

Flugabwehr-Kanonen

Von Reg.-Baumeister a. D. Dr.-Ing. A. Kuhlenkamp VDI, Berlin

Flugabwehr-Kanonen (Flak) unterscheiden sich grundsätzlich von anderen Kanonen, wengleich die allgemeinen Grundsätze des Geschützbaues auch hier gelten. Ihre Eigenheiten liegen in den Richteinrichtungen, im Rohraufbau und in den Zünderstellmaschinen. An mittleren und großkalibrigen Flak wird dies gezeigt.

Die Flugabwehr-Kanonen, kurz Flak genannt, haben sich während des Weltkrieges aus den Ballonabwehr-Kanonen (Bak) entwickelt, von denen die ersten Vorläufer bereits im Kriege 1870/71 vor Paris eingesetzt wurden. Die planmäßige Schaffung dieser Sonderwaffe zum Bekämpfen von Ballonen von der Erde aus wurde erst zu Beginn dieses Jahrhunderts in Angriff genommen. Sie ging aber entsprechend der im Vergleich zu den Flugzeugen geringen militärischen Bedeutung der Ballone nur langsam vorwärts und erhielt erst durch die sprunghafte Entwicklung des Flugwesens während des Weltkrieges ihre wirkliche Bedeutung, die heute der der Fliegerei entspricht.

Die Ballonabwehr-Kanonen, von denen zu Beginn des Weltkrieges im deutschen Heer 18 Stück zur Verfügung standen, erwiesen sich bald für die Bekämpfung von Flugzeugen, die im Vergleich mit Ballonen schnell fliegen, als unzureichend, so daß man an die Neuentwicklung von Flugabwehr-Kanonen heranging. Für die Übergangszeit mußten auf behelfsmäßigen Sockeln Feldgeschütze, französische und russische Beutegeschütze, eingesetzt werden, die ihren Aufgaben natürlich nur in bescheidenem Maße gerecht werden konnten. Hinzu kam die damals noch ganz im argen liegende Entwicklung geeigneter Visiere und Richteinrichtungen, von denen brauchbare Geräte erst gegen Ende des Krieges verfügbar waren.

Die Flugabwehr-Kanone, Bild 1, besteht aus der Bettung, die auf einem Kraftwagen aufgebaut oder als Anhänger ausgebildet sein kann, der Lafette mit den Richteinrichtungen, dem Rohr mit Verschluß und gegebenenfalls den Ladeeinrichtungen und der Zünderstellmaschine.

Lafette und Richteinrichtungen

Die Lafettierung, d. h. die Lagerung des Rohres, der Flugabwehr-Kanone muß den durch die freie Bewegungsmöglichkeit des zu bekämpfenden Ziels gegebenen Bedingungen entsprechen. Die Rohre haben im allgemeinen zwei Drehachsen; sie bewegen sich um eine senkrecht stehende Pivotachse in der waagerechten Ebene nach der Seite, $A-A$ in Bild 1, und um die waagerechte Schildzapfenachse B nach der Höhe. Um drei Achsen bewegliche Rohre verwendet man wegen des erheblich größeren Gewichtes nur an Bord der Kriegsschiffe. An der Seitenbewegung nimmt die schwenkbare Oberlafette mit dem darin gelagerten Rohr und die Höhenrichtmaschine teil. Die Schwenkbereiche um diese Achsen müssen der Seite nach 360° , der Höhe nach von einigen Minusgraden bis höchstens 90° betragen.

Für die Bemessung der Richtantriebe sind die zugrunde gelegten noch vom Geschütz zu erfassenden

Zielbewegungen, gegeben durch größte Flugzeuggeschwindigkeit, größte Zielhöhe und kürzeste waagerechte Entfernung des Zieles, maßgebend. Die hierdurch gegebenen größten Winkelgeschwindigkeiten und -beschleunigungen geben einen Anhalt für die Wahl der Übersetzungsverhältnisse zum Erreichen der notwendigen Richtgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung der an den Handrädern von den Richtleuten auszuübenden größten Kräfte. Zu weitgehende Forderungen zwingen zur Anwendung von motorischen Antrieben. Liegen die Zielbedingungen unterhalb der für die Bemessung der Richtantriebe zugrunde gelegten Grenzwerte, kann das Geschütz der Seite nach immer, der Höhe nach bis zur größten Rohrerhöhung folgen. Den durch den Unterschied zwischen dem erreichbaren größten Höhenwinkel und 90° entstehenden nicht bestreichbaren Kegel nennt man den toten Raum. Liegen die Zielbedingungen oberhalb der Grenzwerte, wird der tote Raum noch durch die Gebiete, in denen die Richtgeschwindigkeiten oder -beschleunigungen nicht mehr aufgebracht werden können, vergrößert.

Die Richteinrichtungen müssen dem direkten oder indirekten Richtverfahren oder beiden entsprechen. Die Bedeutung dieser Verfahren ist von der in der Feldartillerie darunter verstandenen abweichend.

Beim direkten Richten sind die Geschütze mit einem Richtglas versehen, dessen optische Achse in der Nullstellung zur Seelenachse des Rohres parallel verläuft. Durch Betätigen der Höhen- und Seitenrichtmaschine wird das Ziel zunächst mit dem Richtglas in Nullstellung angeschnitten; dann wird das Richtglas um die mit besonderen Geräten bestimmten Vorhaltewerte, die die Bewegung des Ziels während der Geschloßzeit und der übrigen toten Zeit berücksichtigen, gegenüber dem Rohr nach Höhe und Seite verstellt, das Ziel neu ausgerichtet und geschossen.

Beim indirekten Richtverfahren haben die Geschütze keine eigene Richtoptik, sondern sind elektrisch mit dem Kommandogerät¹⁾, der für die Batterie zentralen Kommandostelle, verbunden. Das Kommando-

¹⁾ A. Kuhlenkamp, Z. VDI Bd. 79 (1935) S. 1197.

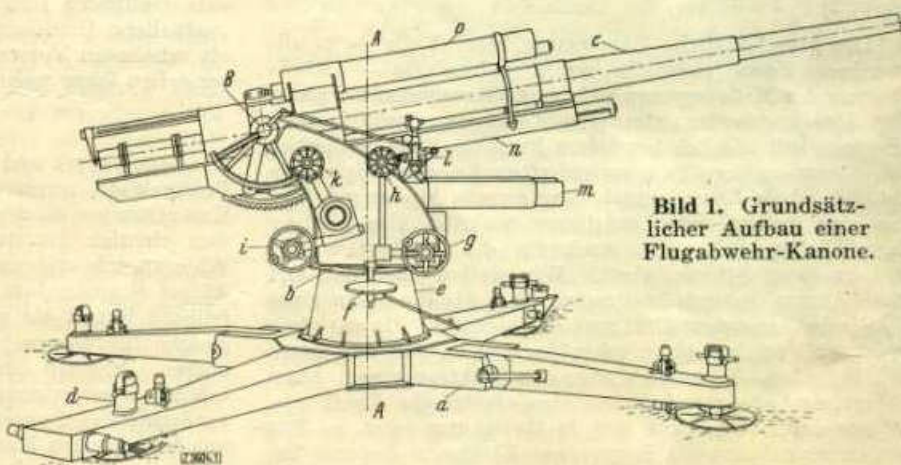


Bild 1. Grundsätzlicher Aufbau einer Flugabwehr-Kanone.

- | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|
| $A-A$ senkrechte Pivotachse | d Horizontierung | i Höhenrichtmaschine |
| B waagerechte Schildzapfenachse | e Sockel (feststehend) | k Höhenempfänger |
| a Bettung | f Sitz für den Richtkanonier | l Zieleinrichtung für direktes Richten |
| b Oberlafette | g Seitenrichtmaschine | m Federausgleicher |
| c Rohr | h Seitenempfänger | n Rohrwiege |
| | | o Luftvorholer |

Die Zünderstellmaschine befindet sich auf der linken Geschützseite.

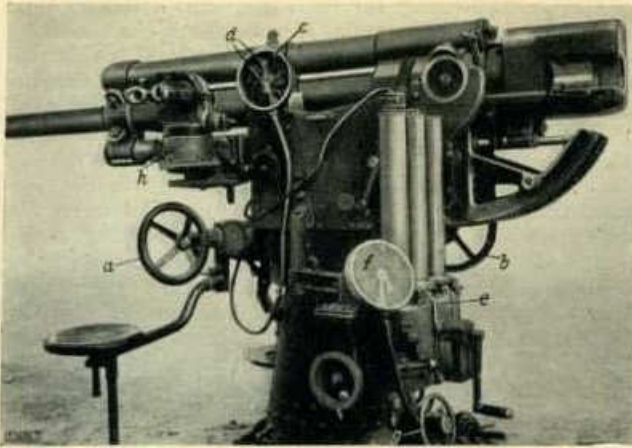


Bild 2. Neuzeitliche Flugabwehr-Kanone.

Bauart Bofors, Schweden — S. a. Zahlentafel 1 Nr. 3.

- a Seitenrichtmaschine
- b Höhenrichtmaschine
- c Gleichstrom-Lampenempfangner für Seite
- d Abdeck- oder Folgezeiger
- e Zünderstellmaschine mit drei eingesetzten Patronen
- f Empfänger für Zünderstellung
- g Horizontierhandrad
- h Zieleinrichtung für direktes Richten

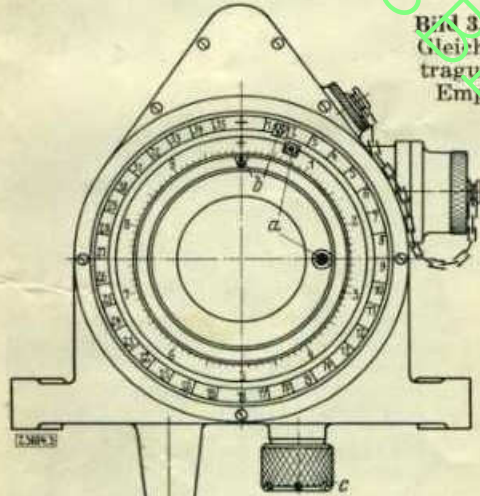


Bild 3. Englisches Gleichstrom-Übertragungsgerät als Empfänger für Seite.

In innerer Teilkreis:
1 Strich = 6"
Äußerer Teilkreis:
1 Strich = 10"

- a Elektrisch mit dem Geber verbundene Zeiger
- b Folgezeiger, mechanisch mit der Richtmaschine verbunden
- c Kabelanschluß
- d Vierkant zum Synchronisieren, d. h. zum erstmaligen Indeckungbringen der beiden Zeiger von Hand

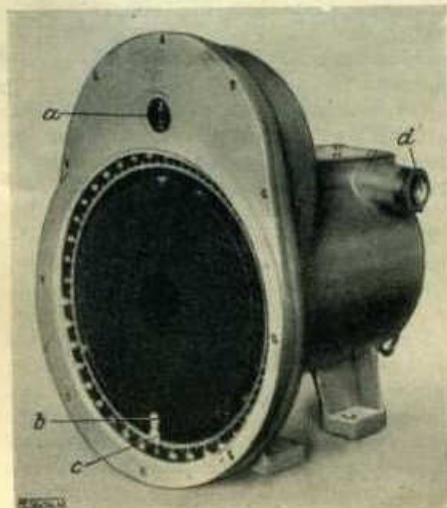


Bild 4. Amerikanisches Gleichstrom-Übertragungsgerät als Empfänger für Höhe.

- a Grobanzeige mit Gegenmarke
- b elektrisch mit dem Geber verbundener Feinzeiger
- c Folgezeiger
- d Kabelanschluß

gerät faßt allein das Ziel auf, berechnet die Geschützwerte für Seite, Höhe und Zünderstellung und überträgt sie durch das elektrische „Übertragungsgerät“ an die Geschütze, so daß an diesen nur die vom Kommandogerät vorgegebenen Werte einzustellen sind⁷⁾.

Die Einrichtungen am Geschütz für das direkte Richtverfahren — Flak-Zielfernrohre oder Visiere genannt — spielen heute wegen der verminderten Bedeutung dieses Verfahrens eine geringere Rolle gegenüber den Geräten für das indirekte Richtverfahren. Während das direkte Richtverfahren im Weltkriege allgemein angewendet wurde, ist es jetzt nur noch in Frankreich und einigen östlichen Staaten, wie Polen, der Tschechoslowakei und Rumänien, in größerem Maße im Gebrauch.

Das Übertragungsgerät beim indirekten Richtverfahren besteht aus den im Kommandogerät befindlichen drei Gebern und den entsprechenden Empfängern am Geschütz. Der am Geber eingestellte Wert erscheint am Empfänger entweder durch Aufleuchten von Lampen oder durch elektrische Einstellung von Zeigern. Die Richtmaschinen sind außer an die Richtantriebe des Geschützes mechanisch an Gegenzeiger in den Empfängern angeschlossen. Durch Nachstellen dieser Folgezeiger auf den elektrisch angezeigten Wert der Empfänger wird der Geberwert, ohne ihn zahlenmäßig zu kennen, von den Richtleuten auf das Geschütz übertragen.

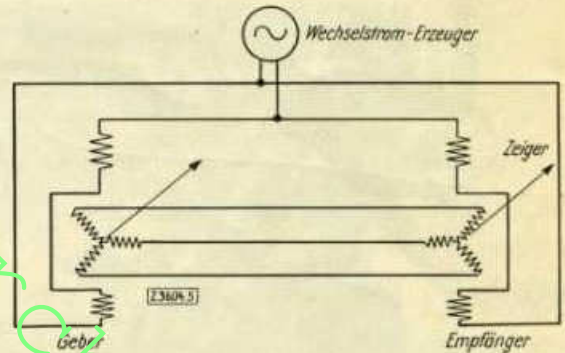


Bild 5. Wechselstrom-Übertragungsgerät.

Die in Stern geschalteten Läufer drehen sich in einem vom Wechselstromerzeuger gespeisten Wechselfeld. Im Geber wird der Läufer nach dem zu übertragenden Wert vom Kommandogerät eingestellt. Im Empfänger wird der vom Zeiger angezeigte Wert durch einen Folgezeiger nachgestellt.

Im wesentlichen gibt es drei verschiedene Arten von Übertragungsgeräten:

- das Gleichstrom-Lampenübertragungsgerät,
- das Gleichstrom-Step by step-Übertragungsgerät und
- das Wechselstrom-Übertragungsgerät.

Beim Gleichstrom-Lampenübertragungsgerät wird der kommandierte Wert an drei gleichmäßig angeordneten Lampenkreisen von je 10 Lampen als Grob-, Mittel- und Feinwert angezeigt, Bild 2, und durch Abdecken der aufleuchtenden Lampen mit den Abdeckzeigern auf das Geschütz übertragen. Beim Schrittverfahren (step by step), das in England und z. T. in abgeänderter Form in den Vereinigten Staaten von Amerika in Gebrauch ist, besteht der Geber aus einem Stromwender, der mit den Polen eines elektrischen Sammlers verbunden ist und auf dem drei um 120° versetzte Bürsten gleiten. Der Gleichstrom wird beim Drehen des Stromwenders in einen dreiphasigen pulsierenden Strom umgewandelt, der in einem Ständer mit dreiphasiger Wicklung in ein Drehfeld umgesetzt wird. Ausführungen von Empfängern nach diesem Verfahren zeigen Bild 3 und 4. Das bei der amerikanischen Marine eingeführte Wechselstrom-Übertragungsgerät besteht aus einem mit einer sternförmigen Drei-

⁷⁾ A. Kuhlenskamp, Z. VDI Bd. 77 (1933) S. 949.

phasenwicklung versehenen Läufer im Geber, Bild 5, der mit einem entsprechenden Läufer im Empfänger elektrisch verbunden ist; beide drehen sich in einem Wechselfeld. Die bei Verstellung des Gebers gegenüber dem Empfänger entstehenden elektromotorischen Kräfte rufen eine Drehung des Empfängerläufers so lange hervor, bis Übereinstimmung der Geber- und Empfängerstellung erreicht ist³⁾.

Das Wechselstrom-Übertragungsgerät und das Lampengerät haben gegenüber dem englischen Schrittverfahren den Vorteil der selbsttätigen Synchronisierung, die ein Außertrittfallen der Empfänger gegenüber den Gebern verhindert. Bild 6 und 7 zeigen eine amerikanische Flugabwehr-Kanone.

Rohr

Als Richtlinien für den Bau des Rohres gelten grundsätzlich die im allgemeinen Geschützbau üblichen⁴⁾. Das Rohr besitzt einen halb selbsttätigen Verschluss, bei dem das Schließen nach Einführen der Patrone, das Öffnen und das Auswerfen der leeren Hülse nach dem Schuß

Die Vergrößerung der Anfangsgeschwindigkeit kann sowohl durch Erhöhung des Gasdrucks als auch durch Verlängerung des Rohres erreicht werden. Im letzten Fall wird die Zeit, während der der Gasdruck auf das Geschöß wirkt, vergrößert, gleichzeitig nimmt aber auch das Geschößgewicht und die Neigung zu Rohrschwingungen zu. Die Erhöhung des Gasdrucks findet durch die damit verbundene stärkere Rohrabnutzung durch Ausbrennungen und durch die erhöhte mechanische Beanspruchung während der Bewegung des Geschosses im Rohr bald eine Grenze. Sie verringert die Lebensdauer der Rohre, die wegen der mit der Abnahme der Anfangsgeschwindigkeit verbundenen Verschlechterung der Geschößführung bei mittelkalibrigen Flugabwehr-Kanonen nur wenige tausend Schuß, bei großkalibrigen sogar weniger als tausend Schuß beträgt. Mit Rücksicht auf den praktischen Betrieb sind deshalb Maßnahmen baulicher Art zum schnellen Ersatz ausgeschossener Rohre erforderlich. Es muß ein besonderer Rohraufbau gewählt werden, der in einfacher Weise die Auswechslung lose oder fest gelagerter getrennter Seelenrohre oder ein-

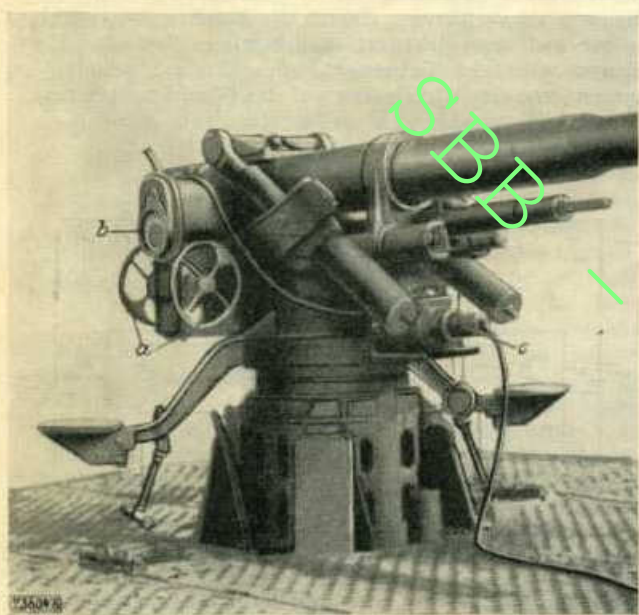


Bild 6. Ansicht von rechts.

- a Seitenrichtmaschine
- b Empfänger für Seite
- c Kabelkupplungskasten zum Anschluß an das Kommandogerät

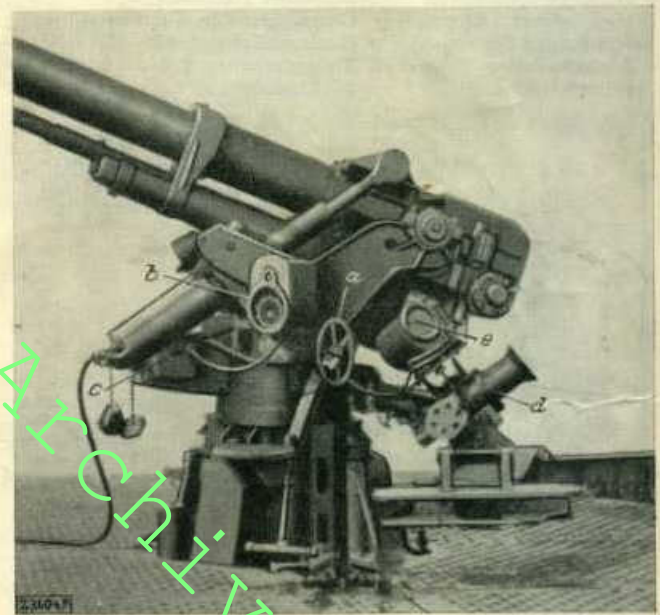


Bild 7. Ansicht von links.

- a Höhenrichtmaschine
- b Empfänger für Höhe
- c Kabelkupplungskasten
- d Zünderstellmaschine
- e Empfänger für Zünderstellung (s. a. Bild 10)

sowie das Spannen des Schlagbolzens selbsttätig erfolgt. Zum Aufzehren der Rücklaufenergie nach dem Schuß dienen die Rücklaufbremse, zum Vorholen des Rohres in die Abfeuerstellung die Vorholer. Die Anforderungen an die Rohrleistungen sind aber gegenüber anderen Geschützen wesentlich größer, da eine weitgehende Erhöhung der Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses angestrebt werden muß. Die Geschößflugzeit zum Ziel bedingt die Größe der Vorhaltwerte, um die das Rohr gegenüber dem augenblicklichen Standort des Ziels vorgehalten werden muß, damit das Ziel nach Ablauf der Geschößflugzeit getroffen wird. Da die Bestimmung der Vorhaltwerte eine Extrapolation des bisherigen Zielverlaufs bedeutet, ist mit einer um so größeren Wahrscheinlichkeit, daß die Extrapolation zutrifft, zu rechnen, je kleiner die Zeit ist, für die sie gelten soll.

gesetzter Futterrohre mit einfachen Mitteln gestattet. Wie die Auswechslung des als Vollrohr ausgebildeten Rohres bei dem Geschütz nach Nr. 1 der Zahlentafel 1 geschieht, zeigen Bild 8 und 9.

Für die Wahl des Kalibers sind sowohl technische als auch taktische Gesichtspunkte maßgebend. Nur in seltenen Fällen sind die größten zu erreichenden Entfernungen und Höhen maßgebend, da die Treffaussichten in der Hauptsache von der Dauer der Geschößflugzeit, die man auf höchstens 25 oder 30 s begrenzt, abhängen. Vielmehr sind es die sich widersprechenden Forderungen nach größter Feuergeschwindigkeit und größter Wirkung des Geschosses am Ziel. Die Feuergeschwindigkeit wächst mit abnehmendem Kaliber und erfordert bei größeren Kalibern besondere Ladeeinrichtungen, wie Ladeschale oder Ladeschwinge, die Wirkung wächst mit zunehmendem Kaliber. Da mit zunehmendem Kaliber auch schnell das Gewicht auf Kosten der Beweglichkeit des Geschützes zunimmt und die Richtgeschwindigkeiten sich vermindern, wenn nicht kraftverstärkende Getriebe vorgesehen wer-

³⁾ Zu den Verfahren der Fernmessung (bzw. Fernübertragung) vgl. P. M. Pfier, Z. VDI Bd. 80 (1936) S. 1461.

⁴⁾ W. Schwinnig, Konstruktion und Werkstoff der Geschützrohre und Gewehrläufe, Berlin 1934; ferner Fr. Dörge, Z. VDI Bd. 79 (1935) S. 1327.

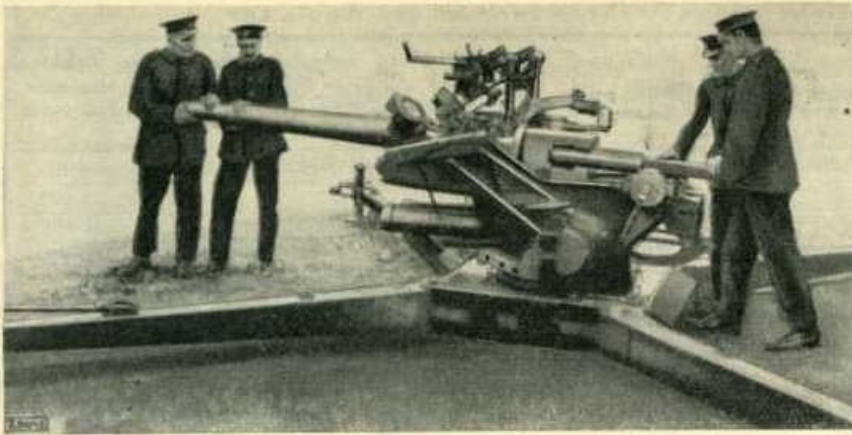


Bild 8. Ausbau des alten Rohres.

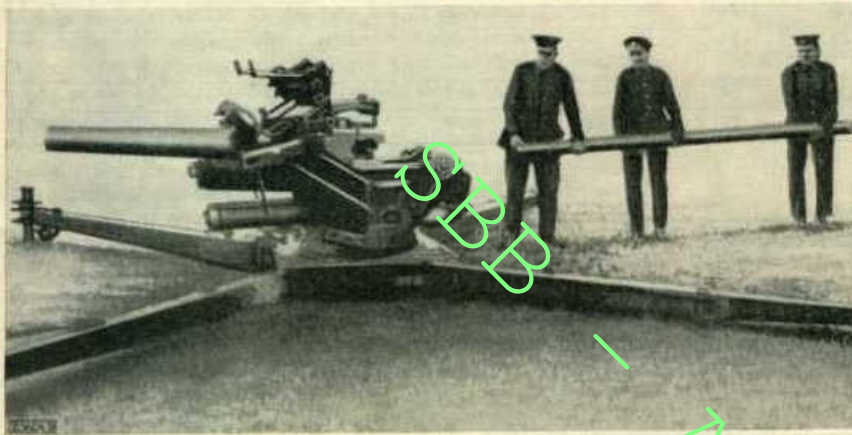


Bild 9. Einbau des neuen Rohres.

Bild 8 und 9. Auswechseln des Rohres bei einer Flugabwehr-Kanone nach Zahlentafel 1 Nr. 1.

den, erreichen die Bestrebungen nach Vergrößerung des Kalibers sehr bald eine obere wirtschaftliche Grenze.

Eine Übersicht über die Kennzeichen der bekanntesten neuzeitlichen Flugabwehr-Kanonen des Auslandes gibt Zahlentafel 1.

Zünderstellmaschine

Die Entwicklung der Zünderstellmaschine ging Hand in Hand mit der Vervollkommnung der Zünder. Die im Weltkrieg verwendeten Brennzünder wurden durch die mechanischen Zünder ersetzt, die mit sehr großer Genauigkeit durch ein Uhrwerk, das durch den Abschuss in Bewegung gesetzt wird, die Laufzeit der Geschosse bestimmt. Das Uhrwerk ist im oberen Teil des Geschosses untergebracht und wird durch Verdrehen des Geschoschkopfes eingestellt. Aus dem Durchmesser des Geschosses an dieser Stelle, dem größten Einstellwert der Zünderlaufzeit von beispielsweise 30 s, der einer Verdrehung um 360° entspricht, und der zu verlangenden Genauigkeit von höchstens $\pm 0,1$ s ergeben sich die Anforderungen, die an die Zünder und die Stelleinrichtungen gestellt werden müssen. Diese Forderungen führten zur Entwicklung besonderer Zünderstellmaschinen. Die im Weltkrieg allgemein verwendeten Zünderstellschlüssel, die auf die Geschosse aufgesetzt wurden, entsprechen neuzeitlichen Anforderungen nicht mehr und sind nur noch beim direkten Richtverfahren im Gebrauch.

Die Zünderstellmaschine befindet sich mit Rücksicht auf den Ladevorgang auf der linken Seite des Geschützes, Bild 2 und 7. Sie ist fest mit der Seite nach schwenkbaren Oberlafette verbunden und damit unveränderlich zum Rohr. Die Zünderstellmaschine hat die Aufgabe, durch einfache Bedienungstätigkeiten die Zünder mit

großer Genauigkeit einzustellen. Die hohen Anforderungen an Genauigkeit, die an die Maschinen trotz rohen Umganges im Betrieb gestellt werden müssen, ergeben sich aus den großen Entfernungsfehlern, die die hohen Anfangsgeschwindigkeiten der Geschosse durch Einstellfehler von Zehntelsekunden und weniger bedingen.

Die Zünderstellmaschine besteht, wie Bild 10 einer amerikanischen Maschine zeigt, aus dem elektrischen Empfänger für Zündeneinstellung mit Folgezeiger, dem Stellbecher und den Bedienungshandrädern. Der Folgezeiger-Empfänger zeigt den Wert der Zünderstellung an, der wie bei den übrigen Empfängern am Geschütz durch Einstellen des Folgezeigers auf den Stellbecher übertragen wird. Der Stellbecher nimmt das Geschöß auf. Mit dem Handrad am Stellbecher wird die Verstellarbeit des Zünders geleistet, wobei die Einstellung des Zünders nach Maßgabe der vom Folgezeigerhandrad vorgeschriebenen Endlage erfolgt. Während die Bedienung des Folgezeiger-Empfängers Sorgfalt erfordert, ist die Tätigkeit am Stellbecherhandrad rein mechanisch.

Die Ausführungsformen der Zünderstellmaschine sind verschieden. Es gibt solche mit einem, Bild 10, mit zwei und sogar mit drei, Bild 2, Stellbechern. Die Anordnung mehrerer Stellbecher bedeutet eine erhöhte Sicherheit der Maschine und gestattet eine größere Feuergeschwindigkeit. Die Maschinen sind an der Oberlafette so angebracht, daß die Geschosse entweder senkrecht, Bild 2, oder schräg, Bild 7 und 10, eingesetzt werden.

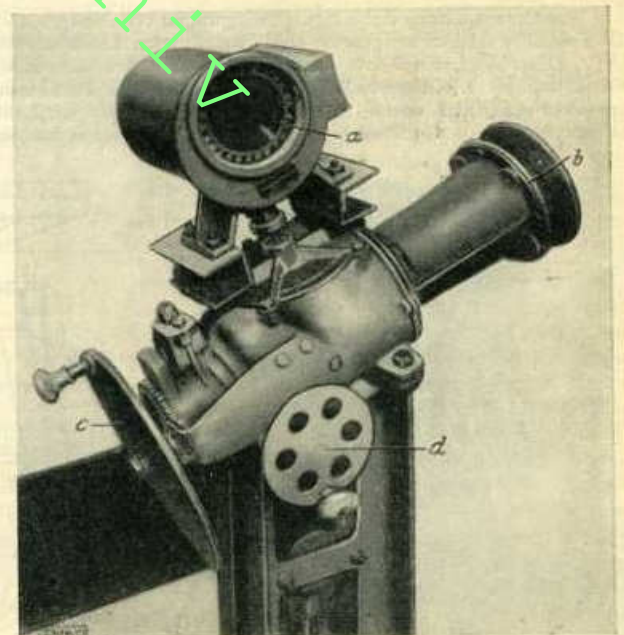


Bild 10. Zünderstellmaschine amerikanischer Bauart.

- a elektrischer Empfänger für Zünderstellung mit Folgezeiger
- b Stellbecher
- c Bedienungshandrad für die Maschine
- d Bedienungshandrad für Folgezeiger

Zahlentafel 1. Neuzeitliche Flugabwehr-Kanonen des Auslandes.

Nr.	Firma	Kaliber cm	Rohrlänge Kaliber	Anfangsge- schwindigkeit v_0 m/s	Geschöß- gewicht G kg	Patronen- gewicht kg	Mündungs- energie	Feuergeschw. Schuß/min	Größte waagerechte Entfernung m	Größte senkrechte Entfernung m
							$G_0 \cdot v_0^2$ 2 · 9,81 mt			
1	Vickers, England	7,5	40	750 und 720	6,5 bis 7	—	188 bis 200	25	13 900	9 235
2	Vickers, England	7,5	46	820	6,5	—	222	25	16 000	11 000
3	Bofors, Schweden	7,5	60	850	6,5	11,6	238	25	16 800	10 000
4	Schneider, Frankreich	7,5	49	850	6,5	11	238	25	15 300	10 000
5	Ansaldo, Italien	7,5	50	950	6,5	—	297	20 bis 25	15 400	11 300
6	Skoda, Tschechoslowakei	7,65	50	811	6,5	10,2	217	15 bis 20	14 000	8 300
7	Bofors, Schweden	8	50	750	8	12,7	228	15 bis 20	15 000	9 700
8	Skoda, Tschechoslowakei	8,35	55	800	6,5	10,2	212	15 bis 20	18 300	12 220
9	Siderius, Holland	8	50	750	8	13	228	20	15 000	9 000
10	Orlando, Italien	10,2	47	900	14	25	577	10 bis 13	—	10 000
11	Nippon, Japan	10,5	40	900	16	—	660	15	17 000	12 000
12	Leningrad, Sowjetrußland	10,5	60	945	15	—	680	20	18 000	13 000
13	Bofors, Schweden	11	—	800	16	—	527	10 bis 15	—	—
14	Vickers, England	12	40	732	22	38	600	10 bis 15	15 600	13 200

Zusammenfassung

Flugabwehr-Kanonen sind Geschütze hoher Leistung, die zusammen mit den Einrichtungen für das Richten und die Einstellung der Zünder hohe Anforderungen an die Konstruktion, die Fertigung und in gewissem Grade auch an die Bedienung und Behandlung stellen. Die Aufgaben werden für die Entwicklung durch die Rücksichtnahme auf die kriegsmäßigen Verhältnisse, unter denen hohe

Leistungen dieser Waffen erzielt werden sollen, erschwert. Die vielseitigen Bedingungen, die in dieser Beziehung an alle einzelnen Einrichtungen des Geschützes zu stellen sind, konnten nur zum Teil behandelt werden. In dem Rahmen des vorliegenden Aufsatzes kam es nur darauf an, einen Überblick über den Zweck und die Ausführungsarten der Flugabwehr-Kanonen mit den zusätzlichen Einrichtungen zu geben.