

VS - NUR FÜR DEN DIENSTGEBRAUCH

AMT für WEHRGEOPHYSIK

Interner Bericht Nr 82143

Geophysikalische Beratung
von Hubschrauber-Nachttiefflügen
mit BiV-Brillen
- Teil 1 -

5580 Traben-Trarbach

Juni 1982

Interner Bericht 82143

Geophysikalische Beratung
von Hubschrauber-Nachttiefflügen
mit BiV-Brillen
Teil 1

Verfasser: RDir Dipl. Phys. Fritz Kaßner
RI Thomas Gunkel

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Feuersicht	2
3. Reichweiten von BiV-Brillen in Abhängigkeit von geophysikalischen Parametern	5
4. Auswertung der BiV-Reichweite-Bestimmungen	18
5. Theorie und Praxis	39
6. Konsequenzen für die Beratung von Hubschrauber-Nachttiefflügen mit Bildverstärkerbrillen	41
7. Weitere Untersuchungen	43
8. Literaturangaben	44
Anhang 1 : Streuung des Lichtes	45

1. Einleitung

Die Restlichtverstärkerbrillen (BiV-Brillen) wurden vom Heer für den Einsatz im Bereich der Bodentruppen gefordert und 1976/77 durch das Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung erprobt.

Im Juni 1977 beauftragte das Heeresamt die Heeresfliegerwaffenschule Spezialstab ATV, die BiV-Brille versuchsweise für Hubschrauber beim Nachttiefflug einzusetzen. Damit mußte von der GeophysBSt 102 im Rahmen der Flugwetterberatung die Reichweite der BiV-Brille als Flugsicht vorhergesagt werden. Diese Reichweite ist abhängig von der Globalbeleuchtungsstärke, den Reflexionskoeffizienten der Umgebung, der Normsicht und eine Reihe anderer Faktoren.

Zur Lösung des Vorhersageproblems wurde im März 1978 eine Arbeitsgruppe "Geophysikalische Beratung Nachttiefflug mit Hubschraubern" aus Vertretern der Heeresfliegerwaffenschule, des Heeresamtes und des Amtes für Wehrgeophysik gegründet, die erst einmal praktische Erfahrungen beim Einsatz der BiV-Brille sammeln und auswerten sollte.

Im Dezember 1979 und Januar 1980 wurden zum Vergleich von BiV-Reichweite und der meteorologischen Sicht entsprechende Bodenbeobachtungen durchgeführt. Seit Oktober 1981 wurden außerdem Debriefingsunterlagen nach Hubschraubertiefflügen mit der BiV-Brille systematisch und datenverarbeitungsgerecht festgehalten.

Der jetzt vorliegende Bericht enthält die Auswertung dieser Beobachtungen und einen Vergleich zwischen Theorie und Praxis. Er soll Diskussionspapier für die Arbeitsgruppe sein, aus dem das weitere Vorgehen abgeleitet werden kann.

Die Absätze 2 und 3 enthalten theoretische Ausführungen, die zur Darlegung der Problematik für Geophysiker H und G gedacht sind. Daran nicht interessierten Lesern wird empfohlen, 2.4 und 3.5 bis 3.12 zu überspringen.

2. Die Feuersicht

2.1 Die Flugsicht bei Nacht ist gem. ICAO Technical Publications Annex 2 das durch die atmosphärischen Verhältnisse bestimmte und in Entfernung ausgedrückte Vermögen, vom Cockpit eines Flugzeuges aus auffällige beleuchtete Gegenstände zu sehen und zu erkennen. Diese Definition ergibt sich aus den Erklärungen für "flight visibility" und "visibility".

Im Annex 3 (Meteorological Service for International Air Navigation) findet sich keine ergänzende Erklärung zur Flugsicht.

2.2 Als meteorologische Sicht wird nachts die Tragweite einer nicht-fokussierten, weißen Glühlampe gemeldet. Dabei soll die Stärke der Lampe (Intensität) mit der Entfernung zunehmen nach /9/ von 60 Watt bei Sichtentfernungen bis 3 km auf 100 Watt bei Sichtentfernungen zwischen 3 und 5 km bzw. nach /1/ von 60 Watt/60 cd bei Sichtentfernungen bis zu 2 km auf 500 Watt/735 cd bei Sichtentfernungen von ca. 7 km.

2.3 Beide Definitionen sind aus der Praxis der Verkehrsfliegerei entwickelt worden. Sie beschreiben im wesentlichen die Sichtverhältnisse, die ein Flugzeugführer beim Anflug auf ein beleuchtetes Flugfeld vorfindet. Die Definition der meteorologischen Sicht bei Nacht (kurz Feuersicht) ist meßtechnisch präziser, da sie nähere Angaben zu den beleuchteten Objekten und ihren Intensitäten enthält. Sie soll deshalb im Folgenden näher betrachtet werden.

2.4 Die Beleuchtung E, die eine punktförmige Lichtquelle der Intensität I im Abstand s erzeugt, wird durch die Gleichung

$$E = I s^{-2} e^{-\sigma s} \quad (1) \quad \sigma = \text{Extinktionskoeffizient}$$

beschrieben.

Unterschreitet die Beleuchtung E einen Grenzwert E_t (Abb. 1), der durch die Eigenschaften des menschlichen Auges und die Leuchtdichte des Hintergrundes der Lampe bestimmt wird, so ist die Lampe nicht mehr wahrzunehmen.

Der zu E_t gehörende Abstand wird als Feuersicht V_F bezeichnet.

$$E_t = I V_F^{-2} e^{-\sigma V_F} \quad (2)$$

Führt man in diese Gleichung die Normsicht V_N nach Koschmieder ein

$$V_N = \frac{3.912}{\sigma} \quad (3)$$

und formt sie etwas um, so erhält man

$$V_F + 2 \ln V_F = \frac{V_N}{3.912} (\ln I - \ln E_t) \quad (4)$$

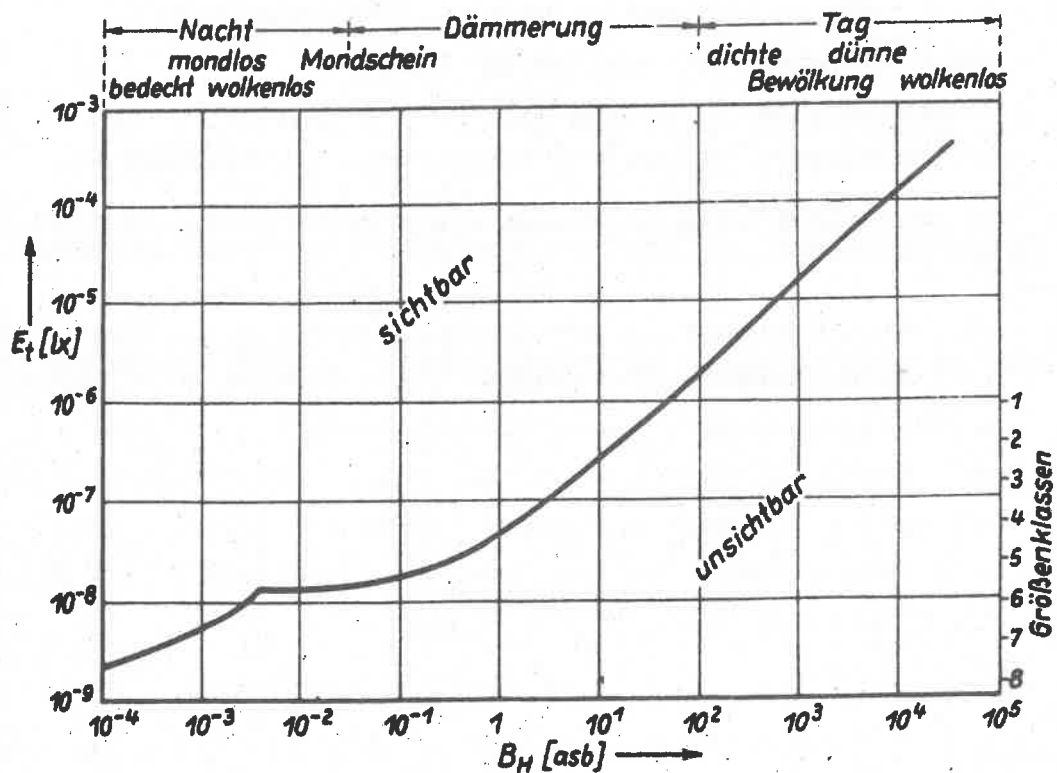


Abb. 1: Schwellenwert E_t der Beleuchtungsstärke eines Punktziels in Abhängigkeit von der Leuchtdichte B_H des Hintergrundes. (Nach Middleton) /2/ /3/

2.5 Die Normsicht V_N wird ausschließlich durch die Lufttrübung bestimmt. Die Feuersicht verändert sich nur dann proportional zur Normsicht, wenn die Intensitäten der Nachtsichtlampen mit dem Quadrat ihrer Entfernung zum Beobachtungsort ansteigen und die Umfeldhelligkeit und die Eigenschaften der Augen des Beobachters konstant bleiben.

Bei konstanter Lufttrübung (Normsicht) verringert sich die Feuersicht mit zunehmender Hintergrundleuchtdichte, d.h. mit zunehmender Beleuchtung.

Die Feuersichtschätzungen durch den Wetterbeobachter sind durch folgende Unsicherheiten belastet:

- Einhaltung der Akkomodationszeit durch den Beobachter,
- altersabhängige Eigenschaften des Auges,
- Verschmutzungsgrad der Lampen,
- häufig fehlende Angaben über die Intensität der Sichtlampen.

Gemildert werden die Auswirkungen dieser Fehlerquellen durch zwei Tatsachen:

- Der Wetterbeobachter glättet bei Sonnenuntergang den zeitlichen Verlauf der Sichtangabe. Er verhindert damit Meldungen mit extrem niedrigen Sichtangaben bei hoher Beleuchtungsstärke.
- Die Hintergrundleuchtdichten eines Flugplatzes in Mitteleuropa erreichen nie das niedrige Niveau eines unbeleuchteten Geländes. Extrem hohe Feuersichten wegen sehr niedriger Hintergrundleuchtdichten werden deshalb ebenfalls nicht beobachtet.

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß die Feuersicht eine komplexe Größe ist, die mit der Lufttrübung meteorologische Faktoren enthält, jedoch mit der Umfeldhelligkeit auch nicht wetterbedingte Parameter aufweist. Die Feuersicht gilt nur für die engere Umgebung des Flugplatzes, an dem sie beobachtet wurde. Im geringer beleuchteten Gelände sind die Tragweiten von Lampen größer.

Die Feuersicht nimmt mit zunehmender Beleuchtung/Umfeldhelligkeit ab. Die BiV-Reichweite verhält sich umgekehrt.

3. Reichweiten von BiV-Brillen in Abhängigkeit von geophysikalischen Parametern

3.1 Eine BiV-Brille besteht aus folgenden Bauteilen:

- dem Objektiv
- der Restlichtverstärkerröhre mit der Photokathode, dem Sekundärelektronenvervielfacher und dem Bildschirm
- dem Okular und
- der Strom- und Hochspannungsversorgung.

Die Verstärkung der Restlichtverstärkerröhre wird automatisch geregelt, so daß der Benutzer nur an der Untergrenze der Lichtempfindlichkeit den Einfluß der Beleuchtung bemerkt.

Jede Baugruppe der BiV-Brille trägt zur optischen Qualität bei und bestimmt die durch die BiV-Brille maximal erzielbare Reichweite mit.

Die folgenden Überlegungen zur Bestimmung der Reichweite von BiV-Brillen werden auf

- die Eigenschaften der Photokathode und
- die Durchlässigkeit des Objektivs

beschränkt. Hierin liegt eine erhebliche Vereinfachung, die zu optimistische Reichweitemaussagen erwarten läßt. H.E. reichen die theoretischen Aussagen jedoch für einen Vergleich mit den Messungen aus.

3.2 Die Lichtverstärkung von BiV-Brillen der dritten und mit guter Näherung auch der zweiten Generation ist so hoch, daß jedes an der Kathode erzeugte Photoelektron ein Signal auf dem Bildschirm erzeugt, das vom Auge des Betrachters eindeutig wahrgenommen werden kann. Die Reichweite einer BiV-Brille wird deshalb nicht durch die Eigenschaften des Auges sondern durch die technischen Gegebenheiten der BiV-Brille bestimmt.

3.3 Ein Ziel wird dann mit der BiV-Brille wahrgenommen,

- wenn es einen Raumwinkelbereich ω einnimmt, der größer als das Auflösungsvermögen der BiV-Brille ist, und
- wenn es sich hinreichend von der Umgebung abhebt, d.h. wenn die von benachbarten Flächenelementen des Ziels und der Umgebung am Geräte-

eingang (Objektiv) erzeugten Strahldichten L^T und L^B in der Integrationszeit des Auges (bzw. Nachleuchtdauer des Bildschirms, sofern diese länger ist) Q^T und Q^B Photoelektronen produzieren und das Signal S

$$S = Q^T - Q^B \quad (5)$$

größer ist als die Summe der Rauschsignale.

3.4 Quellen der Rauschsignale sind

- das Eigenrauschen des Sensors
- durch die Atmosphäre verursachte Szintillationen
- statistische Schwankungen bei der Erzeugung der Photoelektronen.

Das Sensorrauschen kann bei BIV-Brillen klein gehalten werden.

Das atmosphärische Rauschen ist im wesentlichen auf Brechungsindexschwankungen auf dem Weg des Lichtes zwischen Ziel und Gerät zurückzuführen, deren Ursache in der räumlich und zeitlich variablen Temperaturverteilung der den Wärmeaustausch zwischen Untergrund und Atmosphäre bewirkenden Luftkörper liegt. An Strahlungstagen ist dieses Rauschen als Hitzeblimmern bekannt. Schon bald nach Sonnenuntergang beruhigt sich jedoch die Atmosphäre, so daß nur über künstlichen Wärmequellen (Feuer usw.) dieses Rauschen nicht vernachlässigt werden kann.

Das aus der Photoelektronenstatistik resultierende Rauschsignal ergibt sich durch die Breite der Poisson-Verteilung zu

$$N = (Q^T + Q^B)^{1/2}. \quad (6)$$

3.5 Das Signal-Rausch-Verhältnis P ist also mit guter Näherung gleich

$$P = \frac{|Q^T - Q^B|}{(Q^T + Q^B)^{1/2}} \quad (7)$$

Das erforderliche Mindest-Signal-Rausch-Verhältnis P_{Min} wird durch die Sichtaufgabe bestimmt, d.h. von der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Ziel entdeckt, klassifiziert oder identifiziert werden soll.

3.6 Die Anzahl der Photoelektronen ist proportional der von den Flächenelementen am Objektiv erzeugten Leuchtdichten L^T und L^B :

$$Q^T = \frac{D^2 d^2 \pi}{4 s^2} \quad q b t L^T = \frac{\omega d^2 q b t \pi L^T}{4} \quad (8)$$

bzw.

$$Q^B = \frac{D^2 d^2 \pi}{4 s^2} \quad q b t L^B = \frac{\omega d^2 q b t \pi L^B}{4}$$

mit D = Kantenlänge des Flächenelements

s = Zielentfernung

d = Objektivdurchmesser bzw. Apertur

q = Quantenausbeute der Photokathode

b = Durchlässigkeit des Objektivs

t = Integrationszeit des Auges bzw. Nachleuchtdauer des Bildschirms, sofern diese größer ist

$$\omega = \text{Rammwinkel} = \frac{D^2}{s^2}$$

3.7 Zwischen den Leuchtdichten am Objektiv und denen in der Szene L_i^T, L_i^B bestehen folgende Beziehungen:

$$L^T = \tau L_i^T + L^A, \quad L^B = \tau L_i^B + L^A \quad (9)$$

mit L^A = Wegstrahldichte (Luftlicht), d.h. in den Strahlengang zwischen Ziel bzw. Hintergrund und dem Objektiv eingestreutes Licht

τ = Transmission der Atmosphäre.

Die monochromatische Transmission auf der Strecke s ist gegeben durch die Gleichung

$$\tau = e^{-\sigma s} \quad (10)$$

mit σ = monochromatischer Extinktionskoeffizient.

Die Atmosphäre ist normalerweise bezüglich der Extinktion inhomogen. Insbesondere treten horizontale Schichtstrukturen auf. In den weiteren Betrachtungen sollen diese Inhomogenitäten vernachlässigt werden. Der Extinktionskoeffizient ist wellenlängenabhängig. Für die weiteren Überlegungen ist es jedoch ausreichend ihn als konstant anzunehmen und die Normsicht nach Koschmieder (3) auf den ganzen Spektralbereich anzuwenden, in dem die BiV-Brille arbeitet.

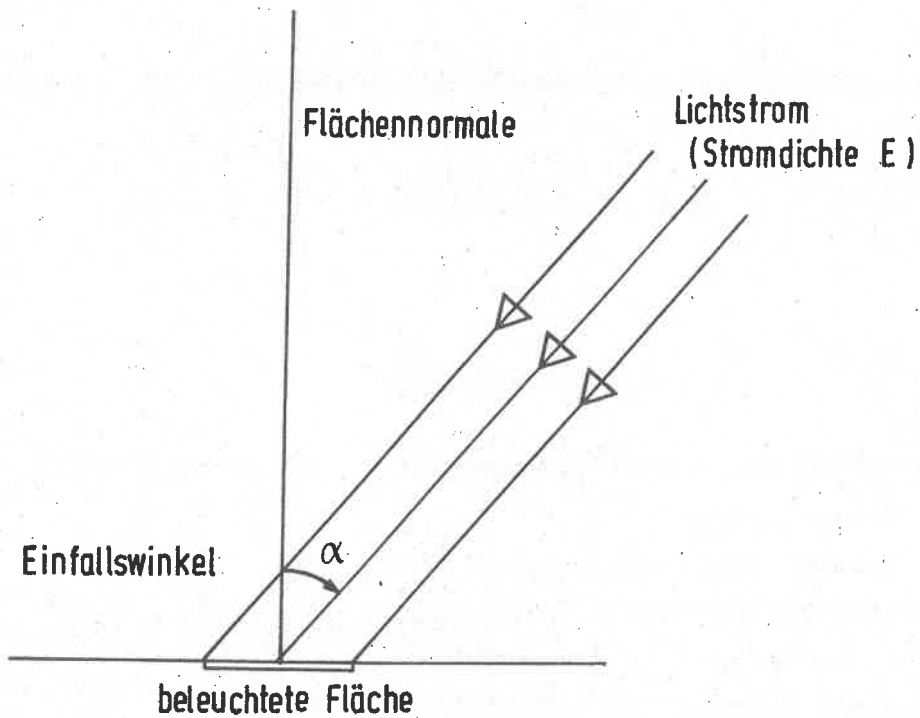


Abb. 2: Beleuchtung einer Fläche

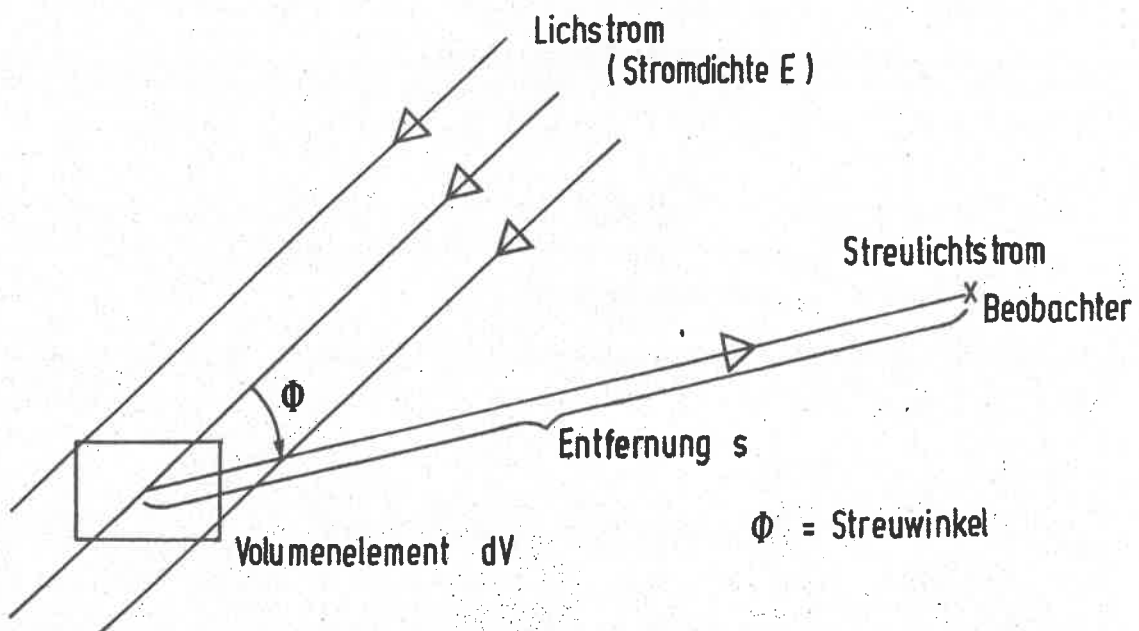


Abb. 3: Streuung von Licht durch ein Luft-Volumen-Element

3.8 Bei idealer diffuser Reflexion an flächenhaften Zielen und Hintergründen erzeugt paralleles Licht, das unter einem Winkel α gegenüber den Flächennormalen mit der Lichtstromdichte E einfällt, folgende Leuchtdichten (Abb. 2):

$$L_i^T = \frac{\rho^T}{\pi} \quad E \cos \alpha = \frac{\rho^T}{\pi} B \quad (11)$$

bzw.

$$L_i^B = \frac{\rho^B}{\pi} \quad E \cos \alpha = \frac{\rho^B}{\pi} B$$

mit ρ^T, ρ^B = Reflexionskoeffizienten von Ziel und Hintergrund
 B = Beleuchtungsstärke von Ziel und Hintergrund

3.9 Theoretisch kann man die Wegstrahldichte nur bestimmen, wenn die Beleuchtungsverhältnisse und das Streuverhalten der Atmosphäre bekannt sind. Im Rahmen dieses Berichtes müssen einige idealisierte Beispiele ausreichen.

Die Wegstrahldichte L^A wird bei parallelem Lichteinfall und homogener Beleuchtung der Sichtstrecke durch folgende Funktion beschrieben (s. Anhang 1):

$$L^A = f(\phi) E(\phi) \frac{B}{\sigma} (1 - e^{-\sigma s}) = f_{abs}(\phi) E(\phi) V_N \frac{1 - e^{-\sigma s}}{3.912}$$

mit $f(\phi)$ = reduzierte Streufunktion (12)

$E(\phi)$ = Beleuchtungsstärke, senkrecht zu s

ϕ = Winkel zwischen der Sichtlinie und der Richtung des Lichteinfalls (Abb. 3)

B = Streukoeffizient

f_{abs} = absolute Streufunktion

σ , B , $f(\phi)$ und $f_{abs}(\phi)$ sind abhängig von der Aerosolgrößenverteilung und der Aerosoldichte. Sie gelten streng nur für monochromatisches Licht, können aber mit guter Näherung im Empfindlichkeitsbereich der BiV-Brille (roter und naher infraroter Spektralbereich) als wellenlängenunabhängig angenommen werden.

Die reduzierte und die absolute Streufunktion beschreiben die Intensitätsverteilung des gestreuten Lichtes. Sie variieren in Abhängigkeit vom Winkel zwischen dem Lichteinfall und der Sichtstrecke um über 3 Zehnerpotenzen.

Das Maximum der Streuintensität liegt in der Richtung des einfallenden Lichtes (Vorwärtsstreuung), das Minimum zwischen 90 und 120 Grad. In Rückwärtsrichtung bildet sich ein zweites Maximum aus, das jedoch niedriger ist als das in Vorwärtsrichtung. Mit abnehmender Sicht und zunehmender Aerosolgröße nimmt der Anteil der Vorwärtsstreuung zu, d.h. die Streufunktionen sind von der Normsicht abhängig.

Abb. 4 zeigt Mittelwerte der absoluten Streufunktion.

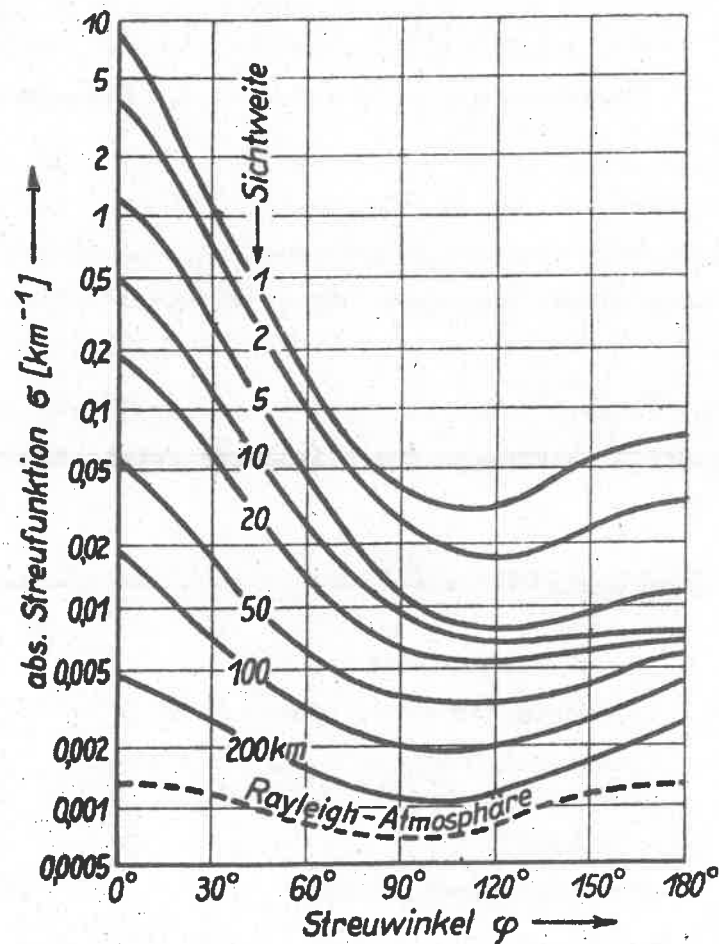


Abb. 4: Mittelwerte der absoluten Streufunktion σ in Bodennähe für verschiedene Sichtweiten. (Nach Foitzik und Zschaack) /2/

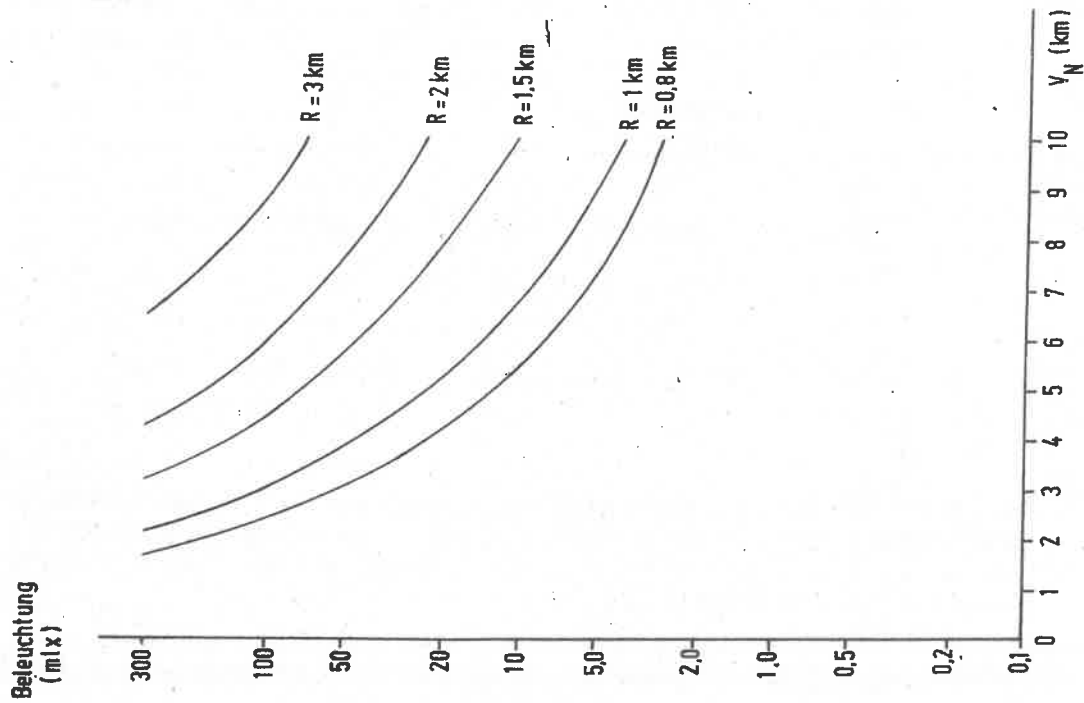


Abb. 8: Reichweite R der BiV-Brille bei diffuser Beleuchtung in Abhängigkeit von der Beleuchtung B und der Normsicht V_N

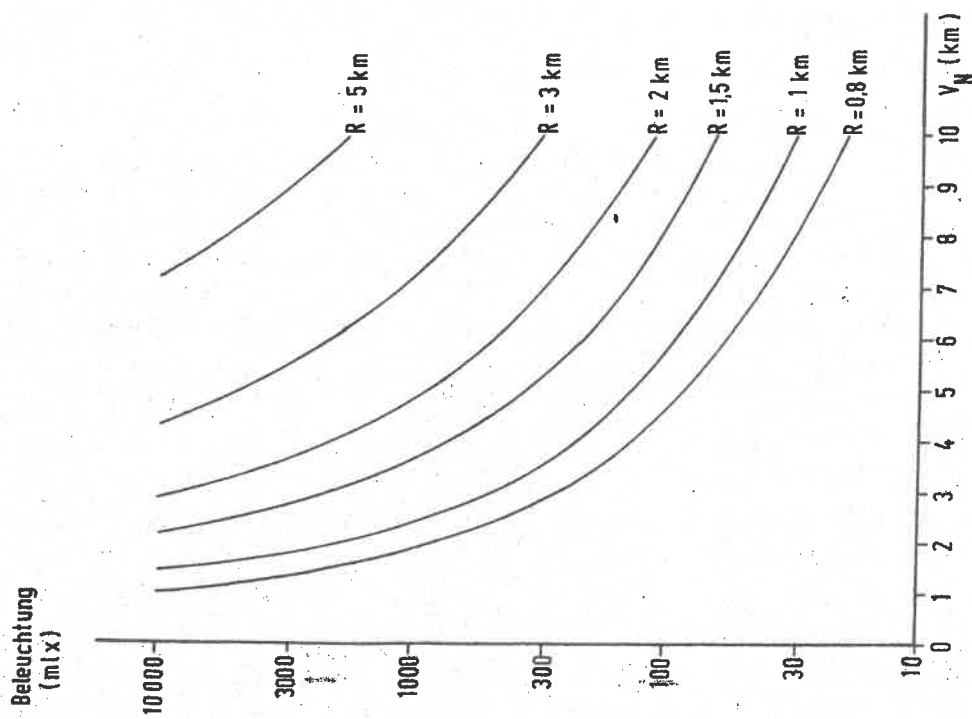


Abb. 7: Reichweite R der BiV-Brille bei Beleuchtung der Szene entgegen der Blickrichtung des Beobachters in Abhängigkeit von der Beleuchtung und der Normsicht

Tabelle 1:

Entdeckungreichweite der Bw-BiV-Brille

Normsicht (km)	Beleuch- tung (mlx)	BiV-Entdeckungreichweite			
		Hersteller- angabe (m) Sichtziel: Panzer	nach den Gleichungen (17) und (18) mit Annahmen entsprechend den Abb. 5 Abb. 6 Abb. 8 (m) (m) (m)		
5	1	380	570	510	180
5	10	540	1700 ⁺⁾	1500 ⁺⁾	740
5	100	660	2900 ⁺⁾	2800 ⁺⁾	1700 ⁺⁾
12	1	470	1200 ⁺⁾	950 ⁺⁾	430
12	10	680	3500 ⁺⁾	3100 ⁺⁾	1800 ⁺⁾
12	100	850	6400 ⁺⁾	5800 ⁺⁾	4000 ⁺⁾

⁺⁾ mit der Herstellerangabe nicht vergleichbar, da das vom Hersteller angenommene Sichtziel (Panzer) in dieser Entfernung einen Raumwinkel einnimmt, der kleiner oder vergleichbar mit dem Auflösungsvermögen der BiV-Brille ist.

Die Unterschiede in den Reichweitenangaben des Herstellers und den Ansätzen dieses Berichtes können folgende Ursachen haben:

- Die Modellvorstellungen dieses Berichtes vernachlässigen die optischen Eigenschaften des Objektes, der Bildverstärkerröhre und der Betrachtungslupe.
- Den Herstellerangaben liegen andere Reflexionskoeffizienten zwischen Ziel und Hintergrund zugrunde.
- Die Integrationszeit ist eine andere.
- Die Fertigungstoleranzen der Bildverstärkerröhre sind erheblich, z.B. wird die Empfindlichkeit der Photokathode mit typisch 300 $\mu\text{A/Lumen}$ angegeben (Ansatz in 3.12), minimal jedoch mit 200 $\mu\text{A/Lumen}$ /5/.

Die wesentliche Differenz zwischen den Reichweiteangaben des Herstellers und den theoretischen Berechnungen (Gleichung (17) und (18)) beruht jedoch auf einem grundsätzlich anderen Ansatz:

- der Hersteller geht von einem konstanten Ziel aus,
- während in diesem Bericht mit einem konstanten Raumwinkel gerechnet wird.

Der hier gemachte Ansatz gibt die Situation bei der Navigation wieder. Objekte gewinnen mit abnehmender Entfernung zum Beobachter an Interesse.

Weit entfernte Gegenstände sind nur von Belang, wenn sie eine gewisse scheinbare Größe einnehmen, d.h. einen bestimmten Raumwinkelbereich ausfüllen.

Darüberhinaus vermeidet dieser Ansatz mathematisch-physikalische Schwierigkeiten, die auftreten, wenn die Objekte Raumwinkelbereiche an der Grenze des Auflösungsvermögens der BiV-Brille einnehmen.

Kampfreichweiten werden durch den hier gemachten Ansatz nicht beschrieben. Für sie muß auf entsprechende Herstellerangaben über Erkennungs- bzw. Identifizierungreichweite zurückgegriffen werden.

Bei Beachtung der grundsätzlich unterschiedlichen Ansätze sind die Berechnungen nach (17) und (18) verglichen mit den Herstellerangaben bezüglich der Reichweite etwas zu optimistisch.

Die Herstellerangaben stützen im Sichtbereich bis 800 m, in dem sie mit den Werten nach (17) und (18) vergleichbar sind, im Rahmen der o.a. Unsicherheiten die theoretischen Berechnungen.

4. Auswertung der BiV-Reichweiten-Bestimmungen

Für einen Vergleich zwischen Theorie und Praxis stehen AWGeophys zwei Datenkollektive zur Verfügung:

- a) Beobachtungen der horizontalen BiV-Reichweite durch Wetterbeobachter im Gebiet Leierberg, die durch die HFlgWaS SpezStab ATV Grp Geophysik veranlaßt und im Dezember 80 und Januar 81 durchgeführt wurden, und
- b) BiV-Reichweite-Schätzungen von Hubschrauberpiloten der HFlgWaS aus dem Zeitraum Oktober 81 bis Januar 82, die im Rahmen von Debriefings festgehalten wurden.

Den Inhalt der Datensätze enthält Tabelle 2.

Fehler der Messungen und Unsicherheiten der Beobachtungen lassen einen strengen mathematisch-physikalischen Zusammenhang zwischen der BiV-reichweite und den anderen Parametern bei einem einzelnen Beobachtungsdatensatz nicht erwarten.

4.1 Zur Ermittlung eines statistischen Zusammenhangs bietet sich das Verfahren der multilinenaren Regression an /7/, /8/, d.h. die Beschreibung der Unbekannten Y durch eine Beziehung zu den bekannten Größen X_i in der Form

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i \quad (19)$$

wobei die Faktoren a_0 und a_i nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt werden.

Dieses Verfahren setzt u.a. voraus, daß die Unsicherheiten (Fehler) der Beobachtungen/Messungen im ganzen Wertebereich dieses Parameters nicht wesentlich schwanken.

Der absolute Fehler von Sichtweitebeobachtungen, BiV-Reichweitebestimmungen und Normsichtmessungen steigt jedoch mit zunehmender Entfernung. Annähernd konstant ist für diese Größen der relative (prozentuale) Fehler. Daraus folgt, daß für Y, X_i der Logarithmus von Normsicht, Feuersicht, BiV-Reichweite in (19) anzusetzen ist.

Tabelle 2:

Inhalt der Datensätze der BiV-Reichweite-Beobachtungen

lfd. Nr.	Parameter	Bodenbeob- achtung	Hubschrauberbeob- achtung
1	Datum	+	+
2	Uhrzeit	+	+
3	Ortsangabe	+	+
4	Wetterangabe (beobachtet/interpol.)	-	+
5	Windrichtung	+	+
6	Windgeschwindigkeit	+	+
7	max. Boen	o ¹⁾	o ²⁾
8	Feuersicht	+	+
9	Wetter (ww)	+	+
10	Wolkengruppen	+	+
11	Temperatur	+	+
12	Taupunkt	+	+
13	rel. Feuchte	+	+
14	Erdbodenzustand	+	+
15	Globalbeleuchtungsstärke (Vorhersage)	-	+
16	Normsicht	-	o
17	Mondhöhe	-	o
18	Mondhelligkeit	-	o
19	BiV-Brillen-Typ	-	o
20	Lfz-Typ	-	o
21	BiV-Reichweite	+	+
22	Globalbeleuchtungsstärke (gemessen)	-	o
23	Bildeindruck	-	+
24	Sonst. Beobachtungen	o	o
25	Art der Messung der Globalbel.	-	o

Legende:

- + in jedem Datensatz enthalten
- in keinem Datensatz enthalten
- o in einigen Datensätzen enthalten
- 1) synoptisch interpolierte Werte für das Gebiet Leierberg
- 2) in EDCB

4.2 Für die Beobachtungen des Datenkollektivs b (Beobachtungen der BiV-Reichweite vom Hubschrauber) wurde das Verhältnis V von BiV-Reichweite R zur Normsicht V_N gebildet. Es ergab sich dabei ein Mittelwert \bar{V} von

$$\bar{V} = \frac{R}{V_N} = 0,56$$

und ein Medianwert \tilde{V} von

$$\tilde{V} = 0,43$$

Die Häufigkeitsverteilung von V für das Datenkollektiv b zeigt Abbildung 9.

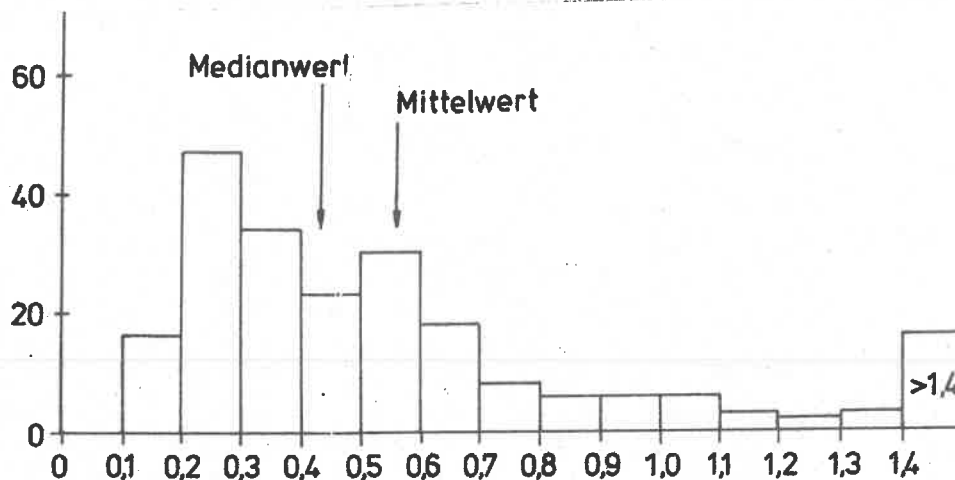


Abb. 9: Absolute Häufigkeit des Verhältnisses BiV-Reichweite zur Normsicht

Für die Gleichung (18) für $B \geq 30$ mlx läßt sich folgende Näherung entwickeln:

$$0,94 \cdot e^{\frac{7,824}{V_N} R} = 0,104 B \quad (20)$$

Bestimmt man aus dieser Gleichung die zu einem Verhältnis V gehörende Beleuchtungsstärke, so liegt bei Werten von V oberhalb des Medianwertes \tilde{V} der Fehler gegenüber der Berechnung nach Gleichung (18) unter 20 % und damit unterhalb der Fehlergrenzen der Messungen.

Der Fehler steigt für kleinere Werte von V an und erreicht bei $V = 0,2$, der nur noch von 7 % aller Messungen unterschritten wird, einen Wert von 36 %. Dieser Fehler liegt an der Grenze der Meßgenauigkeit von B .

Durch zweifache Logarithmieren von (20) erhält man eine Gleichung des Typs:

$$\ln R = a_0 + a_1 \ln V_N + a_2 \ln \ln b B \quad (21)$$

$a_1, b = \text{Konstante},$

die den Logarithmus der Reichweite und der Normsicht linear verknüpft, den Bedingungen von 4.1 genügt und damit als Ansatz für Regressionsrechnungen geeignet ist.

4.3 Um eventuelle zusätzliche Abhängigkeiten der BiV-Reichweite von der Bewölkung und der relativen Feuchte aufzuspüren wurde der Ansatz (21) um zwei Glieder ergänzt. Die Gleichung wurde ferner auf alle Sichtangaben (Normsicht, Feuersicht) verallgemeinert:

$$\ln R = a_0 + a_1 \ln V + a_2 \ln \ln(10 B) + a_3 F + a_4 N \quad (22)$$

mit $F = \begin{cases} 0 & \text{für rel. Feuchten } F \text{ kleiner } 70 \% \\ \frac{100 - f}{30} & \text{für rel. Feuchte größer } 70 \% \end{cases}$

$V = \text{Normsicht (Feuersicht) (Km)}$

$N = \text{Gesamtbedeckung unter } 1000 \text{ ft}$

$B = \text{Beleuchtung (mlx)}$

Zur Anpassung der Konstanten b wurden Regressionsrechnungen für $b = 10, 30, 100, 300, 1000$ und 3000 durchgeführt. Es zeigte sich, daß die Wahl von b aus dem Bereich $10 \dots 100$ nur einen geringen Einfluß auf den Korrelationskoeffizienten und den Fehler der Vorhersage hat. Bei größerem b verschlechtert sich die Näherung.

b wurde gleich 10 gesetzt, weil

- damit der Ausdruck für die Beleuchtung im ganzen Wertebereich der Beleuchtungsstärke von $> 0,1 \text{ mlx}$ mathematisch definiert bleibt,
- der theoretische Ansatz ein möglichst kleines b erfordert.

Da die Regressionsrechnungen nur mit numerisch definierten Größen durchgeführt werden können, wurden die Datensätze, die für die BiV-Reichweite, die Normsicht oder die Feuersicht den Schlüssel "9999" o.ä. enthalten, nicht berücksichtigt.

4.4 Die Tabellen 3 bis 5 geben die mit dem Ansatz (22) erzielten Ergebnisse der Regressionsrechnungen wieder. Tabelle 3 enthält die Ergebnisse aus dem Datenkollektiv a, Tabelle 4 die Regressionsgleichung für den Prädiktor Normsicht und Tabelle 5 die Regressionsgleichung für den Prädiktor Feuersicht, errechnet jeweils aus dem Datenkollektiv b.

Das Screening-Verfahren /7, 8/ bestimmt zuerst für die einzelnen Prädiktoren die Korrelation mit dem Prädiktanden und stellt eine Rangfolge der Prädiktoren auf. Es bestimmt dann die Koeffizienten für die Vorhersagegleichung unter ausschließlicher Verwendung des Prädiktors mit dem höchsten Rang und berechnet für diese Gleichung den Korrelationskoeffizienten (Tabelle 3 bis 5, Spalte IX) und den Fehler der Vorhersage (Tabelle 3 bis 5, Spalte X), d.h. die Streuung der Meßwerte um die Gerade der Vorhersagegleichung. Danach werden sukzessive für die Prädiktoren mit dem nächst niedrigeren Rang die Koeffizienten der Vorhersagegleichung, der Korrelationskoeffizient und der Fehler der Vorhersage bestimmt. Das Verfahren bricht ab, wenn durch Hinzunahme weiterer Prädiktoren der Fehler der Vorhersage sich nicht mehr signifikant verringert.

Signifikante Zusammenhänge bestehen für alle Datenkollektive und Teilkollektive zwischen der BiV-Reichweite einerseits, Norm- bzw. Feuersicht und Beleuchtung andererseits. Sofern weitere Prädiktoren herangezogen wurden sind die Ergebnisse als lfd. Nr. ...a bzw. b in den Tabellen 3 bis 5 aufgeführt.

In den Spalten V bis VIII der Tabellen 3, 4, 5 sind neben den Faktoren a_1 , a_2 , a_3 und a_4 ihre Standardabweichungen angegeben.

Die Ergebnisse statistischer Verfahren gelten streng nur in einem Wertebereich, der ausreichend durch Messungen belegt ist. Um diesen Bereich abzugrenzen wurden die Häufigkeiten ausgezählt, mit denen die Meß- bzw. Beobachtungswerte der wichtigsten Parameter

- BiV-Reichweite
- Feuersicht
- Normsicht
- Beleuchtungsstärke

in bestimmte Größenklassen fallen. Abbildung 10 zeigt das Ergebnis für die horizontalen BiV-Reichweite-Beobachtungen (Datenkollektiv a), Ab-

Tabelle 3: Ergebnisse der Regressionsrechnung des Datenkollektivs a
BIV-Reichweite (Bodenbeobachtung)/Feuersicht

$$\text{Ansatz: } \ln R = a_0 + a_1 \ln V_F + a_2 \ln \ln (10 B) + a_3 F + a_4 N$$

fd. Auswahlkriterium r.	Anzahl d. Daten- sätze	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	Korrela- tionsko- effizient	Fehler d. Vor- hersege	Vertrauensbereich	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
ges. Kollektiv	365		-0,724	0,60 +0,05	0,36 +0,10			0,76	46 %	R = 1...10 km V _F = 1...10 km B = 0,7..20 mlx
a wie 1	365		-0,992	0,65 +0,06	0,37 +0,10	0,28 +0,18		0,78	45 %	wie 1

Der Bedeckungsgrad lieferte keinen signifikanten Beitrag zur Verbesserung der Näherung.

Tabelle 4: Ergebnisse der Regressionsrechnungen des Datenkollektivs b
 BiV-Reichweite (Hubschrauberbeobachtungen)/Normsicht
 Ansatz: $\ln R = a_0 + a_1 \ln V_N + a_2 \ln \ln (10 B) + a_3 F + a_4 N$

lfd. Nr.	Auswahlkriterium	Anzahl d. Datensätze	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	Korrelationskoeffizient	Fehler d. Vorhersage	Vertrauensbereich der Näherung
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	ges. Kollektiv; gem. Beleuchtung sofern vorhanden, sonst Vorhersage	197	-0,581	0,31 +0,08	0,74 +0,12			0,495	49 %	$R = 1...5$ km $V_N = 3...10$ km $B = 0,8...100$ mlx
2	wie 1, nur Gebiete LEIG, LOCC, EDCB, DUED	136	-0,492	0,32 +0,11	0,69 +0,13			0,511	44 %	wie 1
3	wie 1, nur vorhergesagte Beleuchtungswerte	197	-0,575	0,34 +0,08	0,64 +0,11	0,26 +0,19		0,488 (0,478) ¹⁾	49 % (49 %)	wie 1
4	nur gemessene Beleuchtungswerte, sonst wie 1	57	-0,725	0,41 +0,10	0,67 +0,25			0,641	37 %	$R = 1...3$ km $V_N = 5...10$ km $B = 1...4$ mlx
4a	wie 4	57	-1,061	0,44 +0,10	0,67 +0,26	0,68 +0,40		0,679	35 %	wie 4
4 b	wie 4	57	-1,073	0,47 +0,10	0,73 +0,26	0,92 +0,43	-0,33 +0,20	0,712	34 %	$R = 1...3$ km $V_N = 5...10$ km $B = 1...4$ mlx

Der Bedeckungsgrad liefert nur für die lfd. Nr. 4 einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung der Näherung.

¹⁾ Korrelationskoeffizient und Fehler der Vorhersage ohne Berücksichtigung des Feuchtebeitrages (a_3).

Tabelle 4: (Fortsetzung)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Vertrauensbereich
lfd. Nr.	Auswahlkriterium	Anzahl d. Datensätze	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	Korrelationskoeffizient	Fehler d. Vorhersage	
5	BiV-Reichweiten	163	-0,551	0,30 ±0,07	0,59 ±0,12			0,483	42 %	R = 0,8... 5 km V _N = 3 ... 10 km B = 1 ... 100 mlx
6	nur CH 53 G sonst wie 1	120	-0,304		0,92 ±0,15			0,562	44 %	R = 1 ... 10 km V _N = 3 ... 10 km B = 1 ... 20 mlx
7	nur UH 1 D sonst wie 1	41	-0,007	0,55 ±0,12				0,734	38 %	R = 2 ... 3 km V _N = 5 ... 10 km B = 1 ... 2 mlx

Tabelle 5: Ergebnisse der Regressionsrechnungen des Datenkollektivs b
BiV-Reichweite (Hubschrauberbeobachtungen)/Feuersicht

$$\text{Ansatz: } \ln R = a_0 + a_1 \ln V_F + a_2 \ln \ln (10 B) + a_3 F + a_4 N$$

lfd. Auswahlkriterium Nr.	Anzahl d. Daten- sätze	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	Korrela- tionsko- effizient	Fehler d. Vor- hersage	Vertrauensbereich der Näherung
I	II	III	IV	V	VI	VIII	IX	X	XI
1	ges. Kollektiv; gem. Beleuchtung, sofern vorhanden, sonst Vorhersage	239	-0,027	-0,19 +0,07	0,8 +0,12		0,437	52 %	R = 1...5 km V _F = 1...5 km B = 0,8...100 mlx
1a	wie 1	239	-0,092	-0,16 +0,07	0,8 +0,12	0,14 +0,10	0,446	51 %	wie 1
2	nur Gebiete LEIG, LOCC, EDCB, DUEB; sonst wie 1	166	0,059	-0,32 +0,08	0,84 +0,13		0,515	47 %	wie 1
2a	wie 2	166	-0,073	-0,29 +0,09	0,80 +0,13	0,249 +0,12	0,538	47 %	wie 1
3	nur vorhergesagte Beleuchtungswerte, sonst wie 1	237	0,182	-0,19 +0,07	0,66 +0,11		0,398	52 %	wie 1
3a	wie 3	237	0,052	-0,16 +0,07	0,63 +0,11	0,23 +0,10	0,424	51 %	wie 1
4	nur gemessene Beleuchtungswerte, sonst wie 1	70	-0,009	-0,17 +0,13	0,68 +0,25		0,352	51 %	R = 1...3 km V _F = 1...3 km B = 1...4 mlx

Tabelle 5: (Fortsetzung)

lfd. Nr.	Auswahlkriterium	Anzahl d. Daten-Sätze	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	Korrelationskoeffizient	Fehler d. Vorhersage	Vertrauensbereich der Näherung
I		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
5	BiV-Reichweiten unter 5 km	207	0,081	-0,111 +0,069	0,58 +0,12			0,334	48 %	R = 1...5 km V _F = 1...5 km B = 0,8...100 mlx
5a	wie 5	207	0,132	-0,133 +0,072	0,60 +0,12	-0,18 +0,16		0,345	48 %	wie 5
5b	wie 5	207	0,075	-0,113 +0,072	0,57 +0,12	-0,37 +0,18	0,22 +0,12	0,368	47 %	wie 5
6	nur CH 53 G sonst wie 1	162	-0,380		0,84 +0,13		0,30 +0,12	0,520	46 %	R = 1...10 km V _F = 1...5 km B = 1...20 mlx
6a	wie 6	162	-0,330		0,82 +0,13	0,26 +0,24	0,36 +0,13	0,527	46 %	wie 6
6b	wie 6	162	-0,229	-0,12 +0,11	0,84 +0,13	0,36 +0,26	0,32 +0,14	0,533	45 %	wie 6
7	nur UH 1 D, sonst wie 1	46	-0,422	-0,19 +0,14	0,36 +0,34					R = 2...3 km V _F = 1...2 km B = 1...20 mlx
7a	wie 7	46	-0,487	-0,25 +0,15	0,55 +0,37		-0,33 +0,27	0,286	59 %	wie 7

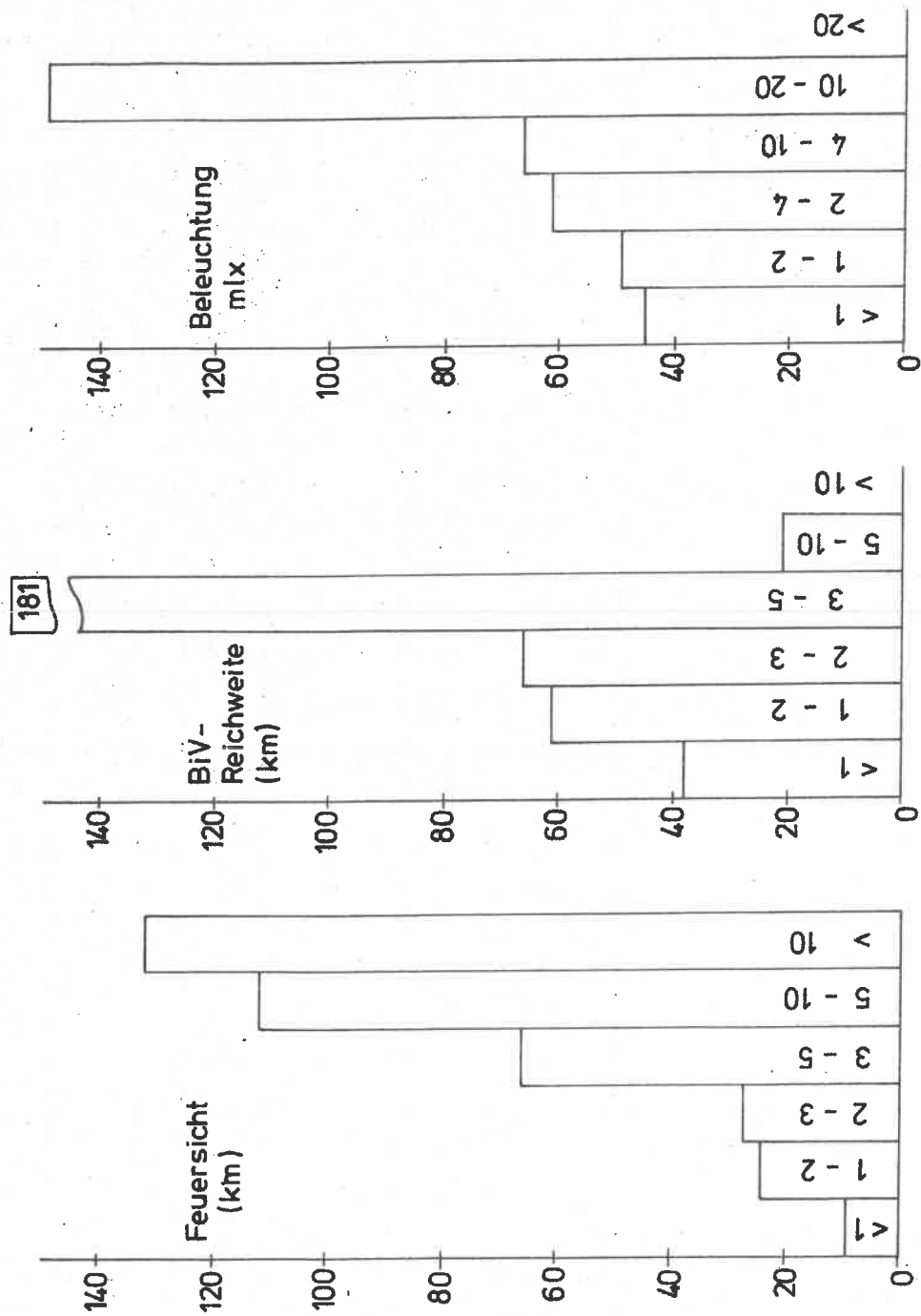


Abb. 10: Häufigkeiten der während der Bodenbeobachtungen vom Dezember 80 bis Januar 81 gemessenen/beobachteten Feuersichten, Beleuchtungsstärken und BIV-Reichweiten

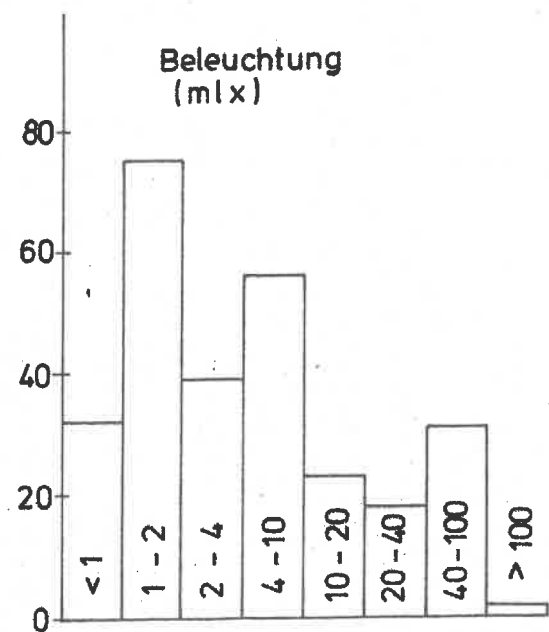
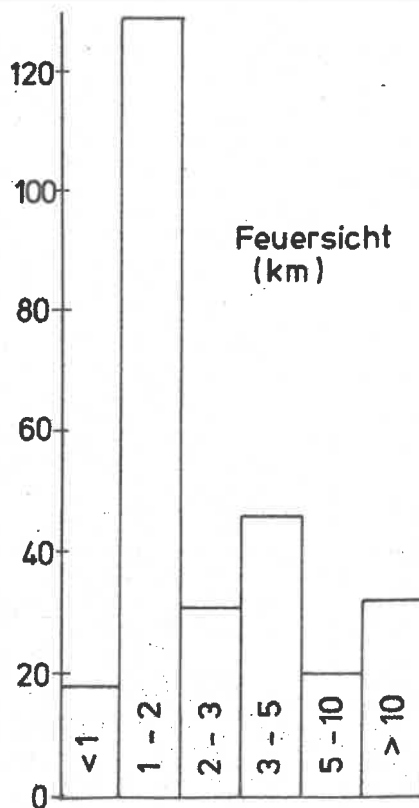
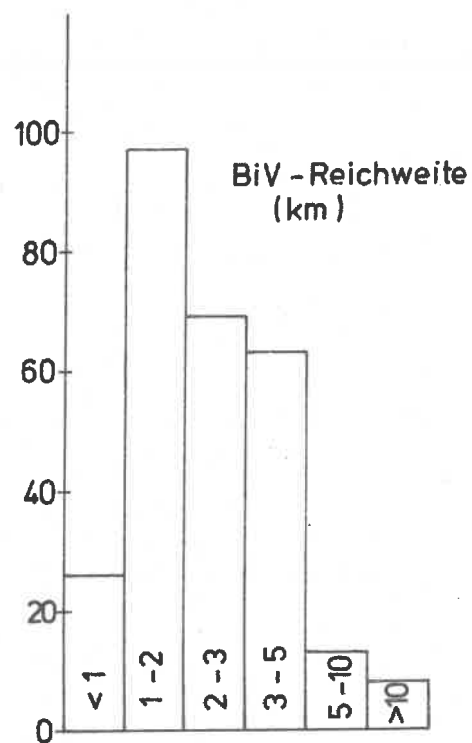
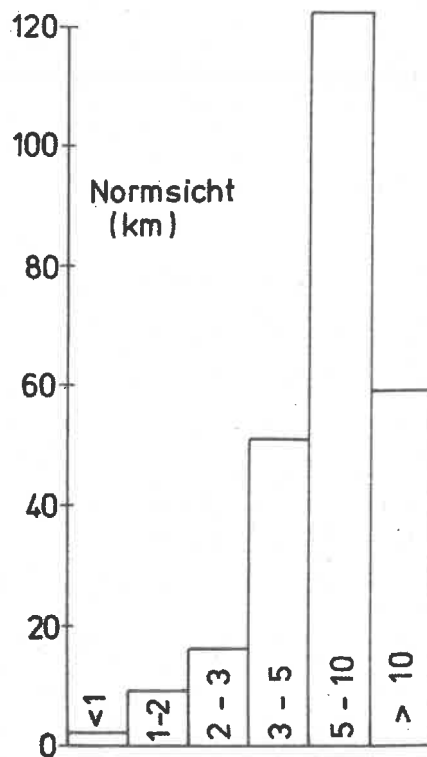


Abb. 11: Häufigkeiten der während der Nachtflüge vom 30.09.1981 bis 14.04.1982 gemessenen/beobachteten Normsichten, Feuersichten, Beleuchtungsstärken und BiV-Reichweiten

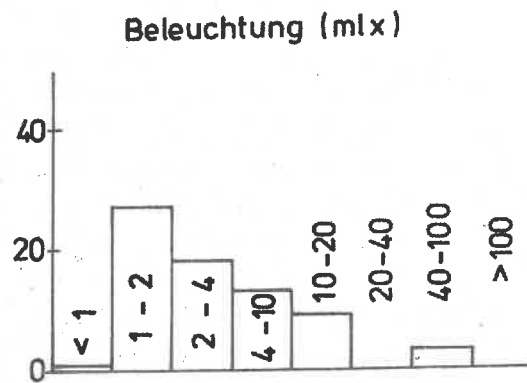
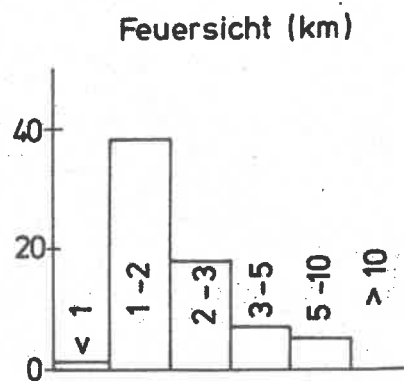
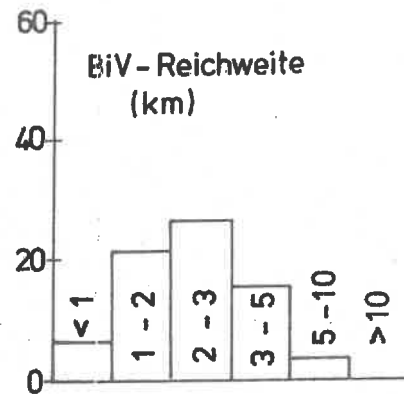
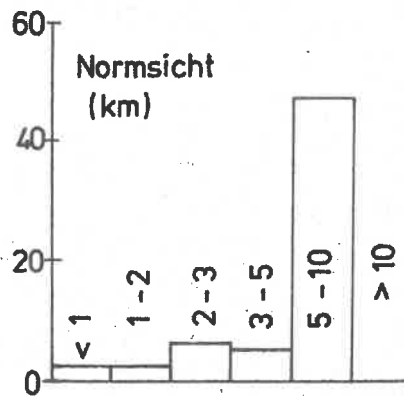


Abb. 12: Häufigkeiten der während der Nachtflüge vom 30.09.81 bis 14.01.1982 gemessenen/beobachteten Normsichten, Feuersichten, Beleuchtungsstärken und BiV-Reichweiten (Teilkollektiv, für das die Beleuchtungsstärke gemessen wurde)

bildung 11 das für die Beobachtungen vom Hubschrauber aus (Datenkollektiv b) und Abbildung 12 die des Teilkollektivs von b, für das Messungen der Beleuchtungsstärke vorliegen.

Die Schätz- und Meßunsicherheiten bei der Bestimmung der Sicht bzw. der BiV-Reichweite sind sehr groß, es wird deshalb davon ausgegangen, daß mindestens 20 Meßwerte pro Größenklasse, als Grundlage für die statistische Auswertung erforderlich sind. Die sich daraus ergebenden Vertrauensbereiche enthalten die Spalten XI in den Tabellen 3 bis 5.

4.5 Sichtmessungen sind auch bei einwandfreien Meßinstrumenten mit Fehlern/Unsicherheiten von 15 bis 20 % behaftet. Bei einem Vergleich zwischen zwei Sichtmeßgeräten muß man deshalb mit Streuungen von 20 bis 30 % rechnen. Wenn die Geräte tendenziell voneinander abweichen, ist diese Streuung sogar noch größer.

Sichtschätzungen, insbesondere die Beobachtung der Feuersicht (s. 2.5), sind noch unsicherer als Sichtmessungen.

Bei dem vorliegenden Datenkollektiv wurden

- Feuer- bzw. Normsicht nicht am gleichen Ort gemessen wie die BiV-Reichweite,
- die Schätzungen der BiV-Reichweite durch Hubschrauberpiloten, also Laien, durchgeführt,
- die Meßzeitpunkte nur auf ca. 15 Minuten genau festgehalten, obwohl in einer Viertelstunde sich die Globalbeleuchtungsstärke abhängig von Bewölkung, Sonnen- und Mondstand um bis zu einer Zehnerpotenz ändern kann (s. BUGeophysBDBw Nr. 19).

Die ermittelten kleinen Korrelationskoeffizienten (Tabellen 3 bis 5, Spalten IX) und großen Fehler der Vorhersagen (Tabellen 3 bis 5, Spalten X) sind durch diese Hauptfehlerquellen zu erklären. Das zeigt auch die bessere Korrelation und der geringere Fehler, die sich ergeben, wenn man die Auswertung auf ein Teilkollektiv beschränkt, für das die Beleuchtung gemessen wurde (Tabelle 4, lfd. Nr. 4).

4.6 Nach der Auswertung der vollständigen Datenkollektive a und b (Tabellen 3 bis 5, lfd. Nr. 1) wurden die Debriefingsdaten (Datenkollektiv b) daraufhin untersucht, ob in bestimmten Fluggebieten die beobachteten BiV-Reichweiten deutlich von der gefundenen Regressionsgleichung (lfd. Nr. 1) abweichen. Es zeigte sich, daß aus den häufig beflogenen Gebieten

- Leierberg (LEIG)
- Loccum (LOCC)
- Bückeburg (EDCB) und
- Düdenhausen (DUED)

signifikant bessere BiV-Reichweiten gemeldet wurden.

Für dieses immer noch umfangreiche Teilkollektiv wurden sowohl für die Norm- als auch für die Feuersicht als Parameter die Regressionsrechnungen durchgeführt. In beiden Fällen ergab sich eine deutliche Reduzierung des Vorhersagefehlers und eine Verbesserung des Korrelationskoeffizienten (lfd. Nr. 2). Die Veränderungen der Koeffizienten a_1 und a_2 gegenüber der ersten Regressionsrechnung liegen innerhalb oder nur geringfügig außerhalb der durch die Standardabweichungen vorgegebenen Grenzen.

Da zwischen den vorhergesagten und den gemessenen Beleuchtungswerten des Datenkollektivs b teilweise erhebliche Unterschiede bestehen, wurden die Vorhersagen unter Verwendung der in den Datensätzen angegebenen Zeiten und Wetterbeobachtungen gem. BUGEophysBDBw Nr. 19 nachvollzogen. Die Diskrepanzen waren gering.

Für die Regressionsrechnungen, die in den Tabellen 4 und 5 unter der lfd. Nr. 3 aufgeführt sind, wurden nur die vorhergesagten Beleuchtungswerte zugrundegelegt. Der Korrelationskoeffizient zeigt an, daß sich bei dieser Vorgabe die Regressionsnäherung verschlechtert.

Für die lfd. Nr. 4 wurde dann nur das Teilkollektiv von b verwendet, für das gemessene Beleuchtungswerte vorliegen. Verwendet man die Normsicht als Prädiktor (Tabelle 4) zeigt der Vorhersagefehler von 34 % das beste Ergebnis für das Datenkollektiv b. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß für dieses Teilkollektiv wegen der wenigen Meßwerte der Vertrauensbereich der Näherung (Spalte X) klein ist.

Bei Verwendung der Feuersicht als Prädiktor (Tabelle 5 lfd. Nr. 4) ist im Gegensatz dazu eine Verschlechterung gegenüber der Näherung für das Gesamtkollektiv festzustellen.

Da BiV-Reichweiten von 5 km und mehr von Hubschrauberpiloten die in 200 ft Höhe fliegen schlecht beobachtet werden können und diese Angaben u.U. auch die Beobachtung ferner Lichtquellen enthalten können, wurden weitere Regressionen für das Teilkollektiv ohne diese Datensätze berechnet. Sowohl bei Verwendung der Norm- als auch der Feuersicht als Prädiktor ergeben sich gegenüber dem Gesamtkollektiv b eine Verringerung des Vorhersagefehler (zurückzuführen auf den eingeschränkten Wertebereich) bei verschlechterter Korrelation.

Dem Hinweis eines Hubschrauberpilotens folgend wurden Teilkollektive untersucht, die jeweils mit den Hubschraubertypen CH 53 G und UH 1 D erflogen wurden (Tabellen 4, 5 lfd. Nr. 6, 7).

Legt man dabei die Normsicht als Prädiktor zugrunde (Tabelle 4), so verbessern sich tatsächlich der Korrelationskoeffizient und der Fehler der Vorhersage für beide Teilkollektive. Das jedoch bei dieser Statistik die BiV-Navigationssicht in der CH 53 G ausschließlich von der Beleuchtungsstärke und in der UH 1 D ausschließlich von der Normsicht abhängen soll, steht im Widerspruch zur Theorie (s. 3.). Die Resultate der lfd. Nr. 7 sind darüberhinaus statistisch mangelhaft abgesichert, da insgesamt nur 41 Flüge ausgewertet werden konnten.

Wird die Feuersicht als Prädiktor angeboten (Tabelle 5), so vergrößert sich das Teilkollektiv, da für fast alle Datensätze Feuersichtangaben vorliegen. Das Programm wählt jedoch die Feuersicht als letzten Prädiktor aus. Tabelle 5 lfd. Nr. 6 und 6a können damit als Fortsetzung von Tabelle 4 lfd. Nr. 6 mit vergrößertem Kollektiv angesehen werden. Da sich dabei Korrelationskoeffizient und Vorhersagefehler verschlechtern, muß davon ausgegangen werden, daß bei den großen Streuungen der Meß- und Beobachtungswerte die Anzahl der Datensätze noch nicht voll ausreicht, um statistisch stabile Resultate zu liefern.

Die Ergebnisse der Tabelle 5 lfd. Nr. 7 (UH 1 D) sind erheblich schlechter als die der anderen Teilkollektive, da sie statisch nicht hinreichend abgesichert sind, sollen sie hier nicht weiter diskutiert werden.

Die Ergebnisse mit der größten Aussagekraft liefern die Näherungen

- Tabelle 3, lfd. Nr. 1
- Tabelle 4, lfd. Nr. 2
- Tabelle 4, lfd. Nr. 4
- Tabelle 5, lfd. Nr. 5,

für sie sind in den Abbildungen 13, 14, 15, 16 Scharen der Regressionskurven wiedergegeben.

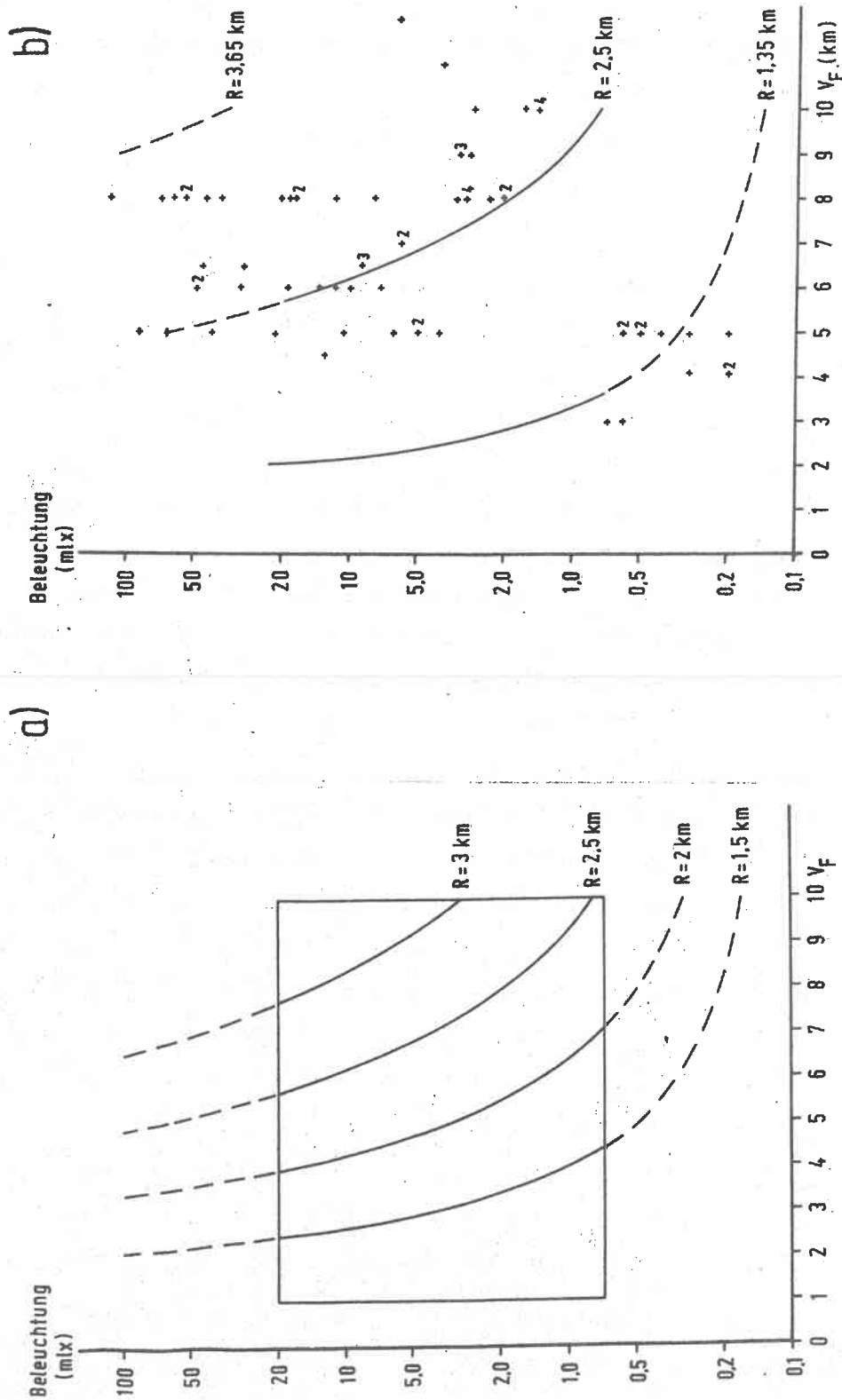


Abb. 13: BiV-Reichweite als Funktion der Feuersicht und der Beleuchtungsstärke
Regressionskurven aus den Bodenbeobachtungen am Leierberg

- a) Regressionskurven mit Angabe des Bereiches, der ausreichend mit Meßwerten belegt ist (Vertrauensbereich)
- b) Regressionskurven für $R = 2,5 \text{ km} \pm 46\%$ mit Eintragung von Beobachtungen mit BiV-Reichweiten zwischen $2 \dots 3 \text{ km}$

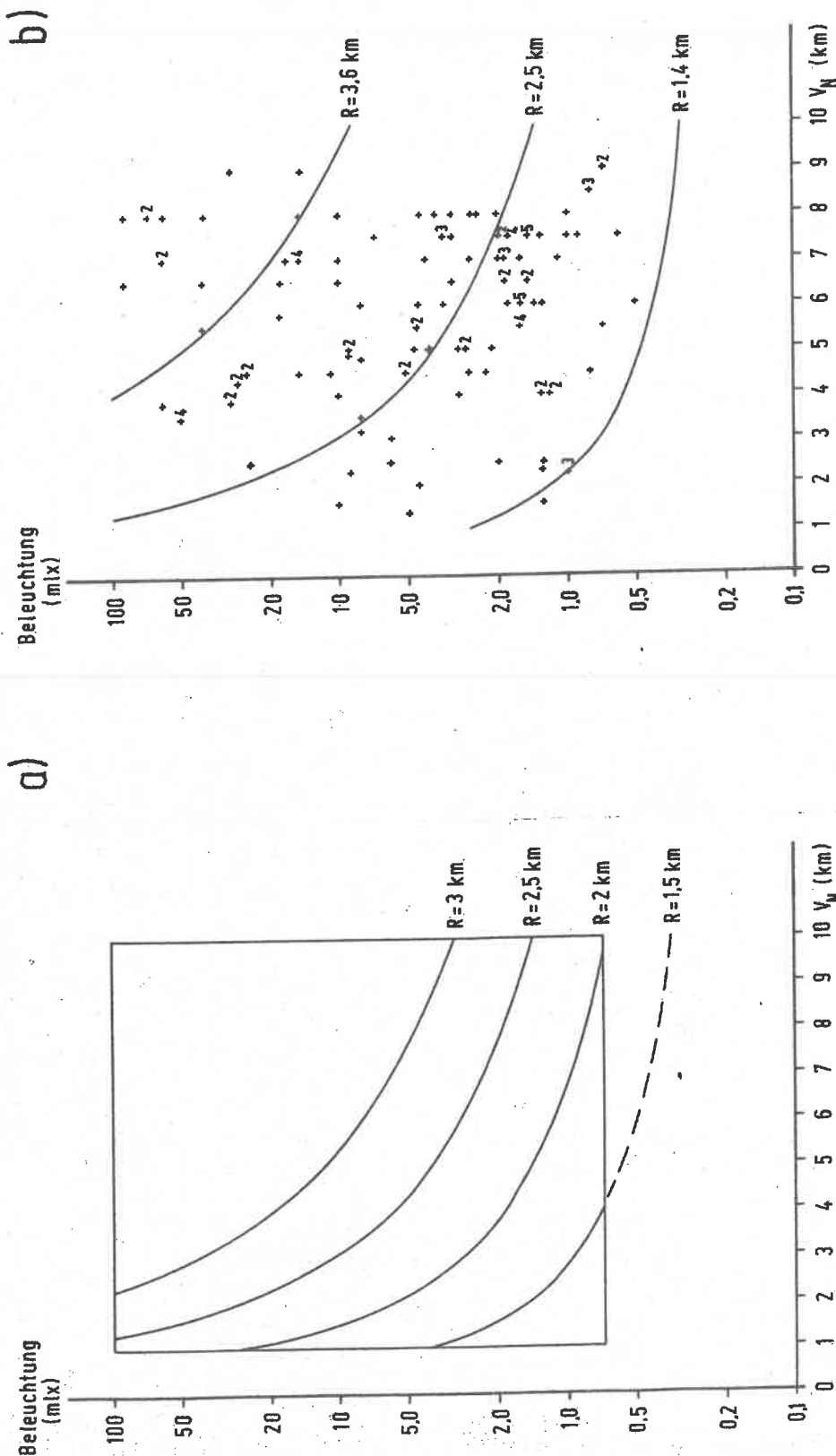


Abb. 14: BiV-Reichweiten als Funktion der Normsicht und der Beleuchtung
Regressionskurven aus den Debriefingsangaben

- a) Regressionskurven mit Angabe des Bereiches, der ausreichend mit Meßwerten belegt ist (Vertrauensbereich)
- b) Regressionskurven für $R = 2,4 \text{ km} \pm 44 \%$ mit Eintragung aller Beobachtungen mit BiV-Reichweiten zwischen $2 \dots 3 \text{ km}$

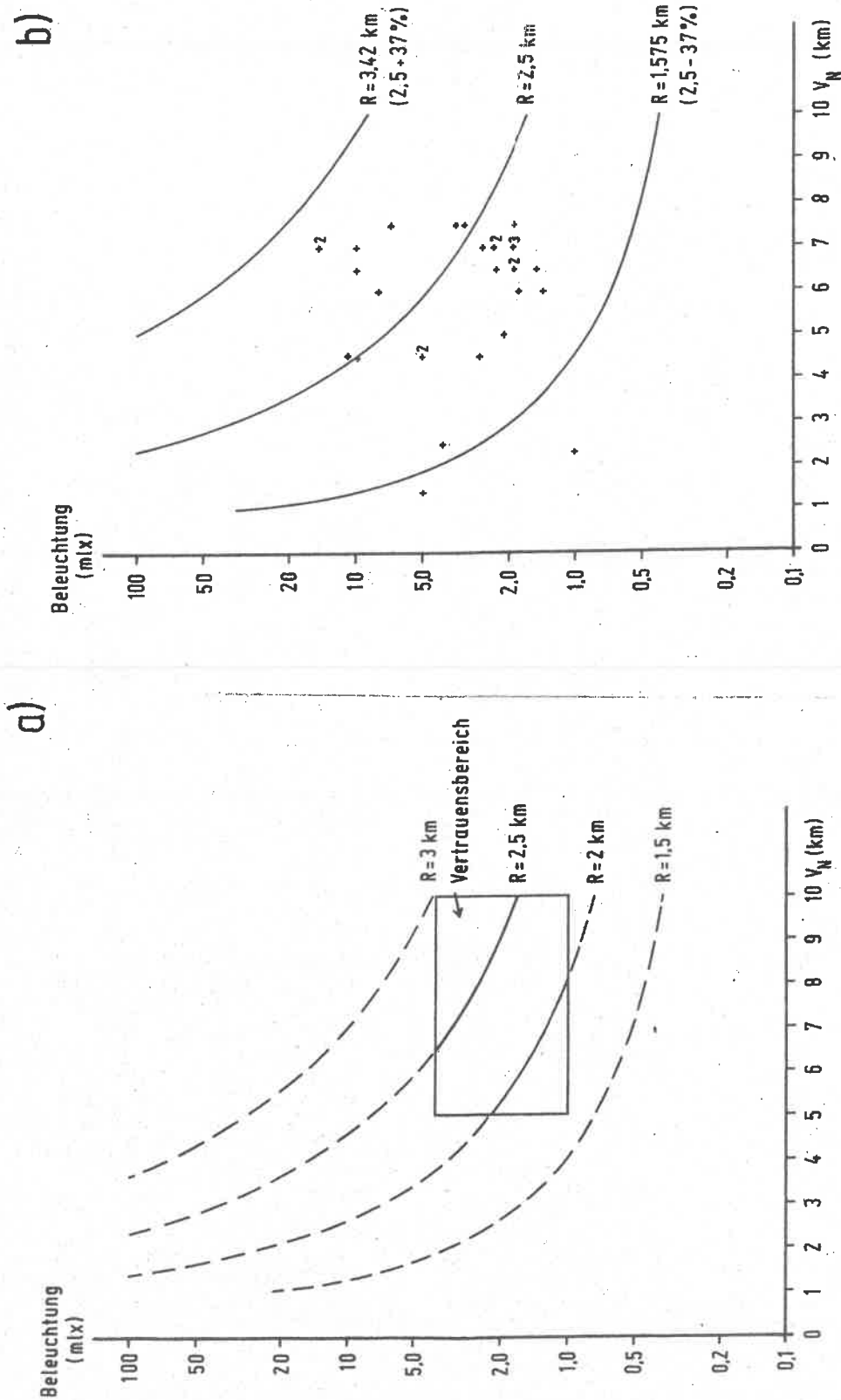


Abb. 15: BiV-Reichweite R als Funktion der Normsicht und der Beleuchtungsstärke
Regressionskurven aus den Debriefingsangaben, Teilkollektiv der Beobachtungen mit gemessener Beleuchtungsstärke

a) Regressionskurven mit Angabe des Bereiches, der ausreichend mit Meßwerten belegt ist (Vertrauensbereich)

b) Regressionskurven für $R = 2,5 \text{ km} \pm 37 \%$, alle Beobachtungen mit BiV-Reichweiten zwischen 2... 3 km und gemessenen Beleuchtungswerten wurden eingetragen

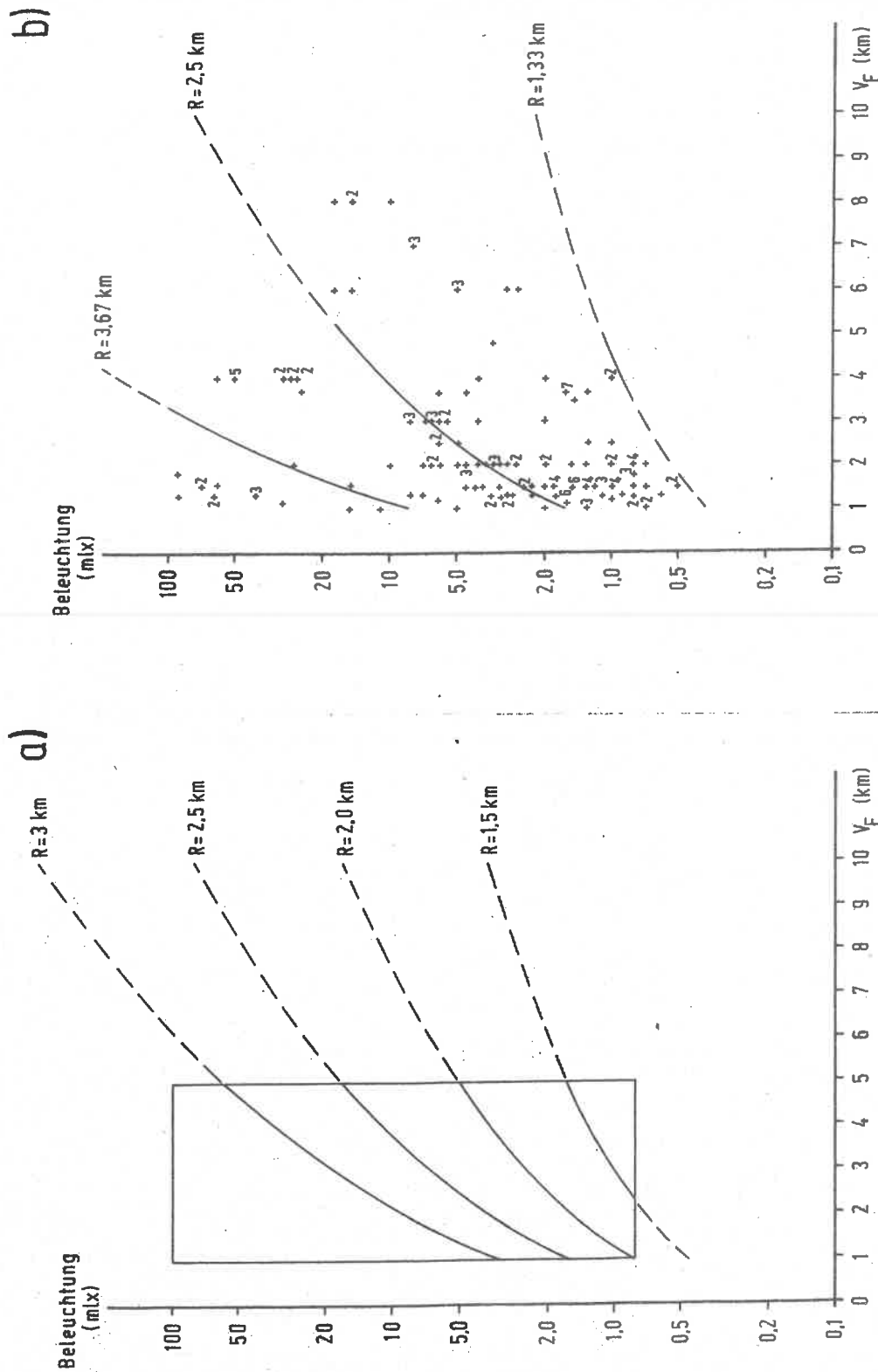


Abb. 16: BiV-Reichweiten als Funktion der Feuersicht und der Beleuchtung
Regressionskurven aus den Debriefingsunterlagen

- a) Regressionskurven mit Angaben des Bereiches, der ausreichend mit Meßwerten belegt ist (Vertrauensbereich)
- b) Regressionskurven für $R = 2,5 \text{ km} \pm 47 \%$ mit Eintragung aller Beobachtungen mit BiV-Reichweiten zwischen $2...3 \text{ km}$

4.7 Neben den in den Tabellen 3 bis 5 wiedergegebenen Regressionsrechnungen wurden noch eine große Anzahl von Näherungen versucht mit

- modifizierten Ansätzen und
- anderer Aufteilung in Teilkollektiven.

Diese wiesen entweder

- nicht bessere Korrelationen bzw. kleinere Fehler auf oder
- hatten wegen zu kleiner Vertrauensbereiche eine zu geringe Aussagekraft

und sind deshalb hier nicht aufgeführt worden.

5. Theorie und Praxis

5.1 Ein Vergleich zwischen den theoretischen Kurven der Abb. 5, 6, 8 einerseits mit denen der Abbildungen 14 und 15 andererseits zeigt, daß

- a) die theoretischen BiV-Reichweiten unter den beobachteten liegen,
- b) der Abstand zwischen den Reichweitekurven in der Praxis größer ist als theoretisch vorhergesagt,
- c) der Kurvenverlauf zwischen Theorie und Praxis ähnlich ist.

Die absolute Abweichung (a) kann in diesen Grenzen damit erklärt werden, daß

- das in 3.2 angenommene Raumwinkелеlement kleiner ist als das von den Piloten bei ihren Beobachtungen zugrundegelegte,
- die verwendeten BiV-Brillen eine größere Photokathodenempfindlichkeit aufweisen als in 3.12 angenommen (die Fertigungstoleranzen sind erheblich),
- die mit 0,1 sec angenommene Integrationszeit des Auges bzw. der Nachtleuchtdauer der Restlichtverstärkerröhre zu gering sind.

Die Unsicherheiten der Ergebnisse sind allerdings so groß, daß Rückschlüsse auf Kurvenabstand und Kurvenverlauf nur beschränkt möglich sind und deshalb hier auch unterbleiben sollen.

5.2 Die Nachttiefflüge mit Hubschraubern finden in Höhen unter 200 ft (60 m) statt. Die BiV-Reichweitenbeobachtungen von einem so niedrig fliegenden Hubschrauber aus sollten sich nicht wesentlich von entsprechenden Bodenbeobachtungen unterscheiden.

Ein Vergleich zwischen den Abbildungen 13 und 16 zeigt jedoch zwei völlig unterschiedliche Verläufe der Regressionskurven. Während die Bodenbeobachtungen am Leierberg einen parallelen Verlauf von BiV-Reichweite und Feuersicht aufweisen, nimmt nach den Debriefingsunterlagen und den Beobachtungen von Bückeburg die BiV-Reichweite mit zunehmender Feuersicht ab. Dieses Verhalten zieht sich durch alle Regressionsrechnungen der Tabelle 5. Die Gegenläufigkeit von Feuersichtmeldung Bückeburg und BiV-Reichweitenbeobachtung ist statistisch signifikant.

Die Unterschiede zwischen den Abbildungen 13 und 16 machen deutlich, daß statistische Zusammenhänge zwischen BiV-Sicht und Feuersicht, die

für eine Station gefunden wurden, nicht auf andere Gebiete übertragen werden dürfen. Die Gründe dafür liegen m.E. im ortsabhängigen nächtlichen Verlauf der Hintergrundleuchtdichte (s. 2.5).

Im Gegensatz dazu lassen sich die zwischen Normsicht und BiV-Reichweite gefundenen Zusammenhänge durchaus auf andere Regionen übertragen, da sie von ortsgebundenen Parametern (wie Reflexionsvermögen des Untergrundes, Bebauung, Bewaldung, etc.) nur wenig abhängen.

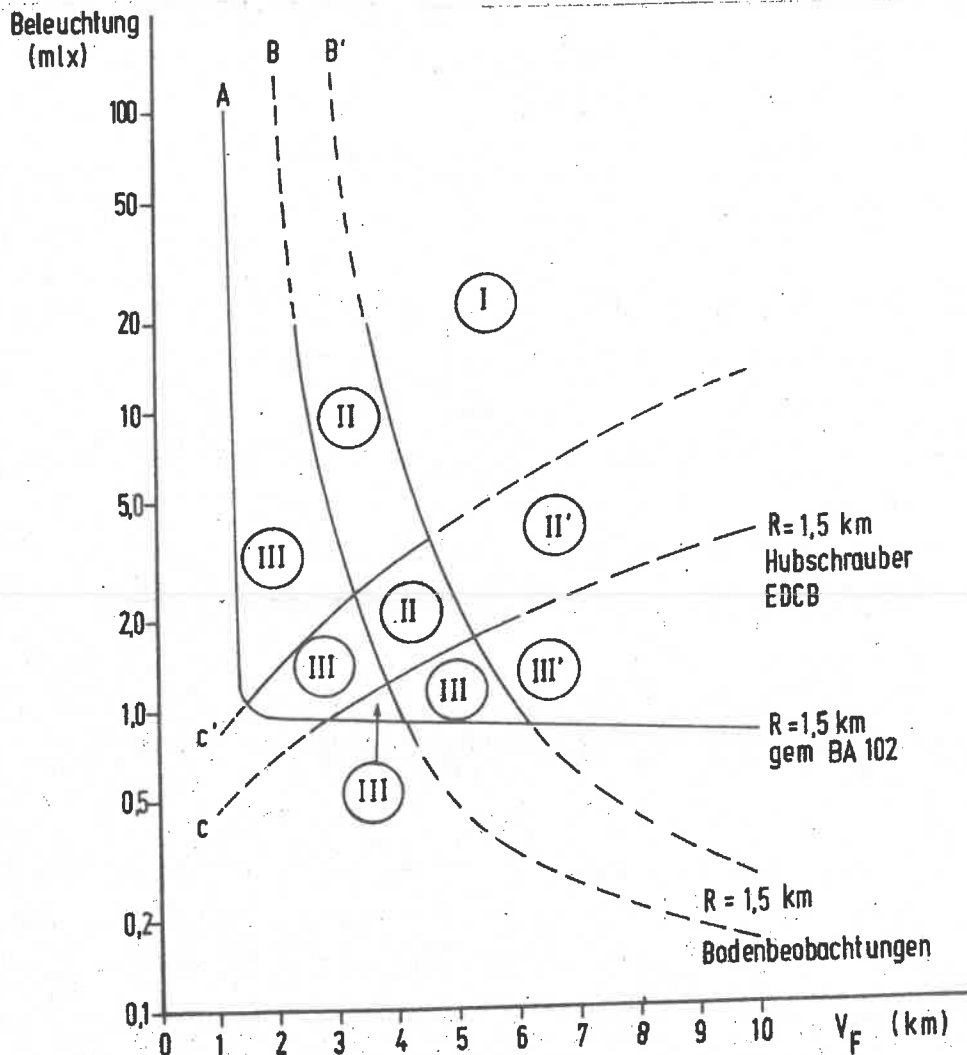


Abb. 17: BiV-Reichweiten als Funktion der Feuersicht und der Beleuchtung
Grenzkurven für eine minimale BiV-Reichweite von 1,5 km

Kurve A : gem BAAWGeophys Nr. 102 (kein Niederschlag)

Kurve B : nach den Bodenbeobachtungen am Leierberg
(Wahrscheinlichkeit für ein Unterschreiten
des Grenzwertes 50 %)

Kurve B': dto., (Wahrscheinlichkeit für ein Unterschreiten
des Grenzwertes 20 %)

Kurve C : Nach den Debriefingsunterlagen, Teilkollektiv
gem. Tabelle 5 lfd. Nr. 2, (Wahrscheinlichkeit
für ein Unterschreiten des Grenzwertes 50 %)

Kurve C': dto., (Wahrscheinlichkeit für ein Unterschreiten
des Grenzwertes 20 %)

6. Konsequenzen für die Beratung von Hubschrauber-Nachttiefflügen mit Bildverstärkerbrille

6.1 Abbildung 17 zeigt in einem Feuersicht-Beleuchtungsdiagramm die Grenzkurven für eine BiV-Mindest-Reichweite von 1,5 km

- gem. BAAWGeophys Nr. 102
- nach den Debriefingsunterlagen (mit einer Wahrscheinlichkeit 50 und 20 % für ein Unterschreiten des Mindestwertes)
- nach den Bodenbeobachtungen vom Leierberg (mit o.a. Wahrscheinlichkeiten).

Nimmt man an, daß es sich bei den Beziehungen, die aus den Debriefingsunterlagen und den Bodenbeobachtungen gewonnen wurden, bereits um Extreme handelt (eine zu optimistische Annahme), dann kann man für ein allgemein gültiges, ortsunabhängiges Beratungsverfahren drei Wertebereiche ausweisen:

- I mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 80 % für eine Mindest-BiV-Reichweite von 1,5 km
- II mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 - 80 % für eine Mindest-BiV-Reichweite von 1,5 km
- III mit einer Wahrscheinlichkeit von unter 50 % für eine Mindest-BiV-Reichweite von 1,5 km.

Die mit einem Strich gekennzeichneten Bereiche sind statistisch schlecht abgesichert.

Vergleicht man diese Bereiche mit der Grenzkurve nach BAAWGeophys Nr. 102, so stellt man fest, daß diese Grenzkurve zu optimistisch gezogen wurde. Sie weist Teile des Gebietes III als solche aus, für die der Flugbetrieb mit BiV-Brille bei einer Mindest-BiV-Reichweite von 1,5 km möglich sein soll.

Dieses Diagramm der BAAWGeophys Nr. 102 bedarf einer Revision.

6.2 Da die Feuersicht-BiV-Reichweite-Beziehung grundsätzlich nur für den Ort gilt, für den sie ermittelt worden ist und da die Korrelationen zwischen BiV-Reichweite und Feuersicht schlechter und die Fehler der entsprechenden Regressionen größer sind als für die Normsicht als Prädiktor, wird vorgeschlagen für Flüge in der Umgebung eines Flugplatzes entsprechend den Kurven nach Abb. 14 und der mit dem Meßsatz Pisten-

sichtbereich (Transmissometer) bestimmten Normsicht die BiV-Reichweite vorherzusagen.

Die Kurven nach Abb. 14 geben den mittleren Verlauf der BiV-Reichweite als Funktion der Normsicht und der Beleuchtungsstärke wieder. Werden diese Kurven zur Vorhersage einer Mindest-BiV-Reichweite benutzt, so beträgt die Wahrscheinlichkeit für ein Unterschreiten des Mindestwertes 50 %. Wird eine größere Sicherheit verlangt, müssen die Kurvensätze entsprechend geändert werden.

Bei Annahme dieses Vorschlages wird der Flugbetrieb mit BiV-Brille gegenüber der gegenwärtigen Regelung eingeschränkt. Der Umfang der Einschränkungen muß noch abgeschätzt werden.

BiV-Flüge über größere Strecken erfordern für eine Beratung nach Abbildung 14 die feldmäßige Erfassung der Normsicht. Dazu können die Sichtangaben der automatischen Wetterstationen des DWD herangezogen werden. Die Verbreitung von Normsichtmessungen der Bw-Flugplätze könnte sich als unumgänglich erweisen.

7. Weitere Untersuchungen

Es ist geplant,

- weitere Debriefingsunterlagen auszuwerten,
- darauf hinzuwirken, daß die Zeitangaben und die Angaben zur Beleuchtung in den Debriefingsunterlagen/Flugwetterberatung verbessert werden,
- den Einfluß weiterer Parameter (s. Tabelle 2) auf die BiV-Reichweite zu untersuchen,
- an Hand der OPAQUE-Daten zu überprüfen, ob statistisch gesicherte Zusammenhänge zwischen der meteorologischen Sicht am Tage, der Normsicht in der Nacht und der relativen Feuchte bestehen, um mit dem vorhandenen Wettermeldegut die geophysikalische Beratung von BiV-Flügen über größere Strecken sicherzustellen.

Bei diesen Untersuchungen ist nicht zu erwarten, daß die Fehlergrenze des Verfahrens unter ca. 35 % gedrückt werden kann.

8. Literatur

- | | | |
|-----|--|--|
| /1/ | Deutscher Wetterdienst | VuB Nr. 3, Beobachterhandbuch |
| /2/ | Gerhard Dietze | Einführung in die Optik der Atmosphäre,
Leipzig 1957 |
| /3/ | Knowles Middleton | Vivion through the Atmosphere
Toronto Press, Canada 1952 |
| /4/ | Kit G. Cottrell
et. al. | Electro-Optical Handbook, Weather
Support for Precision Guided Munitions,
USAF |
| /5/ | ITT-Electro-Optical Products Division, | Datenblatt
Image Intensifiers F-4747 |
| /6/ | BWB-AFB FE IV - E 91 | Erprobung von BiV-Brillen,
Auftragsnr. T/F 43 E/66106/35082,
25.02.1977 |
| /7/ | Kruse | Objektive lokale Wettervorhersage,
Teil A: Methoden,
AWGeophys Studie 75 182 |
| /8/ | Jens-Ole Strüning | Statistische Verfahren zur objektiven
Vorhersage meteorologischer Größen,
Berichte für den GeophysBDBw Nr 38, 1982 |
| /9/ | Bundeswehr | ZDv 99/10 |

Anhang 1

Streuung des Lichtes

1. Wegstrahldichte, paralleler Lichteinfall

Wird ein Volumenelement der Luft von einem parallelen Lichtstrom E bestrahlt, so wird ein Teil dieses Lichtes gestreut. Der Anteil sei

$$J = E B dV \quad (A1 - 1)$$

mit E = Lichtstromdichte

B = Streukoeffizient

dV = Größe des Volumenelements.

Der Bruchteil des Streulichtes, der in Richtung ϕ in das Raumelement $d\omega$ gestreut wird, wird durch die reduzierte Streufunktion $f(\phi)$ beschrieben:

$$dJ = f(\phi) E B dV \quad (A1 - 2)$$

Streukoeffizient und reduzierte Streufunktion werden häufig zur absoluten Streufunktion zusammengefaßt:

$$f_{\text{abs}}(\phi) = B f(\phi) \quad (A1 - 3)$$

Für die Streufunktionen gelten aus Kontinuitätsgründen die Normierungsintegrale:

$$\begin{aligned} 2\pi \int_0^\pi \sin \phi f(\phi) d\phi &= 1 \\ 2\pi \int_0^\pi \sin \phi f_{\text{abs}}(\phi) d\phi &= B \end{aligned} \quad (A1 - 4)$$

Wegen $dV = s^2 ds d\omega$ hat das Volumenelement dV für einen Beobachter in der Entfernung s eine scheinbare Leuchtdichte dL^A

$$dL^A = \frac{dJ}{s^2 d\omega} e^{-\sigma s} ds = f(\phi) B E e^{-\sigma s} ds \quad (A1 - 5)$$

mit σ = Extinktionskoeffizient.

Die Wegstrahldichte (Luftlicht) der Sichtstrecke s ergibt sich für den Fall der gleichmäßigen Beleuchtung der ganzen Strecke und konstanter Streuungsverhältnisse auf der Strecke (d.h. $f(\phi)$ und B müssen unabhängig vom Weg s sein) durch Integration der Gleichung (A1 - 5) zu:

$$L^A = \frac{B}{\sigma} f(\phi) E (1 - e^{-\sigma s}) \quad (A1 - 6)$$

bzw

$$L^A = \frac{1}{\sigma} f_{\text{abs}}(\phi) E (1 - e^{-\sigma s})$$

2. Wegstrahldichte und Beleuchtung einer horizontalen Fläche bei diffuser Beleuchtung aus dem oberen Halbraum

Gegeben sei eine horizontale Sichtstrecke der Länge s .

Auf jedes Volumenelement dieser Strecke falle das Licht aus allen Richtungen des oberen Halbraumes gleichmäßig ein. Der untere Halbraum emittiere und reflektiere kein Licht.

$$E(\phi) = \text{const. für } 0 \leq \phi \leq \pi \quad (\text{A1 - 7})$$

mit ϕ = Winkel zwischen der horizontalen Sichtstrecke und der Richtung des Lichteinfalls.

Die Wegstrahldichte ergibt sich dann durch Integration der Gleichung (A1 - 6)

$$L_{\text{diff}}^A = \frac{B}{\sigma} (1 - e^{-\sigma s}) \pi \int_0^\pi f(\phi) E(\phi) \sin \phi \, d\phi \quad (\text{A1 - 8})$$

Mit (A1 - 4) und (A1 - 7) erhält man dann:

$$L_{\text{diff}}^A = \frac{B}{2\sigma} E (1 - e^{-\sigma s}) \quad (\text{A1 - 9})$$

Die Beleuchtung einer ebenen horizontalen Fläche beträgt bei den o.a. Annahmen:

$$\begin{aligned} B &= 2\pi \int_0^{\pi/2} E(\alpha) \sin \alpha \cos \alpha \, d\alpha \\ &= \pi E \end{aligned} \quad (\text{A1 - 10})$$

Zwischen Beleuchtung und Luftlicht besteht deshalb folgende Beziehung:

$$L_{\text{diff}}^A = \frac{B}{2\pi\sigma} B (1 - e^{-\sigma s}) \quad (\text{A1 - 11})$$