

Funkhöhenmesser FuG 101a mit Frequenzmodulation

Der Funkhöhenmesser FuG101a war eine Entwicklung des Siemens & Halske Zentral-Laboratoriums in Berlin. Daraus abgeleitet entstand der Abstandzünder MARABU dessen Arbeitsweise vollständig dem Prinzip des Funkhöhenmessers FuG 101a mit Frequenzmodulation entsprach. Lediglich die Drehzahl des Motordrehkondensators wurde von 4000 auf 6000 U/min erhöht. Dies ergab eine Modulationsfrequenz $f_m = 200$ Hz, im Gegensatz zum Funkhöhenmesser wurde beim Abstandzünder ausschliesslich mit einem Modulationshub von ± 20 MHz gearbeitet. Durch die obere Grenzfrequenz des Modulationshubes ergab sich ein maximaler Ansprechradius des Zünders von 50 Meter. Beim Zünder wurden weitgehend die gleichen Bauteile wie beim Funkhöhenmesser FuG 101a verwendet. Die Seriefertigung der Geräte erfolgte im Luftfahrtsgerätekwerk Hakenfelde in Berlin – Spandau.

Technische Daten des Funkhöhenmessers „FuG 101a“ der Siemens & Halske AG.

Größe		Anzeigebereich	
		150 m (I)	750 m (II)
HF-Leistung	N_S	~ 1,5 W	~ 1,5 W
Wellenlänge	λ	80 cm	80 cm
Frequenz	f	375 MHz	375 MHz
Modulationsfrequenz	f_m	133 Hz	133 Hz
Modulationsperiode	T_m	7,5 ms	7,5 ms
Modulationshub	Δf	± 19 MHz	$\pm 3,8$ MHz
max. Laufzeit	Δt	1 μ s	5 μ s
Signalfrequ. pro Höhe	f_D/b	67,5 Hz/m	13,5 Hz/m
max. Signalfrequenz	$f_{D \max}$	10 000 Hz	10 000 Hz
Anzeigefehler	—	< 10 ‰	über 100 m < 10 ‰
systematischer Fehler („Stufeneffekt“)	Δb	~ ± 2 m	~ ± 10 m
Sicherheitsbereich („Kipphöhe“)	—	≥ 200 m	~ 1000 m

Leistungsbedarf:	Sender	24 V · 0,5 A = 12 W
	Empfänger	24 V · 0,33 A = 8 W
	Umformer	24 V · 4,2 A = 100 W
	gesamt	22—30 V/max 6 A = 120 W

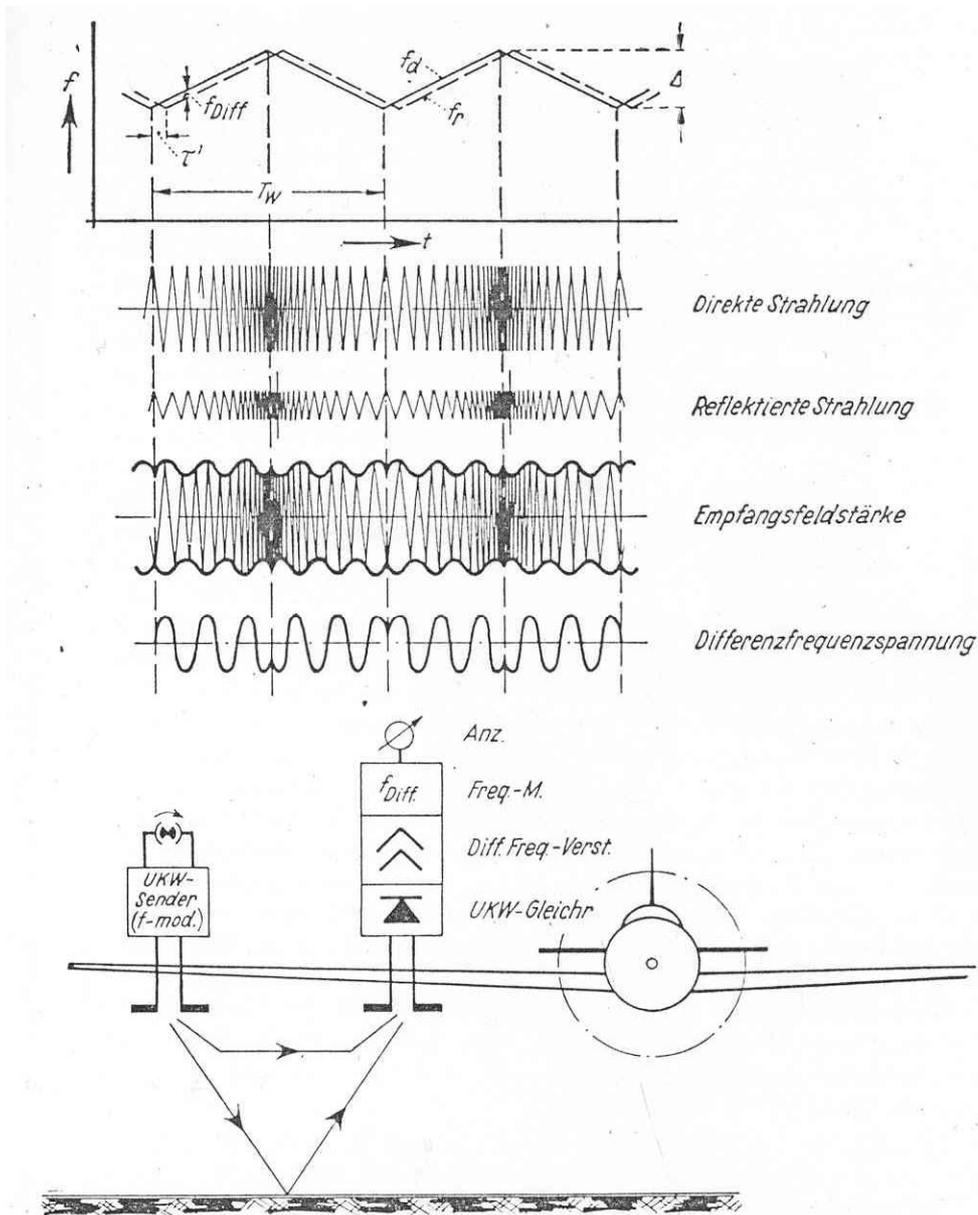
Gesamtgewicht ~ 16 kg

Der Funkhöhenmesser FuG 101a kam praktisch in allen grösseren deutschen Kriegsflugzeugen zum Einsatz. Verwendet wurde er hauptsächlich, im Landeanflug bei Sichtbehinderung, zur Ermittlung der genauen Flughöhe über Grund. Der Funkhöhenmesser wurde auch beim taktischen Einsatz von Lufttorpedos aus den Flugzeugen JU 88, zur genauen Bestimmung der Abwurfhöhe über der Wasseroberfläche, eingesetzt.

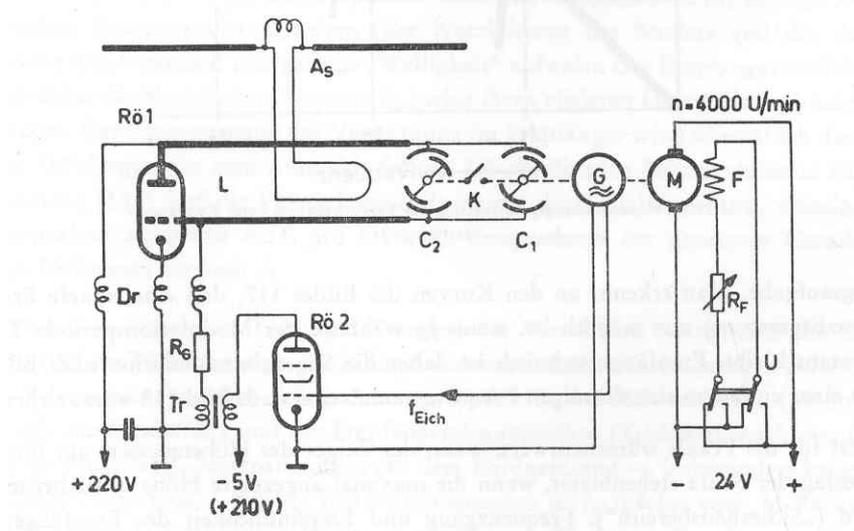
Der Abstandzünder MARABU war für den Einsatz in unbemannten Flugkörpern und Abwurfwaffen entwickelt worden. Gemäss dem amerikanischen Technical Memorandum 411-TM-99 und dem Report 1305-12 wurden die FuG 101a und MARABU - Abstandzünder als erste Bedrohung bei ihrem Einsatz in Torpedobomber, Flugkörper und Abwurfwaffen eingestuft. Im Jahre 1944 wurden in den USA beim Airborne Instruments Laboratory in Mineola Long Island ausgedehnte Untersuchungen über den Einsatz von elektronischen Störverfahren gegen die FuG 101 Funkhöhenmesser und MARABU - Abstandzünder durchgeführt.

Funktionsprinzip des FuG 101a Höhenmessers

Der Höhenmesser besteht aus Sender und Empfänger. Der UKW Sender sendet dauernd mit möglichst konstanter Amplitude Schwingungen aus. Seine Frequenz wird dreieckförmig, mit einem motorbetriebenen Drehkondensator geändert. Der Empfänger nimmt direkte und reflektierte Strahlung auf, wobei die direkte den Ueberlagerer ersetzt. Die Empfangsspannung wird gleichgerichtet. Dadurch entsteht eine Wechselspannung der Differenzfrequenz. Diese wird verstärkt mit bestimmten gesteuerten Frequenzgängen für das Verstärkungsmass. Die Frequenz der Differenzspannung wird mittels eines direkt anzeigenden Frequenzmessers an einem in Höhenmeter geeichten Anzeigeinstrument angezeigt. Zweckmässig werden dabei die Nulldurchgänge gezählt. Beim FuG 101a wird die Differenzfrequenz durch eine Raumlade - Pentode in eine Trapezkurve konstanter Höhe verzerrt. Die trapezförmige verlaufende Spannung lädt einen Kondensator bei jedem Nulldurchgang auf bzw. entlädt ihn. Jeder Nulldurchgang erzeugt so einen Stromimpuls konstanter Lademenge. Der nach der Gleichrichtung entstehende mittlere Gleichstrom ist gleich der zeitlichen Summe der Einzelimpulse und als solcher proportional der Zahl der Nulldurchgänge.

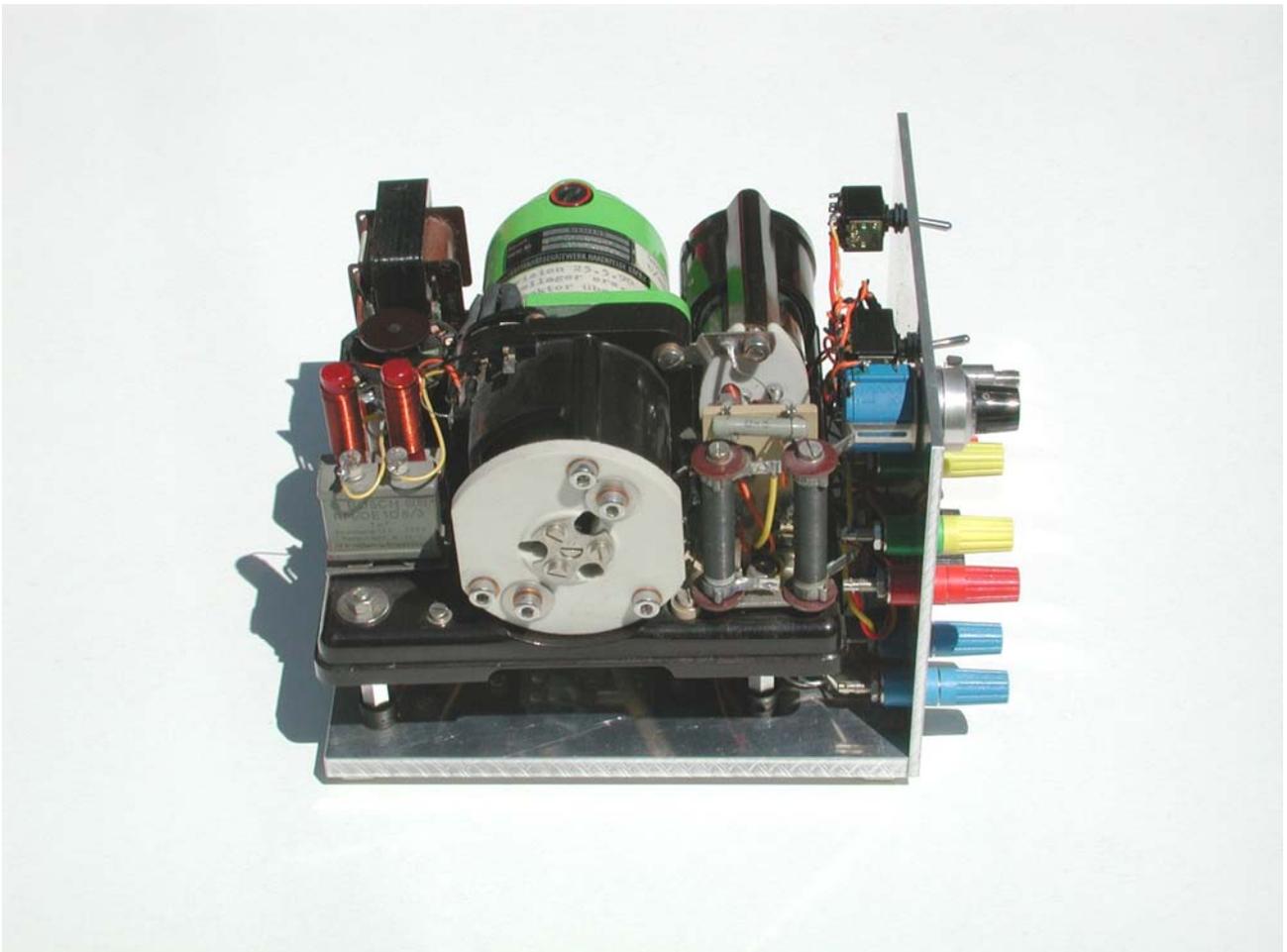


Prinzipschema des FuG 101a Senders

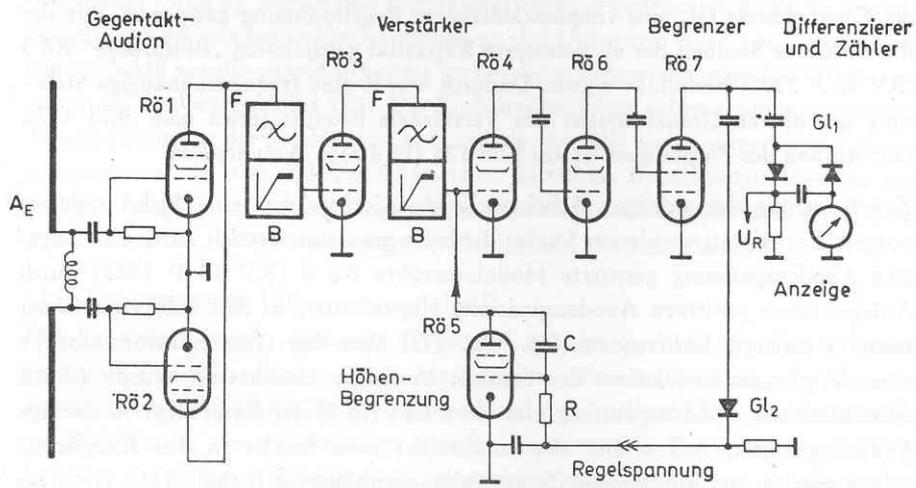


Ansicht des FuG 101a Senders

Wegen der besseren Zugänglichkeit für Messungen auf einer Experimentier-Konsole aufgebaut, ist in der Mitte der Abbildung der Motordrehkondensator, mit der Freilaufkupplung für die beiden Drehrichtungen zur Wahl der Höhenmessbereiche, sichtbar. Als Röhre 1 wird eine LD2 und als Röhre 2 im Modulator der Eichvorrichtung eine RV12P2001 verwendet.

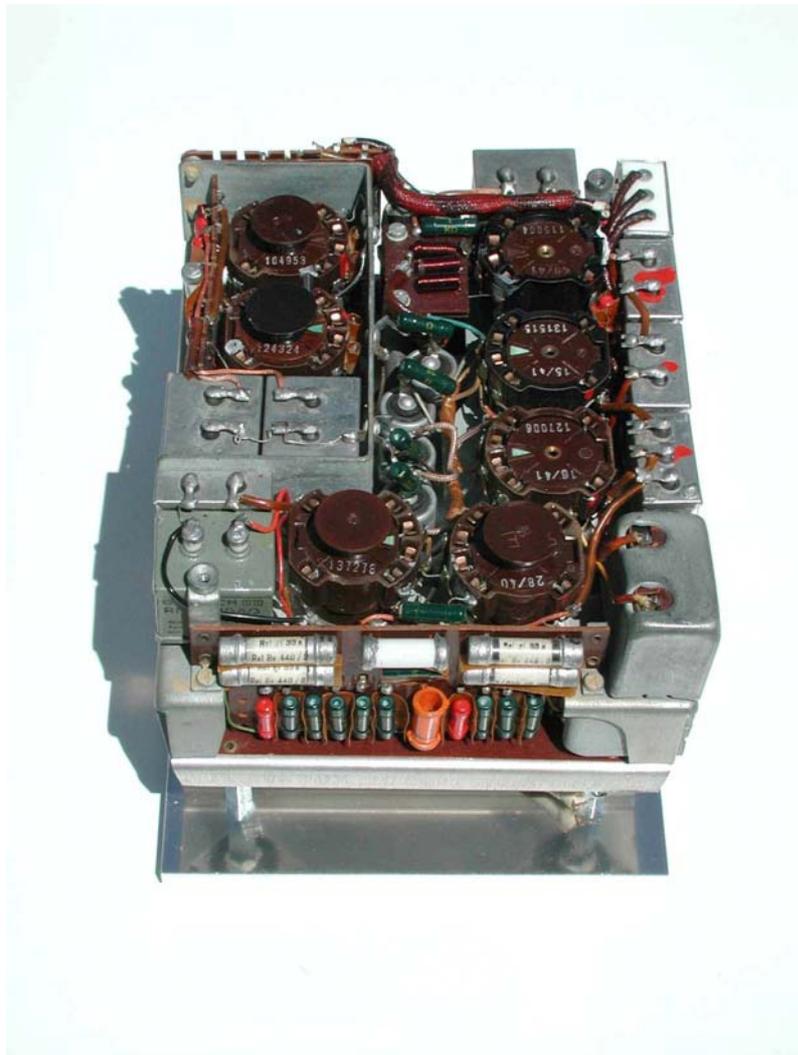


Prinzipschema des FuG 101a Empfängers

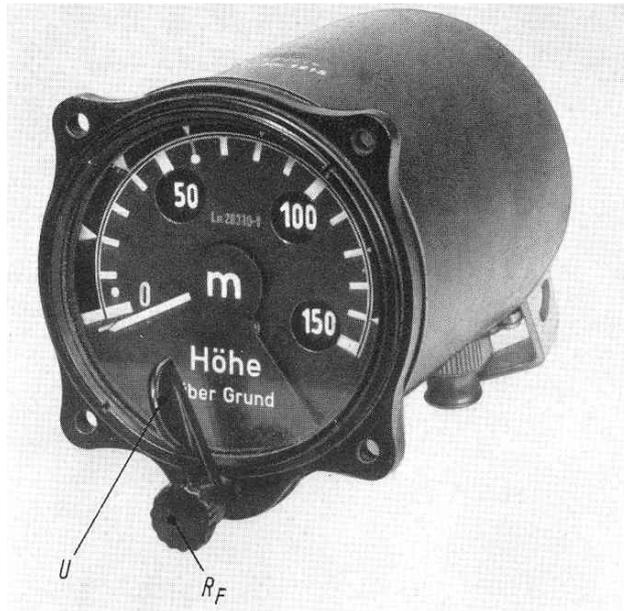


Ansicht des FuG 101a Empfängers

Wegen der besseren Zugänglichkeit für Messungen ebenfalls auf einer Experimentier-Konsole aufgebaut, sind auf der Abbildung die verschiedenen Bauelemente sichtbar. Die Röhren 1 - 6 sind RV12P2001. Die Begrenzer - Röhre 7 ist eine Raumlade - Pentode LV5.



Ansicht des FuG 101a Anzeigeeinstrumentes



U: Ist der Höhenbereichumschalter der gleichzeitig die Skalenbeschriftung verändert.

Der FuG 101a Höhenmesser besass zwei umschaltbare Anzeigebereiche, bei denen der Modulationshub Δf des Senders verändert werden musste. Dieses geschah durch eine Umkehrung der Drehrichtung des Motors, indem mittels des Umschalters U am Anzeigeeinstrument die Feldwicklung des Motors umgekoppelt wurde. Die Teilkapazität C2 des Drehkondensators war über eine Freilaufkupplung mit dem Motor verbunden, so dass je nach Drehrichtung entweder der Kondensator C1 allein rotierte (kleiner Frequenzhub, grosser Höhenmessbereich) oder beide Kondensatoren C1 + C2 gemeinsam (grosser Frequenzhub, kleiner Höhenmessbereich)

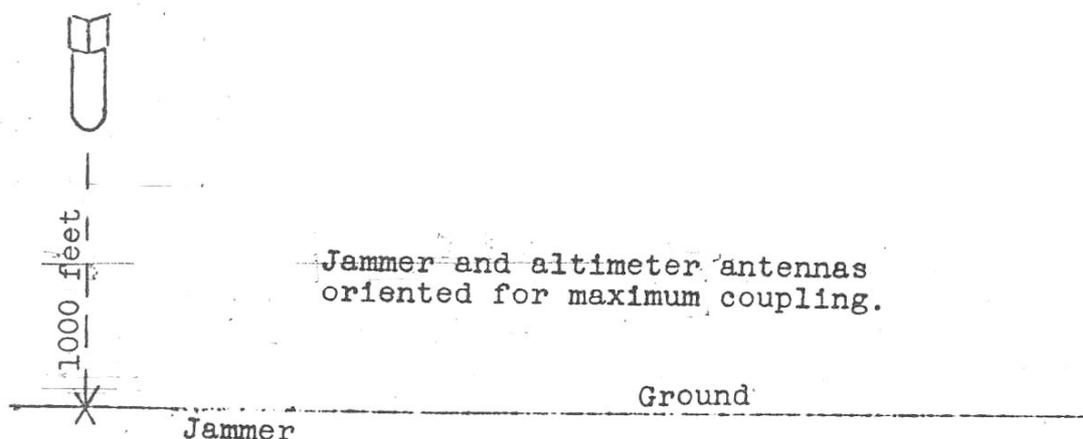
R_F: Ist der Eichregler (siehe auch Prinzipschemas des Senders und des Empfängers)

Zur Kontrolle der richtigen Arbeitsweise des Gerätes war eine Eicheinrichtung vorhanden. Hierzu wurde am Sender die beim normalen Betrieb durch eine negative Anodenspannung gesperrte Modulatorröhre R_ö 2 (RV 12 P 2001) durch Anlegen einer positiven Anodenspannung eingeschaltet, so dass eine vom Generator G erzeugte Eichfrequenz (ca. 4000 Hz) über den Gittertransformator Tr eine Amplitudenmodulation des Senders bewirkte. Gleichzeitig wurde durch Abschalten der Anodenspannung von R_ö 1 und R_ö 2 der Empfänger so unempfindlich gemacht, dass er nur die unmittelbar vom Sender in den Empfänger eingekoppelte, amplitudenmodulierte Primärstrahlung aufnahm. Das Anzeigeeinstrument mußte dann einen durch eine Eichmarke gekennzeichneten Ausschlag anzeigen. Bei der Höhenmessung gehen sowohl der Modulationshub als auch die Modulationsfrequenz in die Genauigkeit der Höhenmessung ein. Der Hub Δf war durch eine einmalige Justierung der rotierenden Kondensatoren C1 und C2 vorgegeben. Die Modulationsfrequenz f_m konnte beim Eichen durch die Einregelung der Motordrehzahl $n = 4000$ U/Min mit Hilfe des Feldreglers R_F richtig eingestellt werden. Es war erforderlich, die Eichung im Flug von Zeit zu Zeit zu überprüfen und gegebenenfalls durch Abgleich der Motordrehzahl zu berichtigen.

Gemäss Report 1305-12 des Airborne Instruments Laboratory, Mineola Long Island, U.S.A wurden bei den Untersuchungen von verschiedenen elektronischen Störverfahren und Störsender-Standorten sowie bei Vergleichsmessungen mit amerikanischen Geräten u.a. die aus nachfolgendem Auszug ersichtliche Störleistungen gegen den Abstandzünder MARABU bei der Verwendung in Abwurfaffen ermittelt:

SECRET

CASE IV



Altimeter at 1000 feet altitude ($H = 1000$ feet)

Jammer directly below on ground ($L = 1000$ feet)

Antenna characteristics: $\theta_{cr} = \theta_{cj} = \theta_{ct} = \theta_j = 2$

P_j = power required to jam altimeter down to a reading of 100 feet.

Alt. Type	P_c	D_d	D_a	D_o	J/C	P_j
AN/ARN-1	0.1	25	20	500	500	6.3×10^3 watts
AN/APN-1	0.1	25	15	375	375	3.5×10^3 watts
FUG.101	3.0	50	5.5	275	16.5	2×10^2 watts

Dem FuG 101 System konnte somit in der oben aufskizzierten taktischen Situation mit einer Störleistung von ca. 200 Watt eine Höhe von 100 Fuss vorgetäuscht werden, so dass es vorzeitig zum Ansprechen kam.