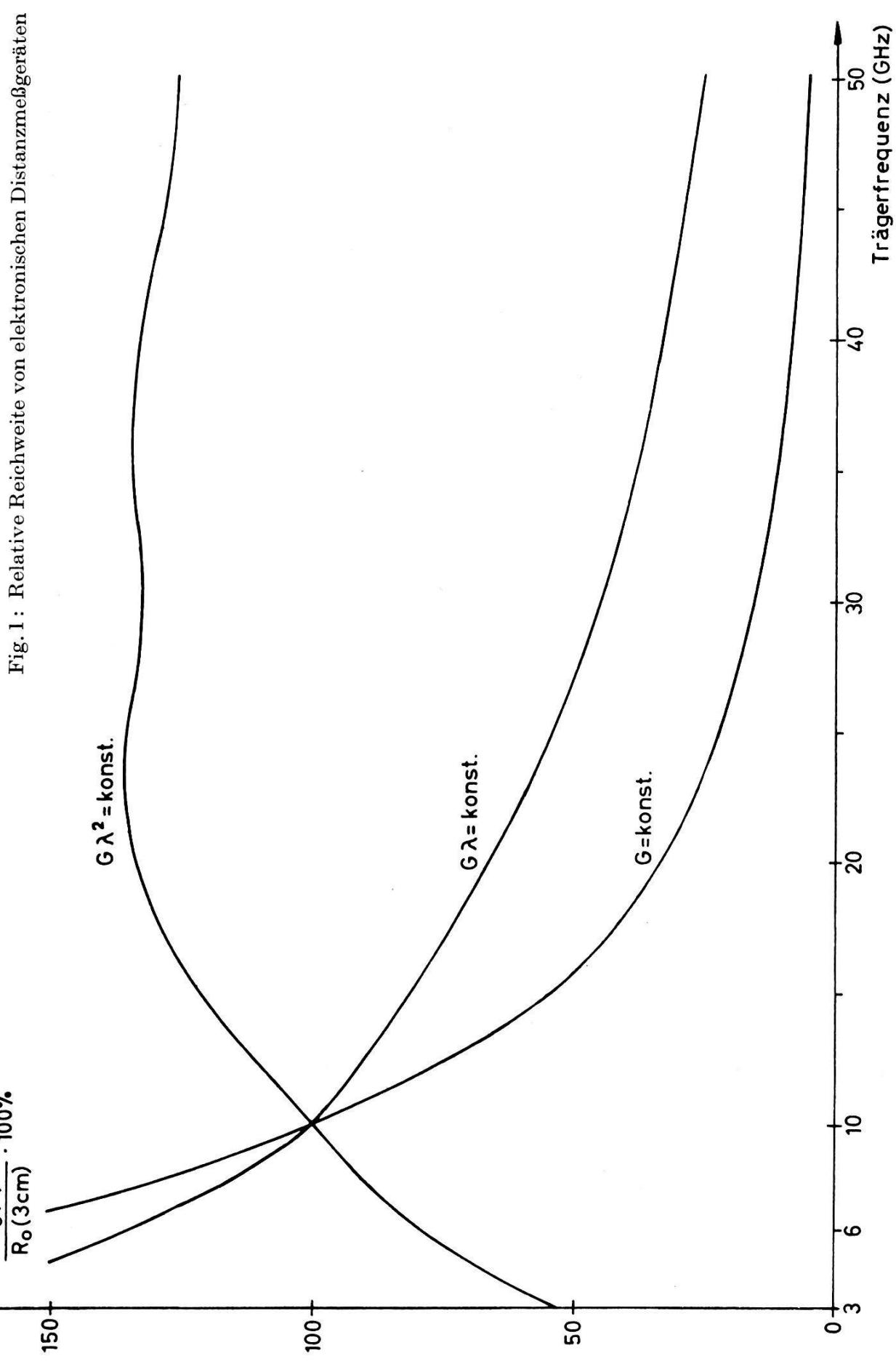


Tabelle 1: Schönwetterreichweite δ_0

Trägerfrequenz	3	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50 GHz
δ_{01} ($G = \text{konst.}$)	579,3	227,5	100	54,8	33,4	21,7	14,8	11,0	8,4	6,4	5,1%
δ_{02} ($G\lambda = \text{konst.}$)	173,8	136,5	100	82,2	66,8	54,3	44,4	38,5	33,5	28,8	25,3%
δ_{03} ($G\lambda^2 = \text{konst.}$)	52,1	81,9	100	123,3	133,6	135,7	133,2	134,8	134,0	129,6	126,5%

6. Dämpfung in der Atmosphäre infolge Regens und Nebels

Die Reichweite $R(p)$ für Witterungsbedingungen, welche durch die Niederschlagsmenge p (Millimeter Regen pro Stunde) beschrieben werden, ist für eine bestimmte Wellenlänge λ zum Teil erheblich geringer als die Schönwetterreichweite $R_0(\lambda)$.

Figur 2 zeigt experimentelle Daten für die Dämpfung α in Dezibel pro Kilometer Übertragungsstrecke in Funktion der Niederschlagsschichte p mit der Wellenlänge als Parameter [1, 4, 5, 6, 10].

Für eine bestimmte Wellenlänge λ schreibt sich Gleichung (5):

$$\left(\frac{R(p)}{R_0} \right)^2 \Big|_{\lambda = \text{konst.}} = \frac{1}{L(p, R)_{\lambda = \text{konst.}}} \quad (10)$$

Der Verlustfaktor $L(p, R)$ ist für $\lambda = \text{konst.}$ definiert zu:

$$10 \log L(p, R) = R(p) \cdot \alpha(p) \quad (11)$$

$R(p)$ = Schlechtwetterreichweite bei Niederschlagsdichte p

$\alpha(p)$ = atmosphärische Dämpfung (dB/km) für eine Niederschlagsdichte p

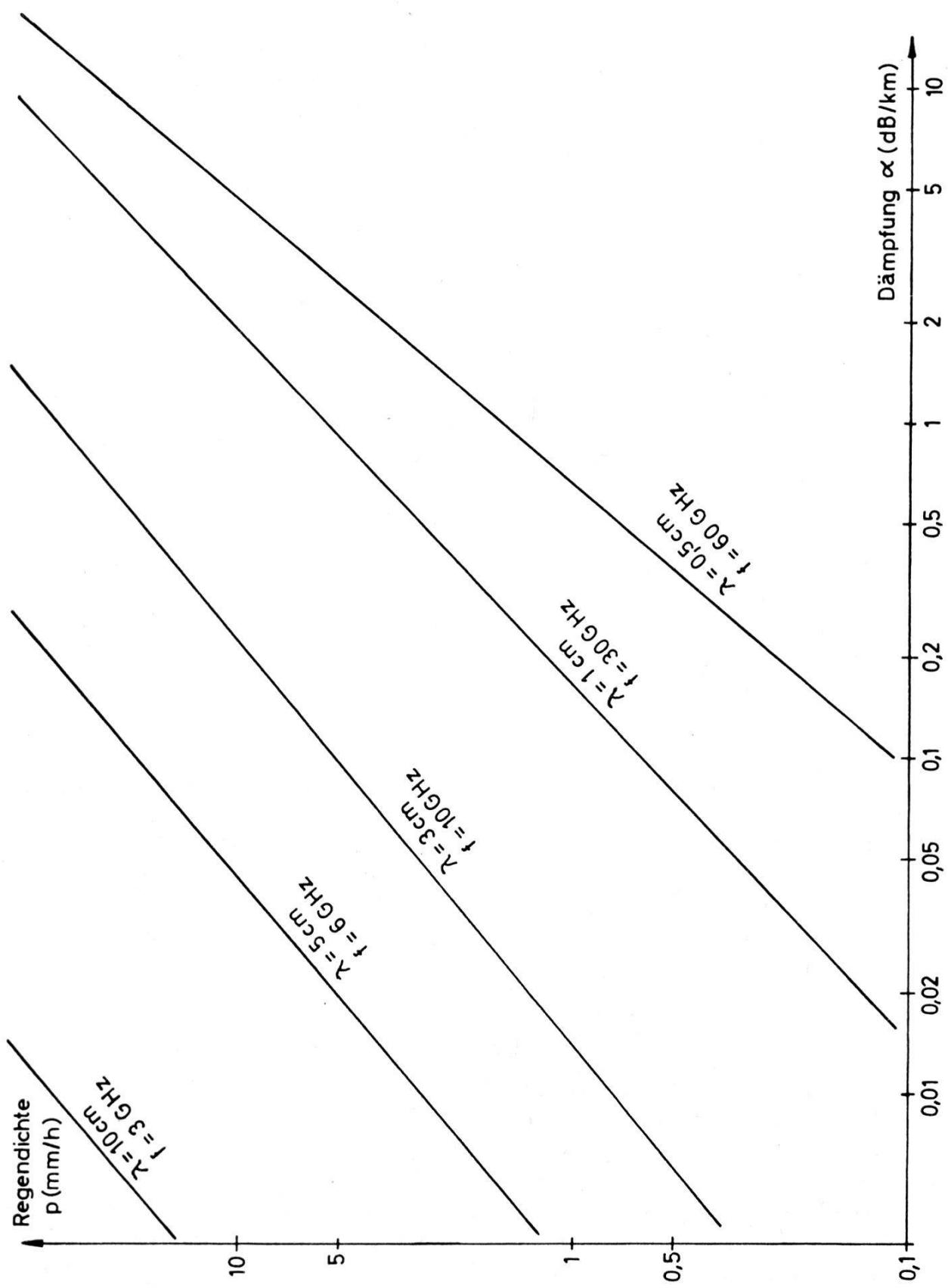
Bezeichnen wir mit $X = R(p)/R_0$ die Reichweitenreduktion infolge Regen, so folgt aus Gleichung (10) und (11):

$$X = \exp(-AX) \quad (12)$$

wobei

$$A = \frac{R_0 [\text{km}] \cdot \alpha(p) [\text{dB/km}]}{8,6} \quad (13)$$

Fig. 2: Dämpfung α (p) infolge Regens



Um nun Gleichung (12) nach der Unbekannten X auflösen zu können, nehmen wir – der Einfachheit halber – an, daß die *Schönwetterreichweite* $R_0 = 100 \text{ km}$ bei einer Wellenlänge von $\lambda = 3 \text{ cm}$ sei.

Über den Zusammenhang zwischen Regendichte p und ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit sei auf die Literatur verwiesen [6, 7, 9].

Zur Auswertung von Gleichung (12) sei auf die in Tabelle 2 angeführten Definitionen und Zusammenhänge zwischen Regendichte p und optischer Sichtweite bei Nebel verwiesen [10].

Tabelle 2: Definition der Wetterbedingungen

Kurve (Fig. 3-5)	Definition	Regendichte p mm/h	Wassergehalt g/m ³
<i>A</i>	Schönwetter	0	
<i>B</i>	Nebel, 1000 m Sicht		0,02
<i>C</i>	Nebel, 500 m Sicht		0,04
<i>D</i>	Rieselregen Nebel, 300 m Sicht	0,25	0,08
<i>E</i>	Nebel, 150 m Sicht		0,2
<i>F</i>	leichter Regen Nebel, 120 m Sicht	1,0	0,3
<i>G</i>	Nebel, 75 m Sicht		0,6
<i>H</i>	Mäßiger Regen Nebel, 50 m Sicht	4,0	1,0
<i>I</i>	Nebel, 25 m Sicht		3,0
<i>K</i>	Starker Regen	16,0	

Die Tabellen 3–5 zeigen die Reichweite R in Funktion der Trägerfrequenz und der Regendichte p unter der Annahme einer Schönwetterreichweite R_0 bei $\lambda = 3 \text{ cm}$ von 100 km für die drei Fälle *A–C* ($G = \text{konst. beziehungsweise } G \lambda^2 = \text{konst.}$). In den Figuren 3–5 sind die Kurven graphisch dargestellt.

Fig. 3: Maximale Reichweite $R(p)$ für $G = \text{konst.}$ (Tabelle 3)

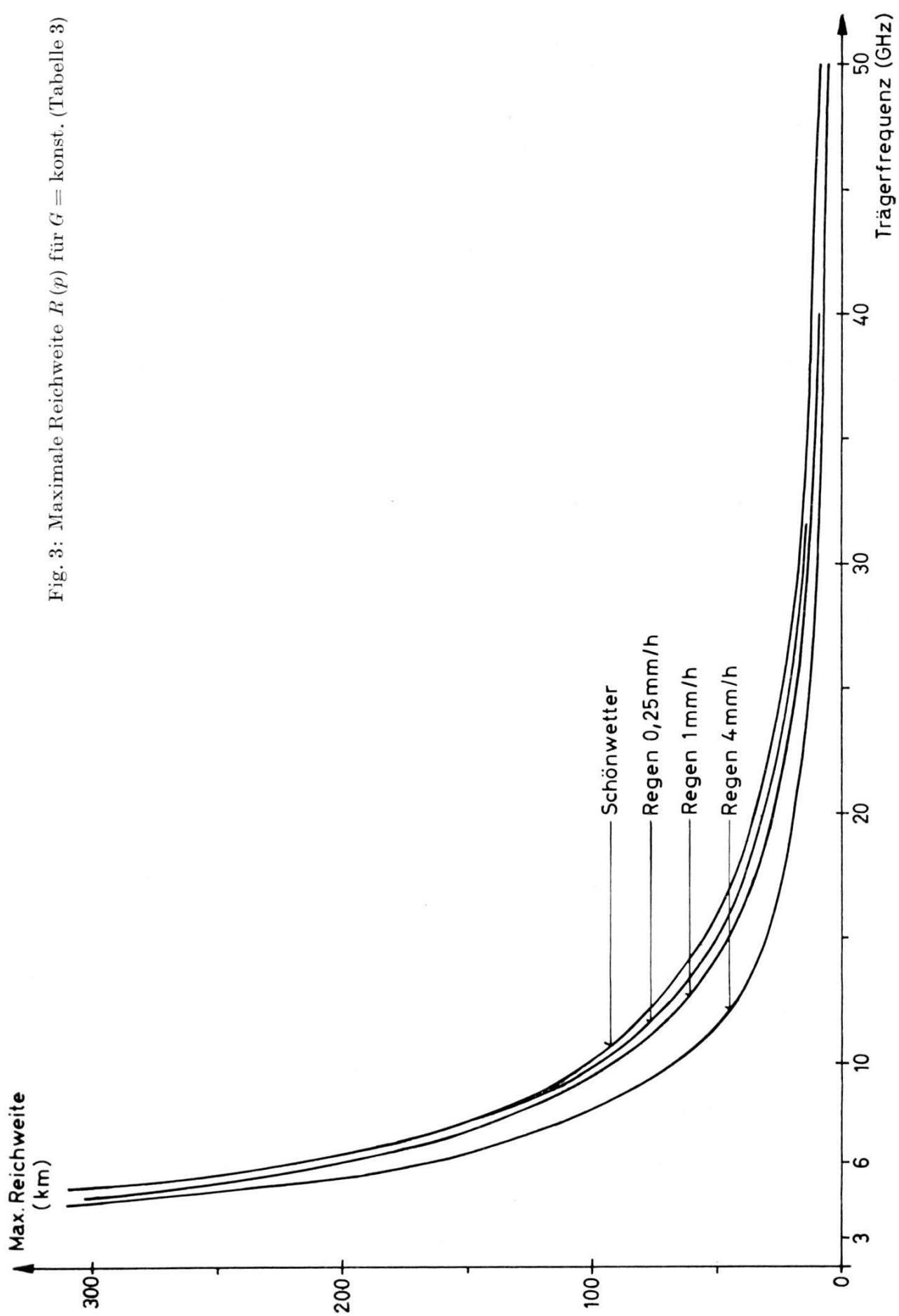


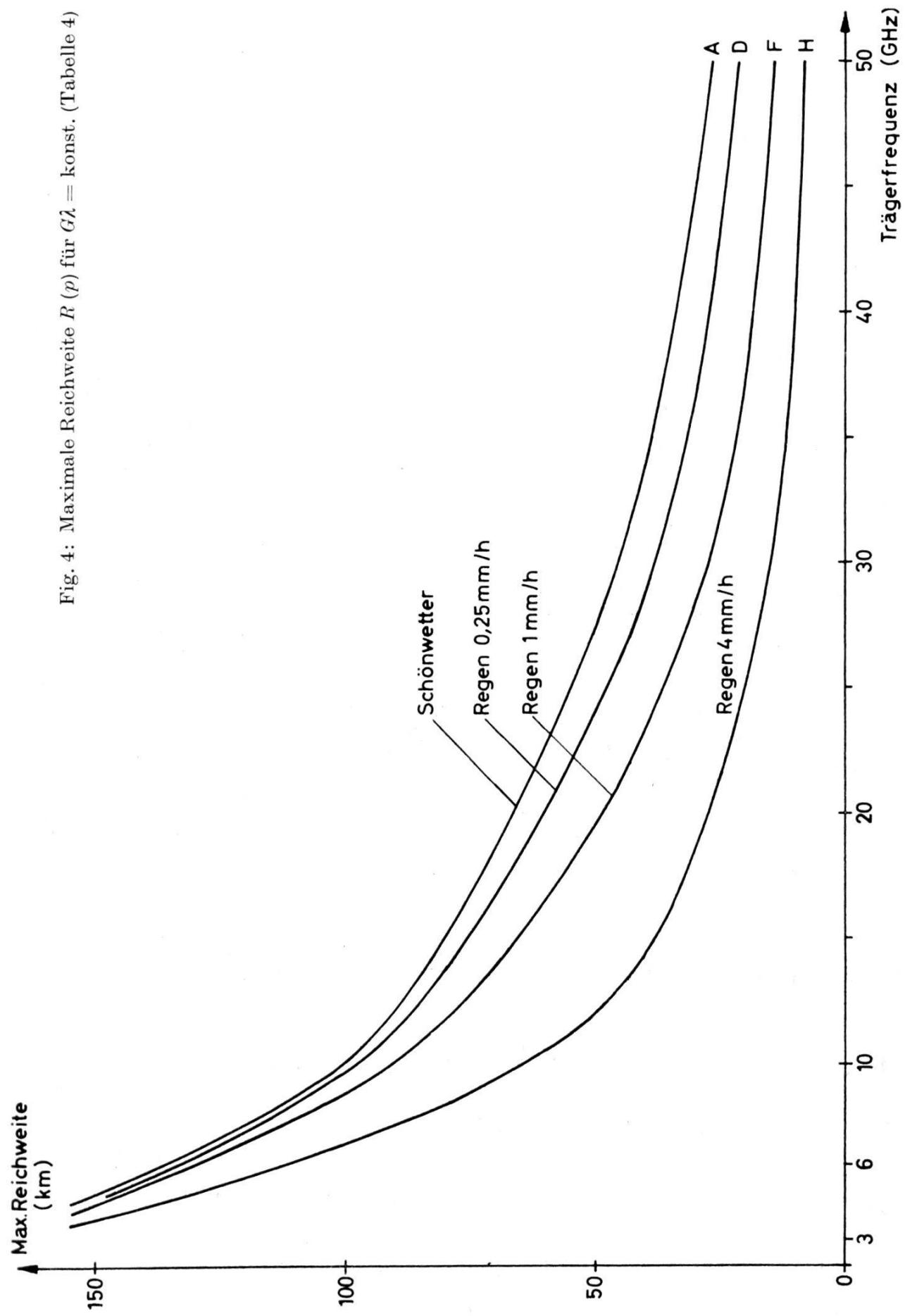
Tabelle 3: Maximale Reichweite $R(p)$ unter verschiedenen Wetterbedingungen für $G = \text{konst.}$ (Fall A) und $R_0(\lambda = 3 \text{ cm}) = 100 \text{ km}$

Kurve (Fig. 3)	Wetterbedingung	Reichweite $R(p)$ (km)										
		Trägerfrequenz (GHz)										
		3	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50 GHz
A	Schönwetter	579,3	227,5	100	54,8	33,4	21,7	14,8	11,0	8,4	6,4	5,1 km
D	Rieselregen $p = 0,25 \text{ mm/h}$	578,3	224,4	97,1	52,4	31,6	20,4	13,9	10,3	7,9	6,0	4,8 km
F	Leichter Regen $p = 1 \text{ mm/h}$	574,4	212,0	90,2	46,6	27,6	17,4	11,8	8,7	6,7	5,2	4,1 km
H	Mäßiger Regen $p = 4 \text{ mm/h}$	554,0	169,8	64,2	30,3	18,0	11,3	7,9	6,0	4,7	3,7	3,0 km

Tabelle 4: Maximale Reichweite $R(p)$ unter verschiedenen Wetterbedingungen für $G\lambda = \text{konst.}$ (Fall B) und $R_0(\lambda = 3 \text{ cm}) = 100 \text{ km}$

Kurve (Fig. 4)	Wetterbedingung	Reichweite $R(p)$ (km)										
		Trägerfrequenz (GHz)										
		3	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50 GHz
A	Schönwetter	173,8	136,5	100	82,2	66,8	54,3	44,4	38,5	33,5	28,8	25,3 km
D	Rieselregen $p = 0,25 \text{ mm/h}$	173,7	135,4	97,1	76,9	60,2	47,2	37,4	31,5	27,0	23,0	20,1 km
F	Leichter Regen $p = 1 \text{ mm/h}$	173,3	130,7	90,2	65,6	48,0	35,0	26,6	21,5	18,0	15,3	13,1 km
H	Mäßiger Regen $p = 4 \text{ mm/h}$	171,4	112,4	64,2	38,7	26,7	18,6	14,2	11,6	9,8	8,3	7,3 km

Fig. 4: Maximale Reichweite $R(p)$ für $G\lambda = \text{konst.}$ (Tabelle 4)



Max. Reichweite (km)

Fig. 5: Maximale Reichweite $R(p)$ für $G\lambda^2 = \text{konst.}$ (Tabelle 5)

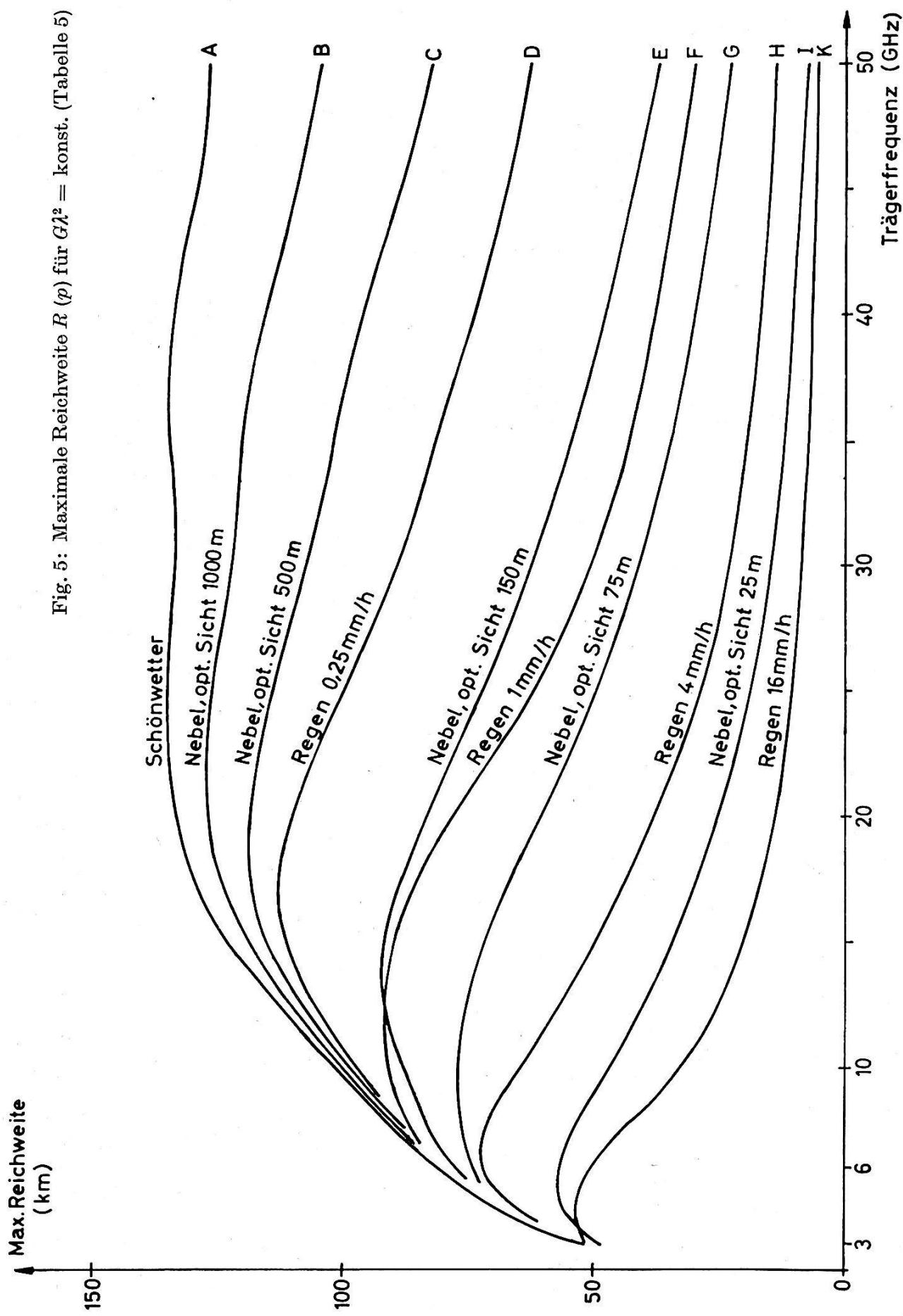


Tabelle 5: Maximale Reichweite $R(p)$ unter verschiedenen Wetterbedingungen für $G\lambda^2 = \text{konst.}$ (Fall C) und $R_0(\lambda = 3 \text{ cm}) = 100 \text{ km}$

Kurve (Fig.5)	Wetterbedingung	Reichweite $R(p)$ (km)										
		Trägerfrequenz (GHz)										
		3	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50 GHz
<i>A</i>	Schönwetter	52,1	81,9	100	123,3	133,6	135,7	133,2	134,8	134,0	129,6	126,5 km
<i>B</i>	Nebel, 1000 m Sicht	52,1	81,6	98,9	120,3	127,1	126,6	121,6	120,8	115,8	109,4	104,4 km
<i>C</i>	Nebel, 500 m Sicht	52,0	81,2	97,5	115,4	118,9	114,4	106,8	101,8	96,2	88,2	82,1 km
<i>D</i>	Rieselregen $p = 0,25 \text{ mm/h}$	52,1	81,5	97,1	111,9	110,4	100,5	88,7	81,2	74,0	67,3	62,1 km
<i>E</i>	Nebel, 150 m Sicht	51,8	78,6	87,7	91,8	83,2	72,7	61,5	53,6	47,3	41,4	36,3 km
<i>F</i>	Leichter Regen $p = 1 \text{ mm/h}$	52,1	79,7	90,2	90,3	78,4	62,0	50,0	42,2	37,3	33,4	28,9 km
<i>G</i>	Nebel, 75 m Sicht	51,1	74,5	76,8	72,0	60,4	48,9	40,2	34,2	29,5	25,4	22,1 km
<i>H</i>	Mäßiger Regen $p = 4 \text{ mm/h}$	51,9	72,3	64,2	48,1	37,3	27,3	22,6	19,0	16,7	14,8	13,2 km
<i>I</i>	Nebel, 25 m Sicht	48,2	57,0	45,7	34,7	24,7	18,6	14,6	11,7	9,9	8,3	7,0 km
<i>K</i>	Starker Regen $p = 16 \text{ mm/h}$	51,0	51,1	31,5	19,9	13,4	10,1	8,3	7,1	6,1	5,5	5,0 km

7. Schlußfolgerung

Der Einfluß von Nebel auf die maximale Reichweite ist für optische Sichtweite von mehr als einigen hundert Metern sehr gering. Selbst mäßiger Regen reduziert die Reichweite mit zunehmender Trägerfrequenz beträchtlich. Bei leichtem Regen wird bei 8 mm Wellenlänge bei gleicher absoluter Antennengröße ($G\lambda^2 = \text{konst.}$) die Reichweite etwa auf die Hälfte derjenigen bei 3 cm erniedrigt. Man kann demnach den Schluß ziehen, daß das 3-cm-Wellenlängenbänd, welches bei elektronischen Distanzmeßgeräten so weit verbreitet ist, einen guten Kompromiß zwischen erzielbarer Reichweite und der durch die Antennenabmessungen vorgegebenen Gerätegröße darstellt.

8. Literatur

- [1] *D.E. Kerr*: Propagation of short radio waves. MIT Radiation Laboratory Series, Vol. 13, McGraw-Hill, New York 1951.
- [2] *M. Kerker*: Electromagnetic scattering. Pergamon Press, Oxford 1963.
- [3] *C.W. Tolbert; J.R. Gerhardt*: Measured rain attenuation of 4.3 mm wavelength radio signals. Electrical Engineering Research Laboratory, University of Texas, Rept. Nr. 83, 31 May 1956.
- [4] *R.G. Medhurst*: Rainfall attenuation of centimeter waves: comparison of theory and measurement. IEEE Transactions, AP-13, 550 (1965), Nr. 4.
- [5] *J.W. Ryde*: Attenuation of centimeter radio waves and the echo intensities resulting from atmospheric phenomena. J. Inst. El. Engrs. (London), Part IIIA, Vol. 93, 101 (1946), Nr. 1.
- [6] *A. Perlat; J. Voge*: Atténuation des ondes centimétriques et millimétriques dans l'atmosphère. Ann. Télécomm. 8, 395 (1953), Nr. 12.
- [7] *A. Braun*: Der Einfluß der Witterung auf die Reichweite von Radargeräten. AWZ-Ber. 6 (1954), Nr. 2; 7 (1955), Nr. 1.
- [8] *S.D. Hathaway; H.W. Evans*: Radio attenuation at 11 kMc/s and some implications affecting relay system engineering. BSTJ 38, 73 (1959), Nr. 1.
- [9] *O. Nourse; S.G. Nichols*: Effect of weather on performance of an 8 mm radar. Proc. IEE (London) 111, 1523 (1964), Nr. 9.
- [10] *I. Hunter*: Attenuation of microwaves in the troposphere. Marconi Rev. 27, 122 (1964), Nr. 154.
- [11] *B.B. Bean*: The radio refractive index of air. Proc. IRE 50, 260 (1962), Nr. 3, Part I.
- [12] *K.D. Froome*: Precision determination of the velocity of electromagnetic waves. Nature 181, 258 (1958), Nr. 4604.

DK 625.74

Ein Versuch mit einem übersteilen Weg

(Rebweg Champlong-Pré Péteille in der Gemeinde Vétroz, Kanton Wallis)

Ed. Strelbel

Immer wieder wird insbesondere von seiten der praktischen Landwirtschaft die Frage aufgeworfen, ob bei Güterwegen die bisherigen traditionellen Maximalsteigungen von 10–12% im Jahrhundert des Motors noch zeitgemäß seien. In der Tat lassen sich achtenswerte Gründe für Versuche mit größeren Steigungen ins Feld führen. Aber mit theoretischen Erörterungen dürfte man nicht sehr weit kommen. Deshalb bot und bietet das Eidgenössische Meliorationsamt unter gewissen Voraussetzungen Hand zu derartigen Versuchen. Als solche Voraussetzungen gelten insbesondere eine verhältnismäßig geringe Bedeutung der betreffenden Weganlage, keine Aussicht auf ihre Entwicklung als spätere Basisstraße eines größeren Gebietes, betonte Benützung zur guten Jahreszeit (also insbesondere nicht bei Schnee und Eis).