Autor: Martin Klöffler

Der Rikoschett- und Enfilierschuss Glattrohrvorderlader beim förmlicher Angriff auf Festungen vom Ende des 17. bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts

Büren, Guido von (Hrsg.); Tonert, Andrea (Hrsg.): Technische und bauliche Aspekte der Festungs- und Belagerungsartillerie; Festungsforschung, 12, Regensburg, Schnell- und Steiner-Verlag (2022), S. 206-247

Einführung

Bei den förmlichen, klassischen Belagerungen vom Ende des 17. bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts machten sich die Artilleristen den Effekt der springenden Kugel der glatten Vorderlader-Kanonen und Haubitzen zunutze[1]. Der Rikoschett- und Enfilierschuss war der bis dahin einzige bekannte indirekte Schuss der Kanonen zur Bekämpfung nicht sichtbarer Ziele auf dem Wallgang, abgesehen vom Wurffeuer der Haubitzen und Mörser[2].

Der indirekte Schuss zur Breschierung kam erst mit der Einführung der gezogenen Hinterlader auf, siehe zum Beispiel die Belagerungsübung in Jülich 1860. Weitere Bezeichnungen für den Rikoschettschuss waren Gell-, Prell- oder Schleuderschuss[3] und wurden je nach Autor auch verschieden definiert. Sein Name leitete sich aus dem französischen Ricochet = Abpraller oder Querschläger her und wurde von Vauban[4] das erste Mal verwendet.

Abbildung 1: Nächtliche Bombardierung der Stadt und Festung Danzig durch die Franzosen am 21. Mai 1807. Die brennenden Zünder der Bomben lieferten ein eindrucksvolles Spektakel, während die Vollkugeln der Rikoschettschüsse unsichtbar blieben. (Rugendas, Siège de Danzic).

Wenn schon die Kugelbahn vor dem ersten Aufschlag schwierig zu bestimmen war, dann war eine Theorie der rikoschettierenden (springenden oder hüpfenden) Kugel erst recht eine Herausforderung, denn vielfältig waren die Einflussgrößen. Man begnügte sich indessen mit der Feststellung, dass die rikoschettierende Kugelbahn nicht näher zu bestimmen sei, und überließ es Praktikern, den Rikoschettschuss durch Experimentieren zu einer befriedigenden Wirksamkeit zu bringen.

Im Folgenden soll der Versuch unternommen werden, die rikoschettierende Kugelbahn wenigstens qualitativ mit Hilfe eines einfachen mechanischen Modells zu verstehen.

Im praktischen Teil werden dann die zeitgenössischen Ansichten über Einsatz und Wirkung des Rikoschettschusses untersucht. Hierfür wurden zeitgenössische Lehrbücher der Artillerie und Belagerungstechnik, Journale der Belagerungen und Zeitschriften mit Schwerpunkt in der belagerungsreichen napoleonischen Epoche ausgewertet. Eine Zusammenfassung zur Geschichte und Theorie des Rikoschettschusses geben Böhm 1789, Huguenin 1825, Lyautey 1826, Coste 1826, Toll 1850 und Poten 1879. Die Literatur über den zeitgenössischen Stand der Ballistik, insbesondere des Rikoschettschusses, hat Slevogt[5] 1841 zusammengestellt. Eine ausgezeichnete Übersicht über die preußische Belagerungsartillerie und ihre Ballistik in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts gibt Müller 1876. Überhaupt ist festzustellen, dass sich zahlreiche Ingenieure, Artilleristen und Mathematiker mit diesem Thema bis ca. 1860 beschäftigten, so dass die Flut der Veröffentlichungen kaum noch zu

[1] Übersicht siehe: Hemmann, Klöffler: Belagerungen 1813-14, Kapitel Artillerie.

[2] Gelegentlich werden auch Mörser in Zusammenhang mit dem Rikoschettschuss gebracht. Hier handelt es sich um einen echten Rollschuss, wie er z.B. bei der Schlacht von Rossbach 1757 angewendet wurde, als die preußischen 8-zölligen Mörser ihre Bomben mit 1° Elevation (!) in die gegnerischen Linien rollen ließen. Dies ist selbst für eine Feldschlacht außergewöhnlich, und schon gar nicht auf den Festungskrieg anwendbar. A. New: Military Dictionary, 708.

[3] Poten, Bd. 8, 143ff.

[4] Sébastien Le Prestre, Marquis de Vauban (1633-1707), Marschall von Frankreich, Festungsbaumeister Ludwigs XIV.

[5] Slevogt, Übersicht der Literatur, Abschnitt VIII, c. Ballistische Theorie, 232-235.

übersehen ist[6]. Für die Eigenheiten der jeweiligen Artillerien wird auf die Spezialliteratur und Übersichten verwiesen[7].

Schussarten und Kugelbahnen

Zuvor müssen wir die zeitgenössische Auffassung von der Kugelbahn der Kanonen und Haubitzen, d.h. die Außenballistik, nach Scharnhorst rekapitulieren.

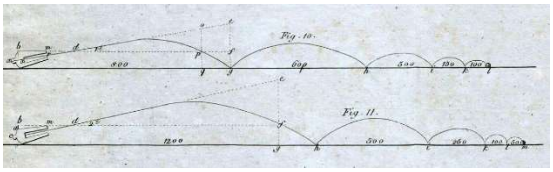

Abbildung 2: Die verschiedenen Schussarten in der Ebene für eine Kanone mit flacher 1° Elevation für den Rollschuss (dem Enfilierschuss entsprechend, Fig. 10) und eine Kanone bzw. Haubitze mit der größeren Elevation 2-15° für den Rikoschettschuss (Fig. 11). Die Schuss- bzw. Sprungweiten sind in Schritt angegeben. Erläuterung siehe im Text (Scharnhorst, Artillerie I, Plan XIII).

Der Rollschuss der Kanonen im freien Felde[8]

Der rikoschettierende Visierschuss oder Rollschuss[9] mit voller Ladung (1/3-kugelschwer) und kleiner Elevation wurde wie folgt charakterisiert: Die eiserne Vollkugel rikoschettierte, d.h. sprang mehrfach auf Erde, Eis oder Wasseroberflächen und lief nach dem letzten Aufprall mit geringer kinetischer Energie bis zum Stillstand weiter bzw. versank im Wasser. Die Bodenwellen senkrecht zur Schussbahn mit einem steileren oder flacheren Aufschlagwinkel verlängerten oder verkürzten die Rollschussweite; sie lenkten die Kugel aber auch seitlich ab. Weicher Boden, wie Morast, bremste die Sprünge ab, harter Rasen oder Eis ließen die Kugel weiter springen und laufen.

Die bei der Feldartillerie typischen Kaliber waren 3-, 4-, 6-, 8- oder 12-Pfünder, je nach Armee. Die weiteren Schussarten der Feldkanonen wie Kernschuss, Visierschuss und Bogenschuss werden hier nicht weiter betrachtet.[10]

Die typischen Schussweiten betrugen für einen preußischen 12-Pfünder der schweren Fußbatterien:

Grad	Erster Aufschlag in Schritt	Rollschussweite in Schritt
0	350	2400
1	800	ebenso
2	1150	2600
3	1460	ebenso
4	1700	ebenso

Tabelle 1: Elevation und Schussweiten (Scharnhorst, Artillerie III, 245).

Eine höhere Elevation, welche die Reichweite bis zum ersten Aufschlag bedeutend vergrößerte, hatte nur geringen Einfluss auf die Rollschussweite.

Für den Bogenschuss mit 15-20° Elevation waren theoretische Reichweiten von 4000 Schritt beim 12-Pfünder und 4400 Schritt beim 24-Pfünder möglich; allerdings war die Wahrscheinlichkeit des Treffens außerordentlich klein, also die Wirkung gering (siehe Abschnitt Wahrscheinlichkeit des Treffens). Dieser Bogenschuss versprach also bestenfalls beim Bombardement einer Stadt, d.h. eines Flächenzieles, eine gewisse Wirkung.

Der Rollschuss über 1000 Schritt im Felde galt als nicht sehr zielgenau, was aber durch die massierte Verwendung von Batterien und hohe Schuss-Kadenz gegen die geschlossenen Verbände der Infanterie und Kavallerie wettgemacht wurde.

Der Enfilierschuss der Kanonen bei Belagerungen

Dieser entsprach dem Rollschuss auf freiem Feld mit voller Ladung, d.h. 1/3 bis ½-kugelschwere Ladung von 12- bis 24-pfündigen Kanonen, gegen *Festungswerke*, vorzugsweise gerichtet gegen den gedeckten Weg und den Wallgang vom Hauptwall (Facen der Bastionen und Kurtinen) bzw. von den Vorwerken. Er wird gelegentlich in der Literatur, z.B. bei Hoyer oder Poten, etwas ungenau, ebenfalls Rikoschettschuss genannt, obwohl der Enfilierschuss eine andere Ballistik als der eigentliche Rikoschettschuss hatte[11]. Dupuget nennt den Enfilierschuss

[6] Unter dem Stichwort „Ricochet“ 1700-1850 findet man allein bei Gallica (BNF Bibliothèque nationale française) 797 gedruckte Stellen!

[7] Siehe z.B. Summerfield, Napoleonic Artillery; Malinowsky/Bonin; Rouvroy, Dolleczek etc.

[8] Scharnhorst, Handbuch Artillerie III, 239ff. und Planche VII, siehe Anhang; Summerfield, Artillery, 235.

[9] Scharnhorst, Handbuch Artillerie III, 242.

[10] Siehe zum Beispiel Scharnhorst, Artillerie III, Planche VII, 239.ff.

[11] Im Folgenden wird der Begriff Enfilierschuss verwendet, um eine Verwechselung mit dem eigentlichen Rikoschettschuss zu vermeiden.

daher auch „ricochet roide“, was Decker[12] den gestreckten Rikoschettschuss nennt[13].

Hoyer schrieb, dass bei einer Elevation von über 7° die Kugel nur stumpf einschlagen und liegenbleiben werde; bei 5-6° fänden nur wenige Aufschläge statt; dagegen wären wie beim Rollschuss mit 2-4° bis zu 12 Aufschläge in der Ebene wegen des flachen Aufschlagwinkels möglich[14].

„Von einem Enfiladeschuss erwartet man […] eine vorteilhaftere Wirkung als vom Rikoschettschuss, weil die Kugel eine weit größere Kraft [,,,] besitzt…“[15]. Allerdings konnten wegen des flacheren Aufschlagwinkels nur relative lange Linien bestrichen werden und eben keine kürzeren Linien wie beim eigentlichen Rikoschettschuss (s.u.).

Die wirksame, aber immer noch recht geringe Reichweite des Enfilierschusses bis zum ersten Aufschlag gab Hoyer mit 500-1000 Schritt an, d.h. ca. 400-800 m.

Der eigentliche Rikoschettschuss[16] oder Schleuderschuss der Kanonen bei Belagerungen

Bei Scharnhorst in der Überarbeitung von Hoyer[17] wurde der eigentliche Rikoschettschuss mit schwacher Ladung[18] in der Auflage von 1815 behandelt: Die auf dem Wallgang[19] bzw. gedeckten Weg stehenden Geschütze waren durch die springende Kugel zu demontieren, wenn es gelang, das Feuer längs des Wallgangs einzufädeln (zu enfilieren). Nach Vauban sollte eine Rikoschettbatterie ca. 250, 300, 350 Toises (Klafter = ca. 2 m, d.h. ca. 500, 600, 700 m) vom Ziel entfernt etabliert werden (siehe auch Batteriebau in Abbildung 5 und Abbildung 11).[20]

Ballistisch gesehen, war der Rikoschettschuss ein flacher Wurf, vergleichbar mit dem der Haubitzen.

Typische Elevationen für den eigentlichen Rikoschettschuss wurden bei James mit 5 bis 12°, bei Neander unter 10° und in Deckers Taschen-Artillerist mit 2-10° angegeben[21]. Urtubie[22] empfahl dagegen, am besten eine Elevation von 13-14° einzuhalten und nicht unter 10° zu bleiben[23]; er nahm damit in Kauf, dass die Kugel keine weiteren Sprünge mehr machte. Die schwachen Pulverladungen bedingten eine kleine Mündungsgeschwindigkeit (Anfangsgeschwindigkeit) v_0, und somit eine gute Näherung an die Parabel bei stark gekrümmter Kugelbahn, die andererseits bei voller Ladung und somit höherer v_0, stark abweichend von der Parabel war.

Der kritische Aufschlagswinkel $\theta_{k,}$, d.h. der steilste Winkel, bei dem die Kugel noch rikoschettierte, war mit ca. 13-14°[24] ermittelt worden, bei den Bomben der Haubitzen konnte er dagegen über 15° [25] liegen. Bei steileren Winkeln bohrten sich die Kugeln im Erdreich ein und rikoschettierten nicht mehr. Dies bedeutete, dass der Elevationswinkel geringer als der kritische Aufschlagwinkel gehalten werden musste, da die Kugel infolge des Luftwiderstandes mit steilerem Winkel als der Abschusswinkel (Elevation) aufschlug, wie weiter unten ausgeführt werden wird. Wegen des steileren Aufschlagwinkels konnten auch kürzere Linien bestrichen werden, die für den Enfilierschuss praktisch nicht erreichbar waren. Allerdings war die Wirkung des eigentlichen Rikoschettschusses wegen der schwachen kinetischen Energie dem Enfilierschuss unterlegen.

---

[12] Carl von Decker (1754-1844), Offizier im Generalstab, später preußischer Generalmajor und Militärschriftsteller. Hauptwerke zur Artillerie und Taktik der verbundenen Waffen.

[13] Decker, Zeitschrift für Kunst, 54 (2), 144.

[14] Hoyer, Kriegsbaukunst, Bd. 3, 21. Die Angaben variieren beträchtlich, weil es nicht gelang, einen einheitlichen Standard für die Artillerie-Versuche zu etablieren.

[15] Rouvroy, III, 278,

[16] Im Folgenden auch nur „Rikoschettschuss“ genannt, im Gegensatz zu dem „Enfilierschuss“-

[17] Johann Gottfried v- Hoyer (1767-1848), Militärschriftsteller, erst in sächsischen Diensten, 1818 preußischer Generalmajor.

[18] Ungefähr 1/16 bis 1/6-kugelschwere Ladung. Siehe Neander, 160; Pasley, 216; Rouvroy, III, 268: 1/32 – 1/8 kugelschwere Ladung.

[19] Wenn weiter unten nur der Wallgang erwähnt wird, so ist auch damit sinngemäß der gedeckte Weg abgedeckt.

[20] Vauban, 292; Pasley, 215: 400 yards = 365m, 600 yards = 548m, 800 yards = 731m.

[21] James, Stichwort Ricochet; Decker, Taschen-Artillerist, 174; Hoyer, Kriegsbaukunst, Bd. 3, 21: max. 7° Elevation; Rouvroy, III., 208: Versuch der k.k. Artillerien in der Sömmeringer Heide bei Wien, 1824: Hier bei 10° Elevation auch mehrere Sprünge.

[22] Théodore Bernard Simon Durtubie dit d’Urtubie de Rogicourt (1741-1807), franz. Artillerieoffizier.

[23] Urtubie, Petit Manuel, 6 und 26-27. Urtubie unterscheidet auch nicht zwischen Enfilier- und Rikoschettschuss, sondern betont den Zweck, den man mit dem ersten Aufschlag hinter der Brustwehr erreichen möchte. Er bevorzugt aber die volle Ladung, da die Vollkugel dann mehr Durchschlagskraft habe.

[24] James, Stichwort Ricochet.

[25] Decker, Taschen-Artillerist, 174. Bei der 10-Pfündigen Haubitze bei 15° Elevation sind 1-2 Aufschläge möglich. Siehe Tabelle 7.

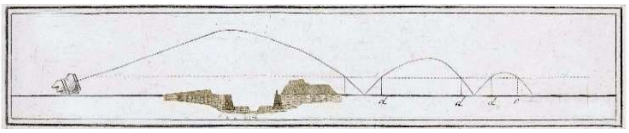

Abbildung 3: Der eigentlicher Rikoschettschuss über Festungswerke, hier vereinfacht dargestellt durch Glacis, Graben und Brustwehr. Die beste Wirkung wurde erzielt, wenn die Kugel eben über den Kamm der Brustwehr hinwegstreifte und auf dem Wallgang weiter sprang. Beim Rikoschettieren des gedeckten Weges konnte der erste Aufschlag auch auf dem Glacis liegen. (Montage nach Scharnhorst).

Jones[26] und Rouvroy[27] erwähnen auch den Rikoschettschuss bei der Verteidigung von Festungen gegen einen förmlichen Angriff, wobei der auf dem Felde stark streuende Schuss die Arbeiten in den Laufgräben und Batterien behindern sollte[28]. Der erste Aufschlag sollte dann vor dem Ziele liegen, welches mit mehreren Sprüngen erreicht werden sollte. Dieser Rollschuss hat wenig mit dem gezielten Schuss der Angriffsartillerie auf Festungswerke gemein und soll deshalb hier nicht weiter behandelt werden.

Beim eigentlichen Rikoschettschuss rikoschettierte die Kugel nur 1-2-mal[29] und blieb dann liegen bzw. bohrte sich ein.

Wurf der Haubitzen

Die Haubitzen warfen Bomben bis zu einer Elevation von ca. 20°[30], d.h. die Flugbahn war gekrümmt, und die Bomben konnten somit verdeckte Ziele treffen. Die wichtigsten Schussarten für die 7- und 10-pfündigen Feldhaubitzen war der Wurf mit maximaler Elevation bis auf 2500 Schritt (ca. 2000m)[31]. Der Rollwurf mit geringer Elevation ging im freien Terrain bis auf 1600 Schritt (ca. 1300 m) und der Rikoschettschuss bis auf etwa 600-800 Schritt (ca. 650 m)[32]. Die starke Streuung erzwang geringere Distanzen bei den Belagerungen (s.u.).

Für den Enfilierschuss konnten die Haubitzen wegen ihrer schwachen Ladungen nicht eingesetzt werden. Die Ballistik folgte den gleichen Regeln wie bei den Vollkugeln und wird deshalb hier nicht weiter im Detail behandelt.

Ballistik des Rikoschett- und Enfilierschusses

Historische Modellbildung

Ken Alder[33] analysiert die Schwierigkeiten der physikalischen Modellbildung für die Ballistik vom ausgehenden 18. bis zum beginnenden 19. Jahrhundert und nennt hierfür vier Faktoren, die das Verständnis und die Interpretation der Versuche erschwerten: Reiner „Deskriptionismus“, d.h. Anhäufung von Zahlenreihen ohne ein physikalisches Modell zur Interpretation, fehlende „Normalisierung“, d.h. Standardisierung der Versuchsbedingungen in variable und konstante Parameter, ungenügende „Skalierung“, d.h. das Hochrechnen der Versuchsbedingungen auf einen höheren Maßstab für reale Anwendungen[34] und hohe „Komplexität“, d.h. die idealen physikalischen Modelle waren nur mit prohibitiv hohem Rechenaufwand auf die reale Welt übertragbar. Wichtige Faktoren, wie etwa der Luftwiderstand bei der Ballistik, waren dank Euler[35] und Robins[36] schon ab ca. 1740 bekannt. Erst in den 1780er Jahren wurde der Luftwiderstand in einer früher von Borda[37] entwickelten Formel für den Aufschlagswinkel, die Reichweite etc. berücksichtigt[38]. Die von Lombard entwickelten Tafeln fanden erstmals Eingang in die Praxis der französischen Artillerie (s.u.).

Otto[39] nennt 1833 die folgenden Fragestellungen für die Ballistik:

a) Ermittlung des wahren Luftwiderstandes
b) Auffindung einer Gleichung für die Kugelbahn bei gegebener v_o

[26] John Thomas Jones (1783-1843), britischer Ingenieuroffizier, zuletzt Generalmajor

[27] Friedrich Gustav Rouvroy(1771-1839), sächsischer Artillerieoffizier, Militärschriftsteller, Direktor der Artillerieschule Dresden

[28] Jones, Vol. 2, Note 33, 327; Rouvroy III, 269ff.

[29] Pasley, 216: Ricochet-Versuch in Woolwich, 1824; Decker, Taschen-Artillerist, 174.

[30] Für preuß. Decker, Taschenartillerist, 148; Müller, 29.

[31] Decker, Taschen-Artillerist, 148. Schießen, Werfen.

[32] Decker, Taschen-Artillerist, 152. Rikoschettieren.

[33] Alder, Engineering the Revolution, Chapter Test, Countertest, 98ff.

[34] Z.B. das Extrapolieren der Ergebnisse für einen 3-Pfünder auf einen 24-Pfünder.

[35] Leonhard Euler (1707-1783): Schweizer Mathematiker, Physiker, Astronom, Geograph und Ingenieur. Ab 1726 bei der Akademie der Wissenschaften in Sankt Petersburg, dann ab 1741 an der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin.

[36] Benjamin Robins (1707-1751): vielseitiger englischer Ingenieuroffizier und Mathematiker. Erfinder des ballistischen Pendels. Erste Studien zum Luftwiderstand in der Ballistik. Erstes Lehrbuch für Ballistik, welches Euler ins Deutsche übersetzt.

[37] Jean-Charles de Borda (1733-1799), französischer Mathematiker und Seeoffizier, siehe Molitz, H.; Strobel, R.: Äußere Ballistik, Berlin & Heidelberg: Springer, 1963, 198,

[38] Coste, Sur le ricochet, 534.

[39] Otto, Theorie des Ricochettschusses, VI.

c) Übertragung der Anfangsgeschwindigkeit in die Ladung

Es ist heute selbstverständlich, die Ballistik mit Hilfe einer Bewegungsgleichung (s.u. und im Anhang) zu analysieren, jedoch konnte die zeitgenössische parabolische Theorie den praktischen Artilleristen zu Recht nicht überzeugen, welcher lieber der überkommenen Theorie von Tartaglia[40] folgten[41]. Dieser unterteilte die Kugelbahn in eine „gemischte" Bewegung, nämlich einen geraden aufsteigenden Ast, einen kreisartig gekrümmten Ast am Scheitelpunkt und den absteigenden, leicht gekrümmten Ast. Eine Theorie musste nämlich immer die Hauptabsicht des Artilleristen befriedigen, d.h. besser zu treffen, und das am besten nach Augenmaß. Tartaglias Theorie kam zwar der Anschauung entgegen, war aber in keiner Weise imstande, das bessere Treffen zu unterstützen (Siehe auch den Abschnitt „Historische Versuche zur Ballistik").

Moderne Modellrechnungen

Wir erwarten, dass die Kugelbahn im Modell nach dem n-ten Aufschlag qualitativ richtig, d.h. mit abnehmender Sprunghöhe und Wurfweite wiedergegeben wird. Quantitative Vorhersagen werden bestenfalls den Charakter einer Abschätzung haben können, da nur wenige belastbare historische Vergleichsdaten mit unbekannten Rahmenbedingungen vorliegen. Diese Parameter wie Mündungsgeschwindigkeit v_o, Anfangshöhe h_0 etc. müssen also aus heute vorliegenden Daten abgeschätzt und in die Modellrechnung übernommen werden. Wenn der Luftwiderstand, c_w-Wert etc. zusätzlich in das Modell eingehen soll, so wird eine exaktere Beschreibung der Kugelbahn beim Rikoschettieren, insbesondere der Aufschlagswinkel, möglich.

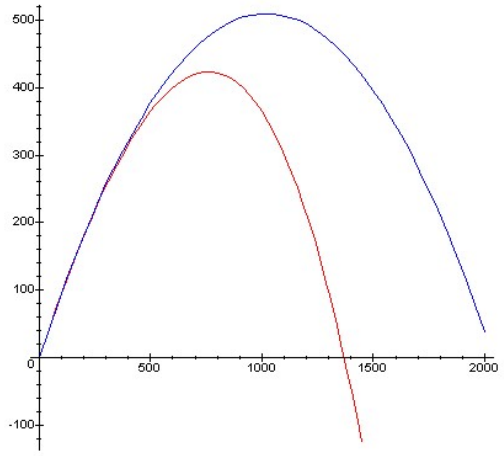

Abbildung 4: Kugelbahn im Vakuum (blau) und mit Luftwiderstand (rot) beim Abschusswinkel β = 45° und unrealistisch hoher Mündungsgeschwindigkeit v_0, so dass beide berechnete Kugelbahnen stark voneinander abweichen. Die Y-Achse ist hier 5-fach überhöht. Die Zahlenwerte sind willkürlich (Heil, K.: Physik: Schiefer Wurf mit Luftwiderstand). Für realistische Berechnungen für den Rikoschett- und Enfilierschuss siehe im Anhang.

Aus den vorliegenden historischen Daten, wie z.B. den Scharnhorst'schen Versuchen, soll der Energieverlust bei jedem Aufschlag abgeschätzt werden. Scharnhorst gibt an, dass sich die Sprungweite bei jedem Aufschlag in etwa halbierte, also der zweite Aufschlag in etwa halb so groß die Reichweite des ersten Aufschlags war[42]. Aus weiteren Versuchsreihen gehen allerdings noch weiter abnehmende Sprungweiten von 60% hervor.

Die Sprungweite ist proportional zum Quadrat von v_o, mithin also auch direkt proportional zur Translationsenergie. Dies bedeutet nichts anderes als einen hohen Verlust an Translationsenergie (Geschossenergie), die beim Aufschlag in Wärme und Rotation umgewandelt wird. Die Bodenqualität beeinflusste wesentlich den Energieverlust, welcher durch Versuche als Materialparameter bestimmte werden könnte. Der Energieverlust der Translation ist auch mit der Elevation korreliert, d.h. je steiler der Einfallwinkel wird, desto größer der Energieverlust.

Denkbare Abbruchskriterien für das Rikoschettieren sind der kritische Aufschlagswinkel θ_k, der vollständige Verlust der Translationsenergie oder eine kritische Steighöhe h_{max}, die z.B. dem Kugeldurchmesser entspricht.

Im Anhang wird dieses Modell hergeleitet, parametrisiert und für den Enfilier- und eigentlichen Rikoschettschuss durchgerechnet. I

Ergebnis

Das Modell mit dem teilelastischen Aufschlag kann den Rikoschettschuss zumindest qualitativ erklären, wenn ein Verlust der Translationsenergie von ca. 60% bei jedem Aufschlag angesetzt wird. Der Luftwiderstand bedeutet eine Abnahme von Geschwindigkeit, Geschossenergie und Reichweite gegenüber der Parabel. Flugzeit und Steighöhe bleiben dagegen weitgehend unbeeinflusst. Der immer steiler werdende Aufschlagswinkel erklärt das Einbohren der Kugel nach mehreren Abprallern (siehe die beiden ersten Modellrechnungen in der Anlage).

Allerdings fordert das Modell eine präzise Parametrisierung und hohe Rechenkapazitäten. Die numerische Integration der Bewegungsgleichungen liegt erst heutzutage im Bereich das Möglichen.

[40] Niccolò Fontana Tartaglia (1499-1557); italienischer Mathematiker und Ingenieur

[41] Alder, 90.Sehr zu empfehlen als Übersicht für die Geschichte der Ballistik.

[42] Scharnhorst, Handbuch Artillerie, Bd. 1, §113. Größe der Ricochette, 257.

Die historische Praxis

Berechnungen, Schuss- und Wurftafeln

Die Rechenkapazität des 18. Jahrhunderte war selbst bei den geschlossenen Lösungen des *parabolischen Modells* vor dem ersten Aufschlag der entscheidende Hemmschuh, weil die Berechnung vor der Erfindung der Rechenmaschinen sehr aufwendig und auch fehleranfällig war. Überdies waren die Parameter der Kugelbahn nur ungenau bestimmt, wie oben ausgeführt wurde. Hoyers Rechenbeispiel für die analytische Berechnung der Kugelbahn eines 24-Pfünders mit logarithmierten trigonometrischen Funktionen erstreckt sich über 2 1/2 Seiten[43]! Daher wurden die Berechnungen durch besser handhabbare tabellarische Darstellungen, d.h. sogenannte Schuss- und Wurftafeln[44], vereinfacht; diese waren jedoch bestenfalls beim Bombenwurf der Mörser nützlich, nicht aber bei den Kanonen mit voller Ladung mit rasantem Schuss.

Schon die Berechnungen der parabolischen“ Theorie“ wurden von den praktischen Artilleristen gänzlich verworfen, da die durch den Luftwiderstand verkürzten Wurfweiten nicht annähernd den vorhergesagten der Parabel entsprachen. Morla[45] urteilte:

„Hieraus folgt: dass alle, bloß auf das oft erwähnte Princip gegründete Berechnungen des Fluges der geworfenen Körpern, wie man sie in verschiedenen Werken über die Geschützkunst findet, durchaus unbrauchbar sind. […]. Man sollte bey dem großen Fortschritte des Calculs und der Naturlehre glauben: Es würde gut seyn, die Porteen der geworfenen Körper zu berechnen und den Widerstand der Luft dabey in Anschlag zu bringen. Wirklich haben verschiedene der größten Meßkünstler des gegenwärtigen Jahrhunderts diese Berechnungen mit Erfolg angestellt, und ihre gefundenen Resultate sind auch durch die Erfahrung insoweit bestätigt worden, als es nur immer bey einer so verwickelten und vielumfassenden Materie möglich ist. Wenn man jedoch aufrichtig seyn will, muß man gestehen: dass diese Mittel, die Wurfweiten der Bomben – nach Verschiedenheit der Ladungen und Elevationen – zu finden, bey den Anwendungen der Batterien durchaus unbrauchbar ist, und daher auch in den [Artillerie]Schulen nicht angewiesen werden darf. Welcher Officier, so geübt er immer in dem höhern Calcul seyn mag, hat wohl auf der Batterie Zeit, Ruhe und Gelegenheit, unendliche Reihen zu bilden, sie zu integrieren und Näherungen daraus zu finden; ja dasselbe Verfahren sogar bey jedem neuen Fasse Pulver, bey jedem Mörser zu wiederholen?“[46]

Ab 1740 waren von Euler und Borda schon erste Näherungslösungen der Bewegungsgleichung unter Berücksichtigung des *Luftwiderstands* entwickelt worden[47]. Professor Lombard[48], entwickelte 1787 daraus Schusstafeln, die auf die Gribeauval-Geschütze und deren Aufsätze abgestimmt waren, und die tatsächlich ohne großen Aufwand in der Praxis eingesetzt werden konnten. Allerdings fehlte immer noch eine direkte Methode zur Bestimmung der v_0 im Felde, und der Artillerist musste jetzt ein Gespür für die Anwendung der Tafeln aufbringen: Ein Probeschuss war damit immer noch zwingend notwendig, wo von der Reichweite auf die v_0 geschlossen werden konnte[49]. Die französische Artillerie verwendete also als erste Artillerie Europas Schusstafeln basierend auf einer analytischen Lösung, welche den Luftwiderstand berücksichtigte!

NOMS des PIECES.		*Vitesses initiales pour le Tir à ricochet.*			
		à 150 to.	à 200 to.	à 250 to.	à 300 to.
		pi.	pi.	pi.	pi.
Canons de....	24	450 à 600	500 à 700	600 à 750	650 à 800
	16	500 à 630	500 à 700	600 à 800	700 à 900
	12	500 à 650	600 à 800	700 à 900	700 à 1100
Obusrs. de....	8	400 à 500	500 à 520	.....	.....
	6	400 à 450	500 à 600	600 à 750	750.....

Tabelle 2: Schusstafel für den Rikoschettschuss mit 24,- 16 und 8-pfündige Kanonen (canons) und 6- bis 8-pfündigen Haubitzen (obusiers) und mit den Entfernungen in Toises (ca. 2 m), wobei der Aufsatz mit 6 pouces (Zoll) für Kanonen und 8 pouces für Haubitzen vorgeben war.

Zur Tabelle 2: Die Elevation war auf einen wohl in der Praxis bewährte Wert von 6 bzw. 8 Zoll Aufsatz fixiert. Andernfalls hätten die Tafel z.B. für jedes Zoll im Aufsatz erneut durchgerechnet werden müssen.

---

[43] Hoyer, Artillerie P, 107-109.

[44] z.B. Vega, Bd. 3, 1788, 169. Scharnhorst/Hoyer, Handbuch Offiziere, erster Teil: Artillerie, 339 und 347. In der einfachsten Form wurden die Tafeln für die größte Wurfweite bei 45° auf 1000 Schritt normiert, was dann auf die wirkliche größte Wurfweite eines Mörsers heruntergerechnet musste. Also zum Beispiel 700 Schritt als größte Wurfweite für eine gegebene Ladung, also war die Normierung 700/1000. Die v_0 musste nicht bestimmt werden. Durch die verschiedenen Elevationswinkel ließen sich die Reichweiten in der Horizontalen dann rechnerisch (d.h. ohne Versuch) ermitteln. In der Praxis waren Wurftafeln für einen bestimmten Mörsertyp gefordert, welche bei vorgegebener Ladung und Elevation die Wurfweite direkt angaben.

[45] Don Thomas Morla (ca. 1740-1811), spanischer General der Artillerie, Gouverneur von Cadiz und Madrid. Das Hauptwerk ist sein Lehrbuch über die Artillerie, welches von Hoyer ins Deutsche übersetzt wurde.

[46] Morla, Artillerie II, §65.

[47] Poisson, 541.

[48] Jean-Louis Lombard (1723-1794), französischer Mathematiker, Übersetzer von Robins Ballistik. Lehrer Napoleons: „Tables du tir“, Chapitre „Des Batteries à ricochet ou d’enfilade“, 13ff.

[49] Alder, 107-108. Lombard, tables du tir, Verfahren zur Bestimmung der Pulvermenge bei gegebener Mündungsgeschwindigkeit, Problem II, 21.

Es sind dem Autor keine Quellen bekannt, welche die explizite Anwendung in den Kriegen 1792-1815 belegen. Können wir voraussetzen, dass die Verwendung so alltäglich war, dass sie nicht mehr erwähnt werden brauchte?

Auffallend bleibt die breite Streuung der v_o,, wie zum Beispiel 450-600 Fuß/s. Die v_o geht gemäß der Theorie im Quadrat in die Reichweite[50] ein, so dass sich hier eine noch breitere Streuung fortpflanzt, welche die Wahrscheinlichkeit des Treffens mindert. Ebenso entscheidend ist die Streuung des Elevationswinkels. Die Fehlerfortpflanzung ist bis ca. 1860 anscheinend nicht weiter untersucht worden.

Dennoch waren die Erkenntnisse der Ballistik schwer mit den Versuchsreihen in Einklang zu bringen, da die v_o im Felde nicht gemessen werden konnte. Der preußische Artillerieoffizier Radowitz[51] verfolgte deshalb ab 1833 einen empirischen Ansatz, um Schusstafeln für einen gegebenen Geschütztyp zu erstellen, die völlig unabhängig von einem Modell der Kugelbahn waren. Die Aufgabe sei

„aus gegebenen Versuchsreihen die Relationen zwischen Elevation, Ladung und Schussweite für ein gewisses Geschütz abzuleiten, und auf dieses rein empirische Gesetze dann sämmtliche ballistische Aufgaben unmittelbar zurückzuführen.“[52]

Bei konstanter Pulverladung und bei variabler Elevation untersuchte er die erzielten Reichweiten eines Geschütztyps. Die Aufgabe wurde durch nichtlineare Proportionen, z.B. für Reichweite R zum Winkel W, gelöst,

(1) $R_1/R_2 = (W_1/W_2)^x$,

wobei x ein mehr oder weniger konstanter, aus den Versuchsreihen zu ermittelnder Exponent war, der durch Logarithmieren direkt berechnet wurde. Aus der Versuchsreihe wurde dann ein mittlerer Exponent x ermittelt, mit dessen Hilfe eine Schusstafel erstellt wurde. Beispielsweise wurde x = 0,803 für einen 12-Pfünder mit 8 Loth Ladung ermittelt. Bei der Anwendung der Schusstafel wurden die Zwischenwerte durch Interpolation bestimmt.

Ein Vergleich mit der Reichweite R der parabolischen Theorie (siehe Formel (7)) zeigt, dass diese Gleichung nur eine grobe Näherung für die nichtlineare Abhängigkeit sein kann. Trotzdem scheinen die Schusstafeln dem praktischen Artilleristen genügt zu haben, da die Streuung[53] ohnehin sehr groß war. Aus heutiger Sicht würde man die rein empirischen Schusstafeln mit anderen Methoden erstellen: Bei wenigen Stützpunkten würde man ein glattes Polynom auf den Stützpunkten (z.B. eine Bezierkurve mit glatten Tangenten und Krümmungen an den Stützpunkten) konstruieren, oder bei vielen, stark streuenden Stützpunkten ein Ausgleichspolynom höheren Grades anwenden.

Historische Versuche zur Ballistik

Die Bedingungen beim Versuchsschießen waren aus heutiger Sicht möglichst konstant zu halten: Die Parameter waren bei der *inneren Ballistik* wie u.a., die Länge des Rohres, Qualität und Masse der Kugeln, das Spiel der Kugel in der Geschützröhre, die Qualität und Menge des Pulvers. Die *äußere Ballistik* wurde beeinflusst durch Wind, Luftwiderstand, Geschossmasse, Stirnfläche, Rauigkeit des Bodens beim Aufschlag, Bodenbedeckung, Geländeprofil etc. und so waren die Ergebnisse nur qualitativ vergleichbar, wobei noch die verschiedenen historischen Maßeinheiten für Längen und Massen den Vergleich erschwerten.

Preußen: Friedrich der Große ließ bei der Belagerungsübung 1752 bei Potsdam mehrere Rikoschett-Batterien gegen ein Polygon von dem Ingenieuroberstleutnant v. Balby anlegen[54]. Der König bestimmte in einer Instruktion, dass sich das Rikoschettfeuer nur auf den gedeckten Weg zu richten habe.[55]

In der in Berlin veröffentlichten Waffenlehre von 1828[56] wurde die Wahrscheinlichkeit des Treffens als sehr niedrig eingeschätzt. „Man darf höchstens ¼ der Kugeln auf dem Wall selbst annehmen, die 10te beschädigt vielleicht eine Lafette.“ Eine Statistik wurde jedoch nicht vorgelegt.

Großbritannien: Erst nach den napoleonischen Kriegen fanden von 1820 bis 1821 im Artilleriearsenal Woolwich unter Leistung der Obersten Frazer[57] und Dickson[58] systematische Versuche zu dem Rikoschettschuss statt[59]. Eingesetzt wurden eiserne 18- und 24-pfündige Kanonen, 10-, 8-, und 5 1/2 -

---

[50] Siehe Anhang, Ballistik bis zum ersten Aufschlag, Vakuum.

[51] Radowitz, Die Theorie des Rikoschetts, unabhängig von der Kenntnis der Flugbahn im widerstehenden Mittel betrachtet. 45. Der hochtrabende Titel hält allerdings nicht, was er verspricht, vergleiche mit Ottos Theorie des Rikoschettschusses, die eine Bewegungsgleichung integriert.

[52] Radowitz, 42.

[53] Siehe Abschnitt Wahrscheinlichkeit des Treffens.

[54] Malinowsky/Bonin: Artillerie, Bd. 2, Belagerungsübung 570-577; Toll,190.

[55] Malinowsky/Bonin: Artillerie, Bd. 3, Sr. Königlichen Majestät allergnädigste Instruktion für Dero Artillerie, den 3. Mai 1768, darin: Belagerung der Städte, 53ff., 69, 71.

[56] Waffenlehre, 181.

[57] Augustus Simon Frazer (1776-1835), britischer Artillerieoffizier

[58] Alexander Dickson (1777-1840), britischer Artillerieoffizier, bei Belagerungen auf der spanischen Halbinsel, zuletzt Major General

[59] Jones, Vol. 2, Note 33, 326.

zöllige Haubitzen und 68-pfündige Karronaden auf 400 yards (ca. 366 m) entfernte Erdwerke, in die ca. 2/3 der geworfenen Kugeln fielen. Bei einer Entfernung von 600 yards (ca. 550 m) war die Trefferquote mit 1/3 bis 1/5 erheblich geringer. Daraus wurde gefolgert, dass das Rikoschettfeuer über 400 yards nicht genügend wirkungsvoll wäre, und dass es oberhalb von 650 yards überhaupt ganz verboten werden müsse. Auf der anderen Seite wurde befunden, dass der Enfilierschuss mit voller Ladung bis 1800 yards (ca. 1700 m!) wirksam sei.

Frankreich: Scheel[60] berichtete von Versuchen bei Straßburg 1763[61] unter Gribeauval[62]sowie bei Douai[63] 1771 unter Vallière[64] fils. Bis 1774 wurde ein heftiger Disput der beiden Schulen, der Vallieristen[65] und Gribeauvalisten, ausgetragen, welches Artilleriesystem das Brauchbarere sei. Der artilleristische Wettstreit um die größte Reichweite wurde in aller Öffentlichkeit, meist unter den Augen allerhöchster Würdenträger des Ancien Régime ausgetragen, was dem freien wissenschaftlichen Diskurs und der Geheimhaltung nicht gerade zuträglich war, ging es doch um den Vorrang der Deutungshoheit, der Glaubwürdigkeit und der eigenen Stellung in der Gesellschaft[66]. Am Ende setzte sich die Schule von Gribeauval durch. Wie Robin schon ab 1742 nachwies[67], hätte die Bestimmung der Mündungsgeschwindigkeit v_o und des Luftwiderstandes weitaus mehr Erkenntnisse erbracht: So waren die Ergebnisse des Wettbewerbs aus ballistischer Sicht unergiebig.

Entfernungen im Gefecht

Unter Gefechtsbedingungen konnten die Entfernungen zum Ziel auf freiem Felde kaum exakt vermessen werden und wurden daher schnell und einfach nach Augenmaß geschätzt, da das Ziel praktisch immer direkt anvisiert werden konnte. Auf freiem Felde wurden die Entfernungen an Hand der Größe von Infanteristen und Reiter nach Augenmaß abgeschätzt, wozu z.B. Scharnhorst Anleitungen gab[68]. Maß aller Dinge war der sogenannte Kernschuss. Nur bei statischen Zielen konnten die Entfernungen mittels trigonometrischer Berechnungen oder zeichnerisch halbwegs befriedigend bestimmt werden.

Decker beschreibt den Reflektor[69], ein Spiegelinstrument ähnlich dem Sextanten, zur Bestimmung des Winkels für ein Dreieck, womit er beim Übergang von Wartenburg die Entfernung einer feindlichen Batterie vermaß. Allerdings dürften in der Praxis die einfachsten Methoden wie Abstecken weiter üblich gewesen sein (siehe Abschnitt Batteriebau).

Aufgrund der flachen, rasanten Kugelbahn, der nur wenige Mann großen Steighöhe (auch Flughöhe oder Scheitelhöhe) h_{max} war die genaue Entfernungsmessung in der Ebene nicht wirklich gefragt, da die hohe Kadenz der massierten Batterien die Wahrscheinlichkeit des Treffens und Wirkung des Feuers bestimmten. Die Wirkung gegen dichte Verbände wurde weiter durch den Rollschuss in der Ebene verstärkt. Auf Distanzen unter 500 Schritt kamen dann Kartätschen zur Anwendung.

Entfernungen bei Belagerungen

Anders verhielt es sich jedoch im Festungskriege, wo im flachen Terrain für den Belagerer in der ersten und zweiten Parallele gewöhnlich nur die Brustwehren der Festung sichtbar waren. Die beste Wirkung des Enfilier- und Rikoschettfeuers war zu erwarten, wenn die Kugel unmittelbar hinter der Brustwehr in dem Wallgang oder dem gedeckten Weg aufschlug, was eine Kenntnis der Entfernung und des Aufzugs der Festungswerke über dem Horizont (Profil) voraussetzte (siehe Abbildung 3 und beim Batteriebau, Abbildung 5).

Der erste Grundsatz war, dass die Lage der Rikoschettbatterie das Enfilieren ermöglichte, und dass die Ziele unterhalb von ca. 800 Schritt liegen sollten. Die effektive Entfernung von Rikoschett-

---

[60] Scheel, Artillerie, 3° Moins de ricochet, 227ff. Auch hier wird Enfilierschuss als Rikoschettschuss mit voller Ladung bezeichnet.

Heinrich Otto v. Scheel (1745-1808), dänischer Oberstleutnant und später preußischer Generalmajor sowie erster Leiter der Ingenieurakademie in Potsdam

[61] Vallière, 21-22. Es wird bei den Versuchen von 1740 nur der Einfluss der Ladung auf die Reichweite eines 24.Pfünders bei fixer Elevation von 4° untersucht.

Florent-Jean de Vallière (1667-1759), französischer Artillerieoffizier, Förderer der Standardisierung der franz. Artillerie unter Ludwig XV.

[62] Jean-Baptiste Vaquette de Gribeauval (1715-1789): französischer Artillerieoffizier, Reorganisation der Feld- und Festungsartillerie nach dem Siebenjährigen Krieg in dem nach ihm benannten „System Gribeauval“. Ab 1774 „directeur général de l'artillerie“,

[63] Dupuget, Procès-verbal des épreuves faites à Douay.

[64] Jean-Florent de Vallière, père (1667-1759): Generallieutenant der Artillerie, Reorganisation und Vereinheitlichung der Artillerie im System Vallière; Joseph-Florent de Vallière, fils (1717-1776): Zuletzt „directeur général de l'artillerie“, er erreichte 1772 die nochmalige Einführung des Systems Vallière, welches dann endgültig 1774 vom System Gribeauval ersetzt wurde.

[65] Die Valliereristen vertraten den Standpunkt, dass zu viele Parameter die Kugelbahn beeinflussten, so dass die ballistische Theorie niemals in der Lage sein werde, diese vollständig zu erfassen.

[66] Alder, 101ff.

[67] Alder, 105.

[68] Scharnhorst: Taschenbuch, Anhang, 16.

[69] Decker: Das militairische Aufnehmen, §86.

Batterie und Brustwehr, die längs zu bestreichen war, konnte präzisen Lageplänen entnommen oder konnte vor Ort mittels indirekter Messungen bestimmt werden: Dies waren entweder einfache Winkelmessinstrumente wie der Graphometer, Spiegelinstrumente wie der Reflektor (s.o.) oder der katoptrische Zirkel, der Messtisch oder einfache geometrische Operationen mit Stäben auf der Basis der kongruenten Dreiecke (Abstecken).[70] Die Entfernungen im Vorfeld der Festungen wurden immer nur abgeschritten, daher wurden die Entfernungen stets in Schritt angegeben.

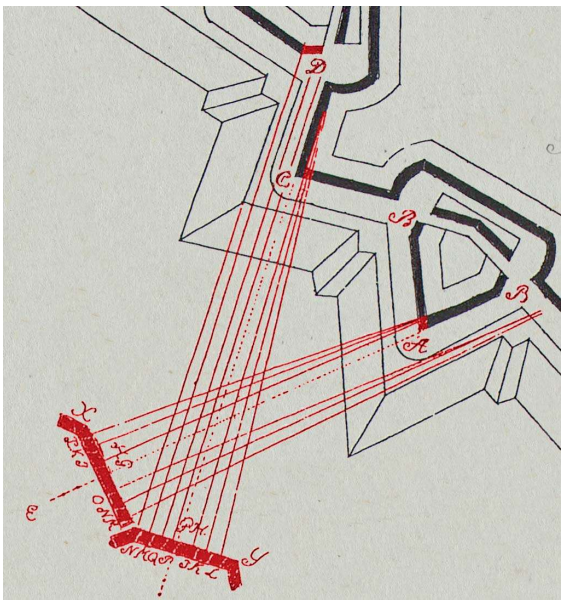

Abbildung 5: Batterien bei einer förmlichen Belagerung: Die untere Rikoschett-Batterie wirkt auf die Facen CD der Bastion und den davorliegenden gedeckten Weg, die linke Batterie auf die Face AB des Ravelins sowie dessen gedeckten Weg. Bei einer Rikoschettbatterie konnten höchstens 1-2 Geschütze im Abstand von 18 bis 20 Fuß neben einander stehen, um den schmalen Wallgang wirkungsvoll zu enfilieren. Die übrigen Kanonen beschießen den Wallgang in schräger Richtung, jedoch höchstens bis 5° (Neander, 14). Die untere Batterie könnte auch als Demontierbatterie eingesetzt werden, da sie parallel zur Face CB steht. (Schusslinien nicht eingezeichnet). (Rouvroy, Batteriebau, Fig. 51).

Batteriebau in den Parallelen

Die Enfilierbatterien kamen gewöhnlich zusammen mit den Demontierbatterien bei förmlichen Belagerungen in der ersten Parallele zum Einsatz[71], weniger in der zweiten Parallele, wie das bis 1800 der Fall war. Die Rikoschettbatterien der zweiten und dritten Parallele, welche ebenfalls die Facen und gedeckten Wege enfilieren sollten, wurden im rechten Winkel zu dem Alignement (Verlängerungslinie) angelegt, während die Demontierbatterien parallel zu den Facen lagen (siehe Abbildung 5)[72]. Im Allgemeinen galt die Regel, dass mit abnehmender Entfernung der Rikoschett-Batterien die Pulvermengen laut Lombards Schusstafeln vermindert werden sollten, damit der Einfallwinkel weiter steil gehalten werden konnte.

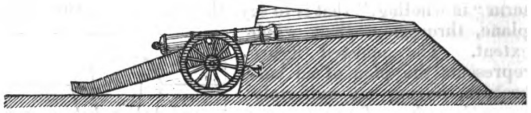

Abbildung 6: Schnitt durch eine aufwärts geneigte Rikoschett-Scharte einer horizontalen Belagerungsbatterie. Für den Verteidiger war die Lage dieser Scharte nur schwer erkennbar, im Gegensatz zu den normalen Kanonenscharten, die scharfe Schatten warfen. (Pasley, II,12).

Rohre und Kaliber

Huguenin[73] bemerkte zu Kanonen, dass sich schwere Kaliber und große Kaliberlängen (also z.b. schwere 12-Pfünder mit 18-Kaliberlängen) für den Rikoschettschuss besser eigneten als die leichteren Feldgeschütze mit leichteren Kalibern und kürzeren Rohrlängen. Größere Kaliber erlitten bekanntlich weniger Luftwiderstand und längere Rohre erhöhten die Genauigkeit des Schusses[74]. Die größeren Kaliber gruben sich obendrein beim Aufschlag weniger ein und verloren weniger an Geschossenergie. Dennoch setzten sich die kürzeren Rohre für den Rikoschettschuss aus praktischen Erwägungen, d.h. für die kurzen Distanzen und die hohe Elevation, durch.

Die 7- und 10- pfündigen Haubitzen waren bei der Feldartillerie üblich, bei den Belagerungen die 25- und 50-pfündigen Haubitzen, die jedoch als sehr schwerfällig galten[75]. Der kurze Flug[76] der Bombe verursachte eine größere Streuung des Wurfes als der Kanonenschuss.

Lafettenkonstruktion

Die maximale Elevation bei gewöhnlichen Batteriestücken[77] der Kanonen betrug in etwa 8°; daher waren diese im Allgemeinen für den Rikoschettschuss in der Ebene verwendbar. Sollten steilere

[70] Praktizierte Methoden in der Hälfte des 18. Jahrhunderts, siehe z.B. Hogrewe.

[71] Hoyer, Kriegsbaukunst, Bd. 3, 19ff; Hoyer, Kriegsbaukunst, Belagerung und Verteidigung, §508.

[72] Rouvroy, Batteriebau, §21, 46; §14, 116.

[73] Ulrich Huguenin (1755-1833), niederländischer Artillerieoffizier, General, Direktor der Kanonengießerei Lüttich bis 1830

[74] Huguenin, 19.

[75] Müller, 7.

[76] Länge des Haubitzrohrs in Kalibern gemessen, in etwa 3-4-fach.; Summerfield, 175.

[77] Belagerungslafetten, i.a. mit weniger Beschlägen und kleineren Rädern.

Elevationen gegen hochgelegene Festungswerke angewendet werden, so musste der Lafettenschwanz eingegraben werden, um eine Elevation bis zu 18° zu erreichen[78]. Der fehlende Rücklauf beschädigte jedoch oft die Pfannen. Die Haubitzen erlaubten konstruktionsbedingt eine Elevation bis ca. 20°.

Richtverfahren und Ladung

Nach dem Batteriebau wurde das Ziel durch Einschießen noch präziser erfasst. Beim Rikoschettschuss wurde die Reichweite durch die Elevation oder variable Pulverladungen wie bei den Mortieren bestimmt. Wegen der geringen Ladungen liefen die Geschütze kaum zurück, so dass diese meist nicht mehr neu gerichtet werden mussten.

Beim Enfilierschuss konnte dagegen die kartuschierte Munition mit 1/3- bis ½-kugelschwerer Ladung verwendet werden. Wegen des starken Rücklaufs mussten die Geschütze stets neu gerichtet werden.

Für die Haubitzen waren erheblich geringere Ladungen üblich, beispielsweise also bei einer 18-pfündigen Haubitze eine 1/14 bombenschwere Ladung bei 5° Elevation auf 700 Schritt oder bei 10° Elevation eine 1/32 bombenschwere Ladung auf 700 Schritt.[79]

Die in der Folge verminderte Kadenz (Feuergeschwindigkeit) war dann unerheblich, da die präzise Ausrichtung und die Beobachtung entscheidend waren.

Die *Seitenrichtung* der Kanonen und Haubitzen wurde über Kimme und Korn der Boden- und Kopffriesen eingestellt, bei steileren Elevationen auch mit dem Lot wie bei den Mortieren oder Haubitzen, sowie Absteckungen über der Brustwehr bei nicht sichtbaren Zielen.

Höhenrichtung: Elevationen bzw. Richtwinkel wurden mit dem Aufsatz[80] oder Quadranten bestimmt. Der Richtwinkel oder die Elevation β ist bis auf ca. ½ Grad genau durch den Richtquadranten zu bestimmen.

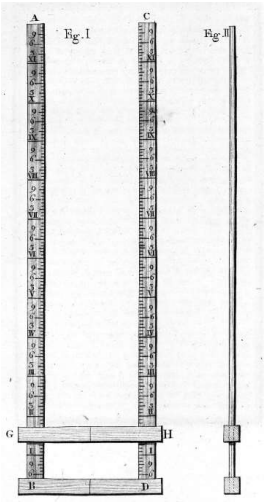

Abbildung 7: Aufsatz von 1787 nach dem System Gribeauval mit Zolleinteilung (pouces). Das Zoll ist wiederum jeweils in 12 Linien geteilt. Die Winkelmessung wird also durch die wesentlich genauere und sicherere Streckenmessung ersetzt, welche jetzt aber von der Geometrie des Geschützrohres abhängt (Lombard, Tables du tir, 4)

Feuerbeobachtung: Es bleibt in den Quellen unklar, wie das Treffen und die Wirkung des Rikoschettschusses direkt beobachtet werden konnten, obwohl Vauban selbst bestätigte, dass die Kugel vom Abschuss bis zum Aufschlag hinter der Brustwehr mit bloßem Auge verfolgt werden könnte[81]. Der Geschützführer oder Batteriechef konnte nur die Wirkung in Längsrichtung beobachten, d.h. ob die Kugel zu kurz auf dem Vorfeld oder auf bzw. hinter der Brustwehr einschlug. Inwieweit die Kugel hinter der Brustwehr tatsächlich rikoschettierte, war von seiner Position in der Ebene kaum einzuschätzen. Gegebenenfalls konnte die Wirkung seitlich von einer dominierenden Höhe beobachtet werden, in der Ebene blieb die Wirkung allerdings verborgen, da Glaciskamm oder Brustwehr die Ziele verdeckten. Aus diesem Grunde konnte die Wirkung des Rikoschettfeuers eigentlich nur unter Versuchsbedingungen näher bestimmt werden.

Wahrscheinlichkeit des Treffens

Die Versuchsanordnung von Scharnhorst sah vor, dass eine quadratische Zielfläche bei einer vorgegebenen Entfernung mit dem ersten Aufschlag zu treffen sei, also z.B. sollte die Bombe einer Haubitze auf 1000 Schritt in ein Quadrat von 6 x 6 Fuß fallen. Es traf dann etwa nur jeder zwölfte Wurf das Quadrat.[82] Um also einen Wallgang oder einen gedeckten Weg mit größerer Wahrscheinlichkeit zu treffen, mussten die Distanzen vermindert werden.

[78] Hoyer, Kriegsbaukunst, Bd. 3, 21.

[79] Huguenin, 8-9. Nach Scharnhorst.

[80] In Frankreich 1763 mit dem System Gribeauval eingeführt.

[81] Huguenin, 5.

[82] Borkenstein, 103, §446: „Wahrscheinlichkeit des Treffens“.

Bei den Versuchen mit den Rikoschettschüssen wurden deshalb die Dimensionen der Wallgänge und gedeckten Wege zugrunde gelegt, d.h. also „37,5 m resp. 75 m Länge, bzw. 7,5 m resp. 18 m Breite.“ [83] (siehe oben, Versuche in Woolwich).

Scharnhorst gab die Trefferwahrscheinlichkeit der Rikoschettschüsse wie folgt an:

Größe der Linien, die ricochettirt werden.	Entfern. der Ges. in Schr.	Wenn die Kugel vorher aufschlägt, so trift von der ganzen Anzahl der Schüsse	Wenn die Kugel nicht vorher aufschlägt, so trift von der ganzen Anzahl der Schüsse
bei einer 80 Schritt langen Linie	800	der 3te Schuß mit einem Aufschlag	der 2te Schuß
	400	von 2 Schuß 1 Schuß mit einem Aufschlag	der 4te Schuß
bei einer 160 Schritt langen Linie	800	von 6 Schuß 4, mit einem Aufschlag	der 6te Schuß
	400	jeder mit einem Aufschlag	der 2te Schuß
bei einer 300 Schritt langen Linie	800	von 3 Schuß 4 Aufschläge	der 3te Schuß
	400	von 1 Schuß 2 Aufschläge	jeder
bei einer 40 Schritt langen Linie	800	der 6te Schuß mit einem Aufschlag	der 24te Schuß
	400	der 4te Schuß mit einem Aufschlag	der 12te Schuß

jeder mit einem Aufschlag.

Tabelle 3: Wahrscheinlichkeit des Treffens auf eine Linie (Wallgang oder gedeckter Weg) mit dem Rikoschettschuss (Scharnhorst, Handbuch Artillerie, Band 1, §116 Wenn auf Fortifikationswerke gefeuert wird, 263).

Aus der Tabelle 3 lässt sich schließen, dass eine Trefferwahrscheinlichkeit von mindestens 1/6 angestrebt wurde, denn wenn nur jeder 12te oder 24te Schuss traf, wurde der Schuss als praktisch unwirksam angesehen. Der Nachteil dieser Methode war, dass die Schießversuche für jede veränderte Zielfläche erneut wiederholt werden mussten.

Ab 1837 entwickelte der preußische Artillerieoffizier Otto[84] eine graphische Methode zur Auswertung der Trefferstatistik für die Seiten- und Längsstreuung, deren Ergebnisse u.a. in die Schusstafeln des kurzen 24-Pfünder und der 7-pfündigen Haubitze eingingen. Die Streuung der Aufschläge wurde mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung analysiert. „Die Trefffähigkeit müsse so ausgedrückt werden, dass es möglich sei, […] die Anzahl der Treffer abzuleiten, welche bei fortgesetztem Schießen in ein Ziel von ganz beliebig gegebenen Abmessungen gefallen sein würden.“ [85]

Man musste also eine Statistik erstellen, bei welcher „der Punkt der dichtesten Gruppierung“ [86] für den mittleren Treffpunkt erklärt wurde. Erst für die Zeit nach ca. 1830 scheinen entsprechende Schießlisten von den Artillerieversuchen, die sich für statistische Auswertungen eigneten, geführt worden zu sein.

Beispiel: Die Schießliste 1855 von Otto[87] mit 40 Schüssen wurde vom Autor statistisch ausgewertet: Bei einer mittleren Reichweite von 1612 Schritt (ca. 1200 m) ergab sich eine beträchtliche Abweichung von plus minus 163 Schritt (122 m) und eine seitliche Abweichung von plus minus 26 Schritt (ca. 22 m) von der Schussachse. Innerhalb des lang gestreckten Abweichungsrechtecks 26 x 163 Schritt hätten nur 26 von 40 Schuss gelegen. Wäre nach Scharnhorst eine kleine Zielfläche von 20 x 20 Schritt um die mittlere Reichweite gewählt worden, so wären überhaupt keine Treffer gezählt worden.

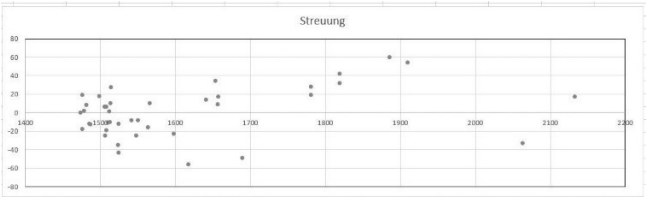

Abbildung 8: Schießliste mit starker Streuung. Etliche Ausreißer der gemessenen Reichweiten (erster Aufschlag) liegen weit über 1700 Schritt, weitere Ausreißer der Seitenrichtung liegen über 30 Schritt. Die Gruppierung der meisten Treffer liegt bei ungefähr 1500 Schritt, der Mittelwert aber bei 1612 Schritt. Eine zufällige Verteilung um den Mittelwert ist also nicht gegeben. (Otto, Archiv 39, 247)

Daraus folgte, dass erstens die Seitenrichtung weitaus kleineren Streuungen unterworfen war als die Reichweite, dass zweitens die Gruppierung der Schüsse entscheidend war und dass drittens für eine verbesserte Wahrscheinlichkeit des Treffens die Entfernung zum Ziel bedeutend verringert werden musste. Angesichts der starken Streuung des ersten Aufschlags musste also eine verbesserte Treffergenauigkeit des Wurfs das Ziel sein.

Anwendung und Wirkung

Kanonen

Der Hauptzweck des Rikoschettschusses bei den Kanonen war das Enfilieren des Wallgangs bzw. gedeckten Weges, d.h. das Demontieren von Geschützen, das Umwerfen der Palisaden und die Vertreibung der Besatzung[88]. Die springenden Vollkugeln und Bomben zwangen die Besatzung in

[83] Müller, 66.

[84] Jacob Christian Friedrich Otto (1795-1869), Artillerieoffizier aus dem Mannschaftsstand, zuletzt preußischer Generalmajor und Direktor der Pulverfabrik in Spandau, zahlreiche Veröffentlichungen zur Ballistik. Priesdorf: Band 7, S. 269–270, Nr. 2287.

[85] Müller, 66.

[86] Otto, Band 39, 246.

[87] Zum Beispiel, Otto, Band 39, 247.

[88] Lyautey, Sciences militaires, 1826, 442; Hoyer, Kriegsbaukunst, Bd. 3, 21.

Deckung, eventuell sogar die enfilierten Werke zu verlassen. Aufgrund der verminderten kinetischen Energie waren die Kugeln nach dem ersten Aufschlag weder in der Lage, Traversen oder Balkendeckungen zu durchschlagen noch Schanzkörbe umzuwerfen, „weil die Ricoschet-Kugel nicht den zehnten Teil der Kraft habe, mit der sie abgeschossen…“[89]. Daher lehnten die meisten zeitgenössischen Autoren den ersten Aufschlag auf dem Glacis ab; nur Scharnhorst befürwortete ihn bei kurzen Linien, so dass der zweite und dritte Aufschlag innerhalb der Linie liegen sollten (siehe Tabelle 3, dritte Spalte und s.u., Scharnhorsts Regel a).

Der Verlust an Geschwindigkeit und damit der Geschossenergie konnte teilweise auch durch höhere Kugel-Masse ausgeglichen werden: Wenn z.B. 50% der Translationsenergie (Geschossenergie) bei dem ersten Aufschlag verloren ging, dann hatte z.B. eine 24-Pfünder-Kugel nach dem ersten Aufschlag noch die Energie einer 12-Pfünder-Kugel. So ist zu erklären, weshalb größere Kaliber beim Rikoschettieren bevorzugt verwendet werden sollten. Mit anderen Worten, die Wirkung des Rikoschettschusses war hauptsächlich dem ersten Aufschlag zu verdanken.[90]

Scharnhorst definierte folgende Regeln[91]:

a) Kleine Werke mit kurzen Linien und niedrigem Aufzug: Hier sollte die Kugel vor den Werken aufschlagen, wie z.B. beim gedeckten Weg, Schanzen etc.
b) Hohe Werke ohne Traversen, mit Geschütz auf dem Wallgang, welches über die Bank feuerte. Diese Geschütze sollten auch gleichzeitig mit einer Demontierbatterie bekämpft werden, vorzugsweise bei einer Entfernung von 500-600 Schritt.
c) Bei Entfernungen über 800 Schritt bediente man sich besser der Enfilierschüsse mit voller Ladung.

Dazu mussten auch das Terrain, das Tracé der Festung und die Entfernung den Bau der Rikoschett-Batterien begünstigen, was ausführlich bei Lyautey[92] beschrieben wurde.

Daraus folgt, wenig überraschend, dass die Wahrscheinlichkeit des Treffens umso größer war, je länger die zu enfilierende Linie war und desto kürzer die Entfernung war.

Haubitzen

Bis etwa 1740 war der Rikoschettschuss auf Kanonen allein beschränkt. In Preußen wurden die ersten, wenigen Stücke ab 1680 in Berlin gegossen[93]. Allerdings wurden die Haubitzen erst ab 1743 in größerer Stückzahl für die preußische Feldartillerie[94] angeschafft. Für die Berechnung der Kaliber wurde die 7- bzw. 10-pfündige Steinkugel zugrunde gelegt. Bei der österreichischen Belagerungs- und Festungsartillerie wurden ab 1753 die 7-, 10- und 12-pfündige Haubitzen parallel zu den 7-pfündigen Feldhaubitzen nach Liechtenstein[95] eingeführt.

Bei der französischen Artillerie meldet Le Blond für das Jahr 1732 die ersten Versuche mit Haubitzen von der Artillerieschule Straßburg[96]. Hier handelte es sich zunächst um hängende Mörserrohre, die auf Stück-Lafetten gesetzt wurden und unter Vallière als 8-zöllige Haubitzen eingeführt wurden[97]. Ab 1749 wurden die ersten Haubitzröhren in Douai gegossen[98].

Die späteren Lafetten wie die der Systeme Gribeauval, Holtzendorf, Dieskau, Liechtenstein etc. waren für die Haubitzrohre konstruiert und konnten bis auf ca. 20° Bomben werfen. Als zweckmäßige Elevation für den Rikoschettschuss wurden 8-12° empfohlen, damit die Bombe noch „einige schlechte Sprünge“ machen könne.

Bei Belagerungen wurden schwere Kaliber bevorzugt, z.B. 25-pfündige Haubitzen in Preußen 1838, und die 50-pfündige Haubitzen ab 1847[99]. In Frankreich war dies die 8-zöllige Haubitze[100], entsprechend einer ca. 26 pfündigen Bombe. Die 7- und 10-pfündigen Haubitzen wurden auch gegen Feldbefestigungen eingesetzt.

Taktik

In taktischer Hinsicht sollte ein beständiges Rikoschettfeuer den Belagerten fortwährend beunruhigen. Auf dem Glacis liegende Rikoschettbatterien hatten sich ebenfalls der stark streuenden groben Kartätschen bedienen. Vor dem Sturm mussten die Rikoschettbatterien ein sehr heftiges Feuer machen, um die Besatzung aus den enfilierten Werken zu vertreiben. Wenn einmal die passende Elevation und Ladung gefunden war, so sollte die Richtung durch genagelte Latten auf der Bettung markiert

---

[89] Böhm, Versuch einer Geschichte, 343.

[90] Müller, 82.

[91] Scharnhorst, Handbuch, Band 1, §118 266.

[92] Lyautey, Sciences militaires, 1826, 468.

[93] Malinovsky/Bonin, Artillerie II, 40-42.

[94] Malinovsky/Bonin, Artillerie II, 84.ff.

[95] Dolleczek, 297.

[96] Le Blond, Artillerie, 162ff. Die Werfung der Bomben, Sprungweise oder à Ricochet.

[97] Urtubie, Manuel, 76.

[98] Hoyer, Wörterbuch Artillerie, F-J, 212.; Susane, Louis: Histoire de Artillerie francaise, Paris 1874, 168.

[99] Archiv für die Offiziere der königlich preußischen Artillerie- und Ingenieurcorps, 4. Jahrgang (1838), Band 7, 104.

[100] Summerfield, Napoleonic Artillery, 175.

werden, um auch in der Nacht die Richtung beizubehalten[101].

Es ist aus den zeitgenössischen Aussagen zu folgern, dass – modern ausgedrückt - der Rikoschettschuss auf der einen Seite präzise auf die Punktziele - wie Geschütze und Palisaden - und auf der anderen Seite als streuendes Störfeuer zur Beunruhigung der Besatzung wirken sollte. Für das Störfeuer war sogar eine gewisse Streuung des ersten Aufschlags längs des Wallgangs bzw. gedeckten Weges erwünscht, die sich praktisch allein als Folge der Streuung der Parameter, wie v_o, Einstellung der Elevation, Seitenwind, Pulverqualität- und Menge, Kugelmasse etc., einstellte. Für die Punktziele war der Rikoschettschuss – im Gegensatz zum Demontierschuss mit gestreckter Kugelbahn – eigentlich nicht präzise und wirksam genug, was nur durch massiven Materialeinsatz ausgeglichen werden konnte (s.o. Abschnitt zur Wahrscheinlichkeit des Treffens). Nach dem ersten Aufschlag und weiteren Sprüngen war die Kugelbahn ohnehin nicht näher zu bestimmen, so dass der Rikoschettschuss auch hier als Störfeuer wirkte.

Unbestritten war, dass ein wirksamer Rikoschettschuss viel Erfahrung seitens der Artillerieoffiziere und Kanoniere voraussetzte, was besonders für die französische Artillerie galt.

Bauliche Gegenmaßnahmen bei der Konstruktion der Festungswerke[102]

Die der Rikoschettbatterie zugewandte Brustwehr gab den Belagerten also keinen Schutz mehr vor dem indirekten, enfilierenden Rikoschettschuss, welcher auf den gedeckten Weg und den Wallgang gerichtet wurde. Die ausspringenden Bastionswinkel auf den Wällen wurden daher „bonnettiert“, d.h. mit hohen, die Brustwehr überragenden Traversen versehen. Die Traversen auf den Bastionen zwischen den Geschützbettungen auf der Bank und entlang der Kapitale minderten die Wirkung des Rikoschettfeuers; eine weniger massierte Aufstellung der Artillerie auf der Face war jedoch der Preis, der dafür zu zahlen war.[103] Im Wallgang zwischen den Geschützen provisorisch aufgestellte Schanzkörbe waren ebenfalls ein wirksamer Schutz. Nur vollständig kasemattierte Batterien[104] konnten dem Rikoschett- und Enfilierfeuer entzogen werden.

„Die Wirkung dieser [Rikoschettier-]Batterien ist, wenn der Vertheidiger keine Traversen auf seinen Wällen angelegt hat, der Erfahrung zu Folge sehr schnell, indem sie dann in kurzer Zeit die feindlichen Geschütze demontiren; allein ist ein Wall mit Traversen versehen; so können die Ricochetier-Batterien den zunächst an diesen Traversen stehenden Geschützen nichts anhaben, und vermögen folglich dann nicht, das Festungsgeschütz zum Schweigen zu bringen.[105]“

Es musste jetzt Ziel des Rikoschettfeuers sein, die Traversen zu zerstören oder die Zwischenräume zwischen den Traversen zu treffen.[106]

Blesson[107] merkt auch bei der Belagerung der nordfranzösischen Festungen 1815 an, dass kurioserweise „die Bäume auf den französischen Wällen auch sehr die Wirkung [der Rikoschettschüsse] verringerten.“ Allerdings waren üblicherweise die Wälle rasiert, d.h. sie waren nach der Armierung frei von Bewuchs.

Die Traversen im gedeckten Weg dienten als Schützenauftritte und auch zum Schutz vor dem Rikoschettfeuer (siehe Abbildung 10). Die Traversen konnten allerdings nicht verhindern, dass der Wallgang en revers (von hinten) bestrichen werden konnte. Eine sägezahnförmige Führung (en cremaillière) der Feuerlinie minderte ebenfalls dessen Wirkung.

Weitere Maßnahmen waren verkürzte Linien, z.B. auf 40 Schritt, die nur dem ersten Aufschlag ausgesetzt waren, oder eine gekrümmte Führung des Wallgangs und überhaupt aller Wälle, die sich jedoch als neue Manier nicht durchsetzen konnte (siehe z.B. Schneider, Abbildung 9).

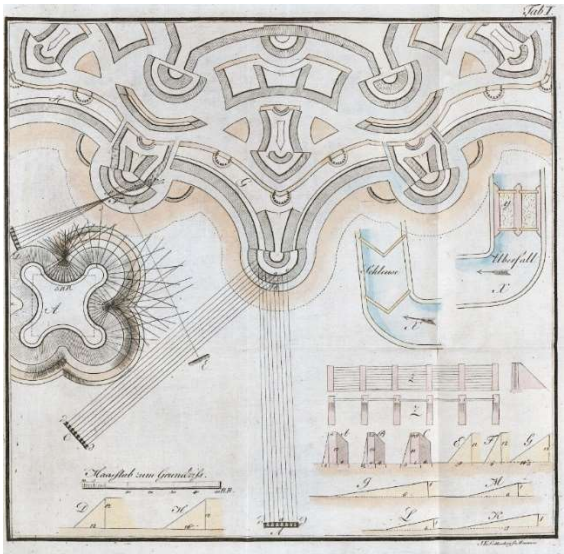

Abbildung 9: Entwurf eines gekrümmten Tracés von 1815 gegen Enfilieren und Rikoschettieren. Dieses Tracé

[101] Hoyer, Artillerie, Bd. P-Z, 104-105.

[102] Hauser, Befestigungskunst, §820 Aufzug der Festungsfronten überhaupt, 555.

[103] Hoyer, Kriegsbaukunst, Bd. 3, 21:

[104] Haxo-Batterien, zuerst 1811 in Danzig vom französischen Ingenieurgeneral François Nicolas Benoît Haxo (1774-1838) eingeführt.

[105] Hauser, §518, 338.

[106] Müller, 82.

[107] Blesson, Festungskrieg, 172.

mindert zwar die Wirkung des Bestreichens längs der Linien (siehe Schusslinien), behindert aber auch das effektive Flankieren der Vorwerke, was also eine Lösung auf Kosten der Nahverteidigung gewesen wäre. (Schneider, Tab. I).

Ab ca. 1830, mit der Fortentwicklung der modernen polygonalen Tracés, wurden Rikoschett- und Enfilierschuss immer weniger wirkungsvoll oder sogar unmöglich. Bei der förmlich angegriffenen Fronte einer Festung stellte sich jetzt ganz einfach die Frage, war sie rikoschettierbar[108] oder nicht?

Eine weitere taktische Lösung war, die dem Rikoschettschuss ausgesetzten Linien nur mit mobilen Feldgeschützen zu besetzen, die wechselnde Positionen einnehmen konnten und auch nachts eingefahren wurden[109].

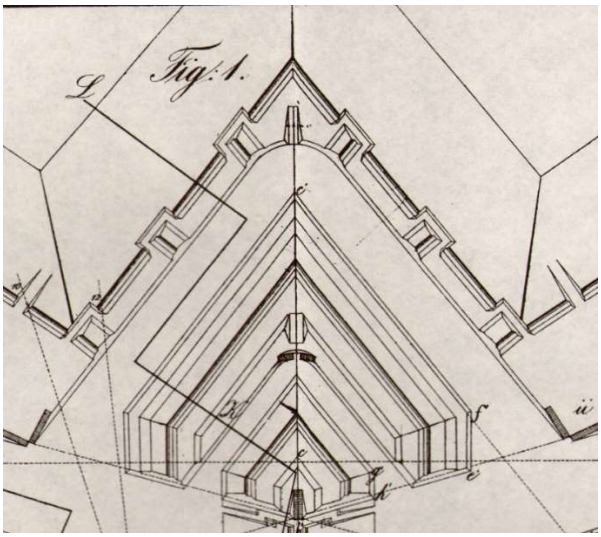

Abbildung 10: Traversen mit Schützenauftritt auf dem gedeckten Weg vor einem Ravelin (Zastrow, Tafel VII, Fig. 1, Vaubans III. Manier).

Beispiele aus den förmlichen Belagerungen vom 17. bis zum 19. Jahrhundert

Die Erfindung des Rikoschettschusses liegt im Dunkeln. Laut Decker und Böhm[110] hat Moretti schon 1672 den Rikoschettschuss beschrieben. Es scheint aber, dass der Rikoschettschuss auch schon von den Spaniern bei den Belagerungen von Harlem 1572 und von Gravelines 1644 angewendet worden ist[111].

[108] Lyautey, Sciences Militaires, IV, 445-446.

[109] Lyautey, Sciences Militaires, IV, 445ff.

[110] Decker, Zeitschrift für Kunst, 42 (1), 142; Böhme, Versuch einer Geschichte, 324.

[111] Leber, 440. Dort wird der Gellschuss (springende Schuss) schon 1529 schon für die Legestücke genannt, er wird allerdings noch nicht enfilierend angewendet. Der sehr unsichere Bricole-Schuss entsteht durch Abpraller an einer Wand und trifft sozusagen über Eck.

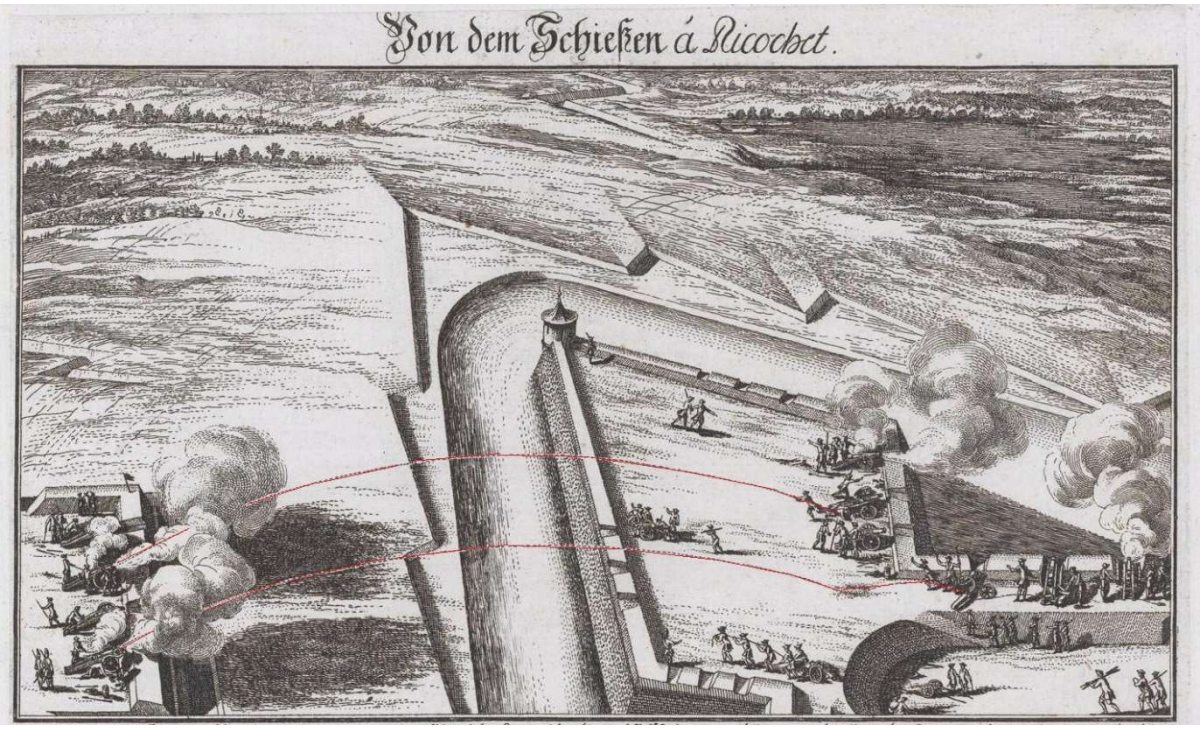

Abbildung 11: Rikoschettschuss aus der Kavaliersperspektive gesehen: Das obere Geschütz nimmt die Flankenbatterie einer Bastion im Rücken (en revers), und das untere Geschütz enfiliert die Geschütze auf dem Wallgang der Kurtine. Die rote punktierte Linie zeigt die rikoschettierende Kugelbahn, wobei das erste Geschütz auf der Kurtine schon einen Treffer erleiden musste. (Gesellschaft der Konstabler und Feuerwerker in Zürich, 1774, wohl nach einer älteren Vorlage aus dem 17. Jahrhundert).

Frankreich[112]: Vauban gilt dennoch als Namensgeber sowie erster systematischer Anwender des Rikoschettschusses. Er hatte diesen zuerst bei den Belagerungen von Philippsburg und Mannheim 1688 erprobt[113], und dann weiter bei der Belagerung von Ath 1697 weiter perfektioniert.

„Als Vauban die Belagerung von Ath leitete, ersann er den Ricochet, und wendete ihn gegen die Festungswerke an. Die Belagerten wußten natürlich nichts davon. Daher hatten sie, wie es bis dahin der Gebrauch war, fast ihr ganzes Geschütz auf die Wälle gebracht. Auf einmal aber erschienen Batterien, aus denen auf eine bisher unbekannte Art, und mit einer so großen Wirkung geschossen wurde, dass das Geschütz auf den angegriffenen Werken, zum Erstaunen und Entmuthigung der Besatzung, in weniger als zweimal Mal 24 Stunden unbrauchbar, daher die Festung ihres stärksten Verteidigungsmittels schon in den ersten Tagen beraubt wurde. Bei solchem unmöglich vorherzusehen gewesenen und höchst niederschlagenden Verluste, ist es kein Wunder, dass die Verteidigung nur von kurzer Zeit sein konnte.“[114]

Hoyer nennt Le Quesnoy 1712 im Spanischen Erbfolgekrieg als weiteres Beispiel[115], wo die Artillerie des Herrn Vallière alle Geschütze auf den Wällen binnen 24 Stunden unbrauchbar machte. Allerdings lässt sich meist nicht klären, ob Enfilier- oder eigentliche Rikoschettbatterien eingesetzt wurden.

Die 8-zölligen Haubitzen wurden erstmals mit großem Erfolg bei den Belagerungen von Bergen-op-Zoom 1747 und Maastricht 1748[116] im österreichischen Erbfolgekriege eingesetzt.

Die Belagerung von Peschiera 1801[117] im Oberitalienfeldzug kennt ebenfalls französische Rikoschettbatterien.

Auf der iberischen Halbinsel werden 1809-1812 die französischen Belagerungen von Olivenza,

[112] Siehe Vala für weitere französische Belagerungen 1648-1811

[113] Lyautey, Sciences Militaires, IV, 442, Fußnote 1.

[114] Belagerung von Ath, 169, in: (Österreichische Militärische Zeitschrift, 1. Band, 1-3. Heft, Wien, 1820, 334.

[115] Hoyer, Kriegsbaukunst, Bd. 3, 22; Böhm, Versuch einer Geschichte, 326.

[116] Urtubie, Manuel, 77.

[117] Cuvillers, Étienne-Félix Hénin de (baron d'): Journal historique des opérations Militaires du siège de Peschiera: et de l'attaque des retranchements de Sermione commandés par le général de division Chasseloup Laubat, inspecteur général commandant en chef du génie à l'armée d'Italie... suivi d'une note sur la maison de campagne de Catulle située à l'extrémité de la presqu'île de Sirmione, 1801.

Badajoz, Campo-Mayor[118], Tarragona[119], Tortosa und Saragossa[120] genannt.

1832 wurden bei der Belagerung von Antwerpen Rikoschettbatterien für Haubitzen erbaut[121]. Bei Sewastopols Belagerung 1854-55 wurden einige, den Hauptangriff sehr wirksam unterstützende Rikoschettbatterien mit Haubitzen errichtet, denn offenbar begünstigten Terrain und Tracé ihren Bau[122].

Österreich: Die erste Rikoschett-Batterie mit 5 Stücken kam 1716 bei der Belagerung von Temeswar (Temeschburg, Timișoara) [123] zum Einsatz. Im Türkenkrieg 1789 wurden bei der Belagerung der Festung Gradisca (Gradiška)[124] zwei Rikoschettbatterien gebaut.

Der k.k. Artillerie-Generalmajor Unterberger[125] berichtet bei der Belagerung von Valenciennes[126] im Jahr 1793 von vier Rikoschettbatterien in der zweiten Parallele. Rikoschettbatterien wurden 1799 extensiv bei der Belagerung von Turin und Alexandria eingesetzt: So waren es vor Turin allein 13 Rikoschettbatterien[127] von insgesamt 22 Belagerungsbatterien!

Bei den Belagerungen von Hüningen durch die Österreicher 1796, 1814 und 1815 sind ebenfalls Rikoschett-Batterien nachgewiesen.[128]

Großbritannien: Die spektakulären Belagerungen von Louisbourg 1758, Belle Île 1761 und Havanna 1762 hatten keine Rikoschettbatterien erfordert. In den Koalitionskriegen ab 1792, bis zum Feldzug auf der iberischen Halbinsel 1808-1814, stellte sich nicht die Aufgabe ausgedehnter förmlicher Belagerungen, daher kam bis dahin der Rikoschettschuss nicht zum Einsatz. 1811 bei Badajoz hatten die erstmals eingesetzten „enfilading batteries à ricochet“ nur einen geringen Effekt[129]. Vor Ciudad Rodrigo[130] kamen ebenfalls Rikoschett-Batterien zum Einsatz.

Eine Rikoschettbatterie wurde anscheinend zum letzten Mal bei der Belagerung von Sewastopol 1854-55 erbaut[131].

Preußen: Die schlesischen Kriege und der Siebenjährige Krieg kennen zahlreiche Belagerungen mit dem Einsatz von Rikoschettbatterien[132], die Belagerungen von Schweidnitz und Olmütz[133] 1758 nennen erstmals 10-pfündige Haubitzen.

Bei der letzten Belagerung von Schweidnitz[134] 1762 kamen 3 Rikoschettbatterien mit 7-pfündigen Haubitzen und Kanonen zum Einsatz. Von den Belagerungen des Siebenjährigen Krieges wird berichtet, dass die Rikoschettbatterien vor Olmütz überhaupt nicht den Erwartungen entsprochen hätten, und dass Graf Wilhelm von Schaumburg-Lippe[135] bei den von ihm geführten Belagerungen gegen Münster und Kassel kein einziges Mal von Rikoschettbatterien Gebrauch gemacht habe.

Rikoschettbatterien mit Haubitzen und Kanonen wurden bei der förmlichen Belagerung in der ersten Parallele vor Mainz[136] im Juli 1793 angelegt.

Bei den preußischen „Schnell-Belagerungen“ im Sommer 1815 werden Rikoschettbatterien nur noch bei Maubeuge[137], Longwy und Mézières[138] erwähnt.

---

[118] Lamare, Jean-Baptiste-Hippolyte: Relation des sièges et défenses d'Olivença, de Badajoz, et de Campo-Mayor, en 1811 et 1812, par les troupes françaises de l'Armée du midi en Espagne, Anselin et Pochard, 1825; Belmas.

[119] Valazé, 60-61.

[120] Rogniat: Relation des Sièges de Saragosse et de Tortose, Paris: Magimel, 1814, 11.

[121] Relation du siège d’Anvers, 45: Batterie No. 3, 5, 7, 8. Es wird berichtet, dass die abgedeckten Geschütze der Bastion Toledo sich dem Rikoschettfeuer der Angreifer entzogen. 50.

[122] Ministre de la Guerre, 525. Batterie No. 17 und 23.

[123] Toll, Geschichte des Rikoschettschusses, 170.

[124] Politisches Journal, 2. Band, 7-12. Monatsstück, Hamburg, 1789, 850.

[125] Leopold Freiherr v. Unterberger, K. K. Feldzeugmeister (1734-1818), Artilleriegeneral und Militärschriftsteller

[126] Unterberger, Leopold von: Tagebuch der Belagerung und Bombardierung der französischen Festung Valenciennes 1793; Johannes Walch, 1796 und 1815, 27ff.

[127] The history of the campaigns in the years 1796, 1797, 1798, and 1799, Band 4, Turin: References to the approaches,148.

[128] N.N. Grundsätze der Strategie erläutert durch die Darstellung des Feldzuges von 1796 in Deutschland, III. Theil Geschichte des Feldzuges, Wien, 1814. 342; Schuster: Lehr und Handbuch der militärische Stylistik, Wien 1862; 138-140, darin: Tagebuch über die Belagerung der Festung Hüningen im Jahre 1815, Batterie Nr. 5 in der ersten Parallele mit 4 x 18pfündigen Kanonen auf dem rechten Rheinufer. Vermutlich war es eine Enfilier-Batterie.

[129] Jones, Vol. 2, Note 33, 326.

[130] Jones, Vol. 2, Note 33, 325ff. Dort wird auch kritisch die Wirkung des eigentlichen Rikoschettschusses und des Enfilierschusses verglichen.

[131] Reilly, 38.

[132] Malinowsky/Bonin: Artillerie, Bd. 3, 196ff.

[133] Malinowsky/Bonin: Artillerie, Bd. 3, 225, 229

[134] Malinowsky/Bonin: Artillerie, Bd. 3, 315ff.

[135] Scharrnhorst: Kriegswissenschaften, Band 3, Artillerie, 267.

[136] Denkwürdigkeiten des französischen Kriegs im Jahre 1793: Ersten Bandes erster Heft, Band 1, Wien, ca. 1795; Mainzer Belagerung, 32ff.

[137] Blesson, Festungskrieg, 41.

[138] Malinowsky/Bonin: Artillerie, Bd. 3, 282ff., 388ff.

Generell war den Belagerungsjournalen der Ingenieure[139] kaum zu entnehmen, welchen Beitrag die Rikoschettbatterien beim artilleristischen Angriff leisteten.

Poten schreibt, dass ab ca. 1830 nur noch kurze 24-Pfünder und 25-pfündige Haubitzen gegen den gedeckten Weg gebraucht wurden; das Tracé der aufkommenden polygonalen, d.h. stumpfwinkligen Befestigungen erschwerte das Rikoschettieren auf kurze Distanzen; es war dann nur noch das auch sehr wirksame Schrägfeuer per Enfilierschuss möglich. Mit den aufkommenden gezogenen Geschützen wuchs ab 1860 die wirksame Distanz sprunghaft auf 2250 m[140]!

Vergleich von Haubitzen und Kanonen

„Sie [die Haubitzen] verursachen mehr Unheil als die Kugeln.“[141] Bei den Haubitzen verstärkten die Bomben die Wirkung auf dem gedeckten Weg und konnten beim ersten Aufschlag sogar leichte Deckungen durchschlagen. Außerdem gruben sich die Haubitzbomben nicht ein, sondern rollten weiter, bis ihre Ladung sprang. Beim Aufschlag der Bombe konnte der Zünder manchmal ersticken oder zündete beim Abschuss nicht (siehe Tabelle 7).

Man kann also behaupten, dass die Erfindung des Rikoschettschusses ab ca. 1680 in der Luft lag, so dass anfangs die Kanonen die Rolle der später aufkommenden Haubitzen übernahmen.

Fraglos waren die ab ca. 1740 eingeführten Haubitzen für den Rikoschettschuss, der eigentlich ein flacher Wurf war, geeigneter als die Kanonen, wenn man Lafettenkonstruktion, Richtverfahren und Wirkung vergleicht, denn Feld- und Belagerungslafetten waren nicht für hohe Elevationen konstruiert. Daher wurden ab 1830 für den Rikoschettschuss auch kürzere Rohre (kurze 24-Pfünder in Preußen) [142] verwendet, so dass den Geschützen beim Richten eine höhere Elevation gegeben werden konnte.

Der kurze 24-Pfünder galt nach den preußischen Versuchen 1830 in Mainz sogar als geeignet, die Haubitzen beim Rikoschettschuss zu ersetzen.[143] Die in Preußen ab 1828 erprobte, dann 1837 eingeführte 25-pfündige Bombenkanone[144] nach dem Vorbild von Paixhans 1822-24 trat in direkte Konkurrenz zur Haubitze.

Der weitere Einsatz von Kanonen wurde auch mit dem Mangel an Haubitzen begründet, „weil man nicht immer genug Granaten hat, um sie zwischen die Traversen hinein zu jagen.“[145] Für das Treffen der Geschütze hinter den Traversen brauchte man große Fallwinkel, „aus diesem Grunde wurden fast allgemein die Haubitzen den Kanonen vorgezogen.“[146] Daher kamen bei den späteren förmlichen Belagerungen – wie in Antwerpen und Sewastopol – nur noch Haubitz-Rikoschettbatterien zum Einsatz (s.o.).

Zeitgenössische Bewertungen

Während unter Friedrich II der Rikoschettschuss mit Kanonen noch als gängige Übung galt, kritisierte der preußische Major von Tempelhof schon 1789 ebenfalls die geringe Wirksamkeit des Rikoschettfeuers: Etwas polemisch behauptete er, dass nicht einer von hundert Schüssen sein Ziel erreiche, denn es sei schwer, den genauen Richtwinkel auf 28´ (Bogenminuten) genau zu finden[147].

Es heißt weiter bei Malinowsky/Bonin über die preußischen Belagerungen von 1815:

"Von den Rikoschett-Batterien wurde wegen ihrer zweifelhaften Wirksamkeit weit weniger als bei früheren Belagerungen Gebrauch gemacht.“[148]

Auch Hoyer befürwortete den Enfilierschuss mit vollen Ladungen[149]: Der eigentliche Rikoschettschuss wurde also nach 1800 allmählich durch den zuverlässigeren und wirkungsvolleren Enfilierschuss verdrängt[150]. Morla[151] stellte fest: „der Rikoschettschuss mit stärkster Ladung [=Enfilierschuss] ist der beste von allen.“

Laut Huguenin hatte sich die französische Artillerie „der Rikoschettschüsse seit ihrer Einführung bis zu der Revolution bei allen Belagerungen und Schulübungen beständig bedienet, ohne irgendwo die Möglichkeiten und Nutzen derselben bezweifelt zu

---

[139] Lyautey, Sciences Militaires, IV, 451. Lyautey schlägt vor, das Journal von Generalstabsoffizieren schreiben zu lassen, um auch die artilleristischen Aspekte zu berücksichtigen.

[140] Poten, Bd. 8, 143; Müller, 9. 12 Kaliberlängen. Der kurze 24-Pfünder wurde 1800 auch als Bombenkanone erprobt.

[141] Le Blond, Artillerie, 163. Nach Belidor zitiert. Dusaert, 57. „On pourrait conclure, que dans le feu à ricochet, l`usage de l`obusier sera préférable à celui du canon, toutes fois que la distance du but à atteindre.“

[142] Poten, Rikoschettschuss, 144.; nach Hoyer auch den Hautzitzen zuzurechnen, Hoyer, Wörterbuch Artillerie, F-J, 212.

[143] Müller, 12.

[144] Müller, 15.

[145] Vega, Bd. 3, 131.

[146] Poten, Rikoschettschuss, 144.

[147] Zitiert in: Böhm, Versuch einer Geschichte, 327.

[148] Malinowsky/Bonin: Artillerie, Bd. 3, 86; Blesson, Festungskrieg, Fußnote **, von S.K.H. = Seine Königliche Hoheit Prinz August von Preußen, 172-173.

[149] Hoyer, Artillerie, Bd. P-Z, 103ff.

[150] Moering, 340. „die Einführung des den Ricochet-Schuss fast gänzlich verdrängenden Enfilierschusses…“

[151] Decker, Zeitschrift für Kunst, 54 (2), 145

haben[152]." In den deutschen Staaten wurde der Rikoschettschuss sehr viel weniger angewendet[153], ausgenommen bei der k.k. Artillerie, wie die theoretischen Grundlagen im Lehrbuch von Vega[154] und die Beispiele der vielen Belagerungen, u.a. Hüningen und in Oberitalien, belegen.

Nach den Versuchen in Woolwich folgerte man 1820 in Großbritannien, dass der Rikoschettschuss völlig überbewertet sei[155]. Die „Madras artillery records" gingen 1838 noch einen Schritt weiter: Der scheinbar unfehlbare Rikoschettschuss bei den kontinentalen Armeen habe völlig zu Unrecht eine kolossale Reputation[156], wie die Versuche in Woolwich gezeigt hätten. Der sinnvolle Einsatz der Rikoschettbatterien sollte immer mit den Demontier- und Enfilier-Batterien sowie Mörsern kombiniert werden. Diese Kritik übersieht allerdings, dass die kontinentalen Artillerien ab 1800 schon längst die Nachteile des Rikoschettschusses erkannt hatten und immer mehr den Enfilierschuss bevorzugten.

Wenig überraschend, betonten französische Autoren[157] als „Conservateurs des Sciences" auch nach 1815 immer noch die hohe Wirksamkeit des Rikoschettschusses für Kanonen. Dies mag wohl so zu erklären sein, dass die französische Belagerungsartillerie dank langjähriger Erfahrungen und hervorragender Ausbildung immer noch gute Wirkung mit dem Rikoschettschuss zu erzielen vermochte, allen Einschränkungen zum Trotz?

Jedenfalls wurde der Streit um den Rikoschettschuss der Kanonen 1815-1850 recht polemisch in den militärischen Zeitschriften ausgetragen: Auf der preußischen Seite waren dies Toll, Huguenin und Decker in den „Militärischen Blättern", „Archiv für die Offiziere der Königlich Preußischen Artillerie- und des Ingenieurcorps" und „Zeitschrift für Kunst, Wissenschaft und Geschichte des Krieges" einerseits und Lyautey[158], Poisson und Coste[159] im „Journal des Sciences Militaires" und „Le Spectateur Militaire" andererseits. In Wirklichkeit näherten sich die gelebte Praxis beider Artillerien an: Auf der preußischen Seite wurde ab 1830 die kurzen 24-Pfünder nach französischen Vorbild eingeführt, während auf der französischen Seite bei den Belagerungen von Antwerpen und Sewastopol nur noch Haubitz-Rikoschettbatterien eingesetzt wurden, deren Wirksamkeit von keiner Seite bezweifelt worden war.

Die ausgearbeitete Theorie des Rikoschettschusses, z.B. von Gudermann 1859, wurde zu einem Zeitpunkt veröffentlicht, als der Rikoschettschuss keine praktische Bedeutung mehr hatte.

Die Theorie der Ballistik konzentrierte sich auf den einzelnen, individuellen Schuss. Dieser deterministische, mechanische Ansatz allein genügte nicht, denn die scheinbare Genauigkeit einer Berechnung bei vorgegebenen Parametern wie Mündungsgeschwindigkeit, Elevation, C_w-Wert, Geschossmasse etc. konnte nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich die Streuung der Parameter in Reichweite, Flugdauer, Aufschlagswinkel, kinetische Energie etc. fortpflanzte. Man begnügte sich mit einer statistischen Analyse des Trefferbildes, um die Schusstabellen zu optimieren. Eine Analyse der Fehlerfortpflanzung, welche die wesentlichen Beiträge zur Streuung, besonders der v_o, scheint bis 1860 noch nicht erstellt worden zu sein.

Zusammenfassung

Der Rikoschettschuss mit Kanonen wurde von Vauban bei den Belagerungen am Ende des 17. Jahrhunderts zum ersten Mal im großen Stil wirkungsvoll eingesetzt, bevor die Haubitzen ab ca. 1740 bei den Artillerien eingeführt waren.

Der Rikoschettschuss der Kanonen kam in der Folge bei den förmlichen Belagerungen bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts immer weniger zum Einsatz, selbst in dem an sich belagerungsreichen 18. Jahrhundert, verglichen mit dem klassischen Enfilier- und Demontierschuss. Er war zwar allen zeitgenössischen Artillerien in der Theorie bekannt, wurde aber offenbar nur noch von der französischen und österreichischen Artillerie nach 1815 praktisch angewendet. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde er mehr und mehr durch den Enfilierschuss mit voller Ladung verdrängt.

Die Haubitze wurde ab ca. 1740 gegenüber den Kanonen wegen der besseren ballistischen Eigenschaften und der besseren Wirkung mehr und mehr bevorzugt, bis bei den späten förmlichen Belagerungen ab 1830 nur noch Haubitzbatterien beim Rikoschettieren zum Einsatz kamen. Mit dem Aufkommen der drall-stabilisierten Explosivgeschosse ab der Mitte des 19. Jahrhunderts wurden der Rikoschett- und Enfilierschuss vollkommen obsolet.

Die äußere Ballistik des freien Fluges unter Berücksichtigung des Luftwiderstandes lässt sich noch relativ exakt vom Abschuss bis zum ersten Aufschlag

[152] Huguenin, 18.

[153] Poten, Bd. 8, Toll, 168.

[154] Georg von Vega (1754-1802), Mathematiker und Artillerieoffizier, Professor beim 2. Feldartilleriekorps. Sein mathematisches Lehrbuch für das Artilleriekorps erschien über 40 Jahre in mehreren Auflagen.

[155] Jones, Vol. 2, Note 33, 327.

[156] Madras Artillery Records, Vol. I, 87.

[157] z.B. Valazé, Lyautey, Belmas.

[158] Hubert-Joseph Lyautey (1789-1867), französischer Artillerieoffizier.

[159] Franz. Artilleriekapitain.

vorhersagen. Der Abbremseffekt bei weiteren, abnehmenden Sprüngen der rikoschettierenden Kugel kann in einem semiempirischen Modell durch den prozentualen Verlust der Translationsenergie, die in Wärme und Rotation umgewandelt wird, erklärt werden. Ein erster Vergleich der berechneten Sprungweiten und -höhen mit den Versuchen legt nahe, dass der Energieverlust beim Aufschlag mit über 50% anzusetzen ist.

Eine weitere detailliertere Parametrisierung, welche die Bodenbeschaffenheit an den Aufschlagpunkten berücksichtigt, ist in einem einfachen Modell kaum zu leisten, womöglich ist aber die Simulation der Kugelbahn möglich, welche die variable Topographie und Oberflächenbeschaffenheit am Aufschlagpunkt berücksichtigt.

Die Kugel sprang gemäß den Versuchen meist nur ein bis zwei Mal nach dem Aufprall und wurde dabei abgelenkt: Richtung und Wirkung nach dem ersten Aufprall streuten sehr stark, so dass die Wahrscheinlichkeit des Treffens nur mit mehreren Geschützen und vielen Lagen erhöht werden konnte. Die Wirkung der indirekten Schüsse konnte vom Belagerer meist nicht unmittelbar beobachtet werden, aber sie konnte im Festungsbau durch Bonnets, Traversen, kasemattierte Batterien und geeignete gekrümmte Tracés gemindert werden.

Die Analyse des Rikoschettschusses rief zahllose Praktiker der Artillerie und Theoretiker der Ballistik und der Fortifikation auf den Plan, wie die umfangreiche Literatursammlung, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, aufzeigt.

Danksagung

Der Autor dankt Jean-Marie Balliet (Colmar), Thomas Hemmann (Bonn) und Oliver Schmidt (Heidelberg) für die Anmerkungen und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Glossar

Aufschlagswinkel = Einfallwinkel = Auftreffwinkel der Kugel in der Horizontalen

Abschusswinkel = Elevation

Aufsatz = Auf dem Geschützboden gestellter Schieber zur Messung der Elevation mit Zolleinteilung

Batterie = 1. Taktische Einheit der Artillerie, in der Regel aus 8 Geschützen bestehend. 2. Belagerungsbatterie, d.h. Einrichtungen zum Schutz der eingefahrenen Geschütze, Bedienung und Munition

Bombe = Sprenggeschoss der Mörser, Haubitzen, Bombenkanonen (Canon obusier).

Demontierbatterie = Batterie zum Demontieren der Geschütze auf dem Wall; die beste Wirkung wurde erreicht, wenn sie parallel zum Wall errichtet wurden, so dass das Feuer senkrecht auf die Brustwehr und Schartenmündungen traf.

Demontierschuss = Demontieren eines Geschützes auf dem Wallgang oder in einer Kasematte durch direkten Schuss auf die Scharte

Enfilade = das Einfädeln

Enfilieren = enfiler (franz.) = Einfädeln, d.h. den Wallgang der Länge nach mit Artillerie bestreichen.

Enfilierschuss = ricochet roide (franz.) = gestreckter Rikoschettschuss: Schuss aus ca. 400-1000 Schritt Entfernung mit voller Ladung auf Festungswerke, die der Länge nach bestrichen werden.

Gedeckter Weg = bedeckter Weg (seltener verwendet) = jenseits des Haupt- oder Vorgrabens verlaufene gedeckte Stellung am Glacis, zur infanteristischen oder artilleristischen Verteidigung des Vorfeldes.

Horizontalschuss = Kernschuss = Plein fouet. (franz.), bei Belagerungen auch im Sinne von Demontierschuss verwendet

Kadenz = Häufigkeit des Feuerns pro Zeiteinheit, beim Schnellfeuer einer Feldbatterie bis zu 3 Schuss pro Minute. Beim Festungsgeschütz mehrere Minuten.

Kugel = eiserne Vollkugel = Passkugel;

Kaliber = Durchmesser der Geschützöhre, hier üblicherweise bezogen auf die schweren Geschütze, d.h. 12, 18, 24 Pfund Roheisen.

Lage = Salve einer Batterie

Mortier = Mörser = Kessel

Mündungsgeschwindigkeit v_o = Anfangsgeschwindigkeit der Kugel beim Verlassen des Rohres = Betrag der Geschwindigkeit beim Abschuss t = 0 sec bei gegebener Elevation = vitesse initiale (franz.) = initial velocity (engl.)

Rikoschet(t)schuss, eigentlicher (eingedeutscht) = ricochet mou (franz.) = Schleuderschuss mit kleiner Ladung = tir à ricochet (franz.) = ricochet fire (engl.)

Rikoschettbatterie = Batterie für Rikoschettfeuer mit aufwärts geneigten Scharten = batterie à ricochet (franz.) = ricochet battery, enfilading battery à ricochet (engl.)

Zoll = 1/12 Fuß = pouce (franz.) = inch (engl.) = 12 Linien

Wallgang = umlaufende Weg zur Kommunikation hinter der Brustwehr eines Walles, mit Schützenauftritt und Geschützbettungen versehen.

Referenzen

Zeitgenössische Literatur

Belmas, Jacques-Vital: Journaux des sièges faits ou soutenus par les Français dans la Péninsule, de 1807 à 1814 rédigés, d'après les ordres du Gouvernement sur les documents existant aux archives de

la guerre et au dépôt des fortifications, 4 Bände, Paris 1836-37

Blesson, Louis: Beitrag zur Geschichte des Festungskrieges in Frankreich 1815 - Tagebuch eines Ingenieur-Offiziers über die Belagerungen von Maubeuge, Landrecies, etc., Berlin 181

Böhm, Andreas: Versuch einer Geschichte des Schleuderschusses auf Festungswerke und der bisher dawider gebrauchten oder vorgeschlagenen Mittel, in: Magazin für Ingenieur und Artilleristen, XI. Band, Gießen 1789, 319-350

Borkenstein, Carl Friedrich: Versuch zu einem Lehrgebäude der theoretisch-practischen Artilleriewissenschaft, 2. Band, Berlin 1822

Coste, M.: Sur le Ricochet; in: Journal des Sciences Militaires, Band V (1826) S. 520-538

Decker, Carl von: Das militairische Aufnehmen oder vollständige Unterricht in der Kunst Gegenden aufzunehmen, Berlin 1816

Decker, Carl von: Der preußische Taschen-Artillerist; Berlin, 1828

Decker, Carl von: Die Belagerungsartillerie, Die Artillerie für alle Waffen oder Lehrbuch der gesammten reinen und ausübenden Feld- und Belagerungs-Artilleriewissenschaft, Dritter Theil, Berlin 1816

Decker, Carl von: Die reine Artillerie, Die Artillerie für alle Waffen oder Lehrbuch der gesammten reinen und ausübenden Feld- und Belagerungs-Artilleriewissenschaft, Erster Theil, Berlin 1826

Decker, Carl von: Längen-Schüssen gegen Wallgänge und gedeckte Wege der Festungen (Rikoschettieren – Enfilieren), in: Zeitschrift für Kunst, Wissenschaft und Geschichte des Krieges 54(1) (1842) S. 142-176

Decker, Carl von (Hrsg.); Blesson, Louis (Hrsg.): Waffenlehre, Berlin 1828Dolleczek, Anton: Geschichte der österreichischen Artillerie von den frühesten Zeiten bis zur Gegenwart, Wien 1887

DuPuget, Edmé Jean Antoine: Essai sur l'usage de l'artillerie, dans la guerre de campagne et dans celle de sièges / par un officier du corps, Amsterdam 1771

DuPuget, Edmé Jean Antoine: Procès-verbal des épreuves faites à Douay, sur les portées des pièces de quatre longues, & de celles de quatre courtes du nouveau modèle, Paris 1772

Dusaert, Edouard: Essai sur les Obusiers, Paris 1842

Gudermann, Christoph: Über die wissenschaftliche Anwendung der Belagerungsgeschütze nebst einem Anhange: von der Prall-(Ricochet-)Schüssen, Münster 1859

Hauser, Georg von: Abhandlung über die Befestigungskunst zum Gebrauche der k.k. Ingenieurs-Akademie, Wien 1826

Hogrewe, Johann Ludewig: Praktische Anweisung zur topographischen Vermessung eines ganzen Landes, Hannover und Leipzig 1773

Hoyer, Johann Gottfried von: Allgemeines Wörterbuch der Artillerie, 4 Teile und ein Ergänzungsband, Tübingen 1804

Hoyer, Johann Gottfried von: Lehrbuch der Kriegsbaukunst, den Angriff und die Vertheidigung der Festungen enthaltend, zum Behuf der Vorlesungen in Kriegs- und Ingenieurschulen, zweiter Theil, Berlin 1818

Hoyer, Johann Gottfried von: Allgemeines Wörterbuch der Kriegsbaukunst, welches die theoretische und praktische Darstellung aller Grundsätze und Lehren des Festungsbaues, des Angriffes und der Vertheidigung befestigter Orte und des Minenkrieges enthält, 3 Teile, Berlin 1815

Huguenin, Ulrich: Abhandlung über die Ricochetschüsse, in: Militairische Blätter 1. Heft (1825) S. 1-33

I. W. T.: Relation du Siège de la Citadelle d'Anvers par l'Armée francaise, en Décembre 1832, Bruxelles 1833

James, Charles: A new and enlarged Military Dictionary or alphabetical explanation of technical terms, London 1802

Jones, John T.: Journal of the Sieges carried on by the army under the duke of Wellington in Spain during the years 1811 to 1814, Volume I and II, London 1846

Le Blond, Guillaume: L'artillerie raisonnée contenant la description et l'usage des différentes bouches à feu. la théorie et la pratique des mines et du jet des bombes, Paris 1761

Le Blond, Guillaume; Jäger, Johann Wilhelm Abraham (Übers.): Artillerie, Kriegskunst, Band 1, Frankfurt & Leipzig 1769 [Deutsche Übersetzung von L'artillerie raisonnée]

Leber, Fr. von: Wien's kaiserliches Zeughaus zum ersten Male aus historisch-kritischem Gesichtspunkte betrachtet, für Alterthumsfreunde und Waffenkenner beschrieben, Erster Theil, Leipzig 1846

Lindner, Ignaz: Die parabolische Theorie der schief geworfenen schweren Körper, angewendet auf das Bombenwerfen und Ricochetiren: mit den dazu erforderlichen Hülfstafeln: ein Fragment aus der Anleitung zur Mechanik der festen Körper, Wien 1817

Lombard, Jean-Louis: Tables du tir des canons et des obusiers: avec une instruction sur la manière de s'en servir à l'usage de MM les officiers du corps royal de l'artillerie, Auxonne 1787

Lyautey: Suite du Mémoire sur le Tir a Ricochet, in: Journal des Sciences militaires Tome V (1826) S. 68-92

Lyautey: Mémoire sur le Tir à Ricochet, in: Journal des Sciences militaires Tome IV (1826) S. 440-473

East India Company of Southern India: Madras artillery records, Volume 1, Madras 1838

Malinowsky, Louis von; Bonin, Robert von: Geschichte der brandenburgisch-preußischen Artillerie, 3 Bände, Berlin 1842

Ministre de la Guerre: Siège de Sébastopol - Historique du service de l´Artillerie (1854-1856), Guerre d'Orient, Tome premier, Paris & Strasbourg 1859

Moering, Carl: Vorlagen für das Militärische Handbuch zum Gebrauche der kais.-kön. Genie-Waffe, Wien 1860

Morla, D. Thomas de; Hoyer, Johann Gottfried von (Übers.): Lehrbuch der Artilleriewissenschaft, 2 Bände, 2. Aufl. Leipzig 1821

Müller, H.; Müller, Hermann von: Die Entwickelung der preußischen Festungs- und Belagerungsartillerie in Bezug auf Material, Organisation und Ausbildung von 1815-1875, Berlin 1876

Neander, Adolph Theobald: Praktisches Hand- und Unterrichtsbuch für angehende Artilleristen, oder auf eigene Erfahrung gegründete Artilleriewissenschaft, Leipzig 1809

Otto, Jacob Christian Friedrich: Mathematische Theorie des Ricochetschusses [Rikoschettschusses], Berlin 1833

Otto, Jacob Christian Friedrich: Erörterungen über die Mittel für Beurtheilung der Wahrscheinlichkeit des Treffens, Archiv für die Offiziere der Königlich Preußischen Artillerie- und Ingenieur-Korps Band 39, 1855

Pasley, Charles William: Rules chiefly deduced from experiment for conducting the practical operations of a siege, Part 1, Chatham 1829

Poisson, M.: Observations sur la Théorie du Ricochet, in: Journal des Sciences militaires Tome V (1826) S. 589-542

Radowitz, J. v.: Die Theorie des Rikoschetts, unabhängig von der Kenntnis der Flugbahn im widerstehenden Mittel betrachtet., in: Archiv für die Artillerie- und Ingenieuroffiziere des deutschen Reichsheeres, 1. Jahrgang, 1. Band, 1. Heft (1835) S. 41-68

Reilly, W. Edmund M.: An account of the artillery operations conducted by the Royal Artillery and Royal Naval Brigade before Sebastopol in 1854 and 1855, London 1859

Rouvroy, Friedrich Gustav: Handbuch des Batteriebaus oder die Anlegung und Erbauung der Batterien beim Angriff auf feste Plätze, Leipzig 1809

Rouvroy, Friedrich Gustav: Vorlesungen über die Artillerie zum Gebrauch der Königl.-Sächs. Artillerie-Akademie Dresden, 3 Bde., Dresden 1809 und 1823

Scharnhorst, Gerhard v.: Militärisches Taschenbuch für den Gebrauch im Felde, 3. Auflage 1794

Scharnhorst, Gerhard von: Handbuch der Artillerie; Handbuch für Offiziere in den angewandten Theilen der Kriegswissenschaften, 3 Bände, Hannover 1804, 1806, 1814

Scharnhorst, Gerhard von; Hoyer, Johann-Gottfried von (Hrsg.): Erster Theil von der Artillerie; Handbuch für Offiziere in den angewandten Theilen der Kriegswissenschaften, Hannover 1815

Scheel, Heinrich-Otto von: Mémoires d'artillerie, contenant l'artillerie nouvelle, ou les changemens faits dans l'artillerie Françoise en 1765, Paris 1795

Schneider, J. J.: Gedanken über eine Fortification, die aus lauter krummen Linien oder Zirkel-Stücken bestehet, wie auch einigen Stücken, die noch nicht gebräuchlich: hauptsächlich gegen das jetzige Enfiliren und Ricochettiren, Hannover 1815

Slevogt: Übersicht der neuern Literatur der Artilleriewissenschaft von 1760 bis 1841, in: Archiv für die Artillerie- und Ingenieuroffiziere des deutschen Reichsheeres Band 14 (1843) S. 90-101, 215-238

Toll: Geschichte des Rikoschettschusses, in: Archiv für die Offiziere der Königlich Preußischen Artillerie- und Ingenieurcorps Band 28 (1956), S. 153-180

Urtubie de Rogicourt, Théodore-Bernard-Simon Durtubisse ou Dhurtebize, dit le chevalier d': Le petit manuel de l'artilleur, ou Instruction par demandes et par réponses sur plusieurs objets de l'artillerie à l'usage des canonniers, bombardiers et sappeurs, Bastia 1785

Valazé: Sur le Tir à Ricochet, in: Spectateur militaire Band 2, Paris (1827) S. 55-65

Vallière, Jean-Florent de la: Mémoire sur les charges et les portées des bouches à feu, au sujet des observations du sieur Belidor, par rapport aux épreuves faites à son instigation, en 1740; Paris, 1741

Vauban, Sebastian le Prestre de: Traité de l'attaque des place, Œuvres de M. le maréchal de Vauban, Tome 1, Paris 1779 [nach dem originalen Manuskript von 1704, erster Druck 1737]

Vauban, Sebastian le Prestre de; Clair, G. A. von (Übers.): Abhandlung von der Vertheidigung der Festungen - ein Originalwerk des Herrn Marschall von Vauban -, Potsdam 1770

Vega, Georg Freiherr von: Mechanik der festen Körper, Vorlesungen über die Mathematik, 3. Band, 5. verbesserte Auflage Wien 1839

Zastrow, Alexander von: Geschichte der beständigen Befestigung oder Handbuch der vorzüglichsten Systeme und Manieren der Befestigungskunst, 4. Auflage, Leipzig 1854

Rezente Literatur

Alder, Ken: Engineering the Revolution: Arms and Enlightenment in France, 1763-1815, Chicago & London 2010

Crantz, Karl: Äußere Ballistik oder Theorie der Bewegung des Geschosses von der Mündung der

Waffe ab bis zum Eindringen in das Ziel, Lehrbuch der Ballistik, Leipzig & Berlin 1910

Hemmann, Thomas; Klöffler, Martin: Der vergessene Befreiungskrieg - Belagerte Festungen zwischen Memel und Rhein in den Jahren 1813-1814, Norderstedt 2018

Priesdorf: Soldatisches Führertum, Band I - IV, ca. 1939

Dawson, Anthony L.; Dawson, Paul L.; Summerfield, Stephen: Napoleonic Artillery, Ramsbury, Marlborough 2007

Ramsauer, Carl: Über den Rikoschettschuß, Dissertation, Christian-Albrecht-Universität zu Kiel, 1903; URL https://dibiki.ub.uni-kiel.de/viewer/object/PPN868002569/3/ [23.12.2019]

Poten, Bernhard von (Hrsg.): Handwörterbuch der gesamten Militärwissenschaften, 9 Bände, Leipzig, Bielefeld 1877/1880

Verdehalven, Fritz: Alte Meß- und Währungssysteme aus dem deutschen Sprachgebiet, Grundwissen Genealogie, Band 4, 2. Auflage Insingen 1993

Websites

Collins, A. R.: Smooth Bore Cannon Ballistics, MISCELLANEOUS TECHNICAL ARTICLES, URL https://www.arc.id.au/CannonBallistics.html

Willerding, Eugen: Die mathematische Theorie ballistischer Kurven, URL https://www.eugen-willerding.de/ballistik/ [20.12.2019]

Heil, K.: Physik: Schiefer Wurf mit Luftwiderstand - Teil 2, URL https://matheplanet.com/index.html [20.12.2019]

Poklukar, F.: Äußere Ballistik. Mathematische Modellierung der Geschossbahn, Ferlach: HTBL, 2005, URL http://pdfkurs.com/Download_PDF_7.php?PDF_Kurs=60364&PDF_Corriges=bc_berechnung_geschoss_rechner_tabelle [20.12.2019]

Anhang

Maßeinheiten[160]

Zum besseren Verständnis werden die historischen Maßeinheiten in das metrische Maß (Meter, Zentimeter, kg, etc.) übertragen. Um aber den Vergleich mit den zitierten originalen Angaben zu erleichtern, werden im Text die historischen Maßeinheiten unverändert übernommen.

Schritt = ca. 75-80 cm bei einem erwachsenen Mann = 2 ½ Schuh (Fuß)

Ruthe = 12 Fuß rheinisch, 1° = 3,77 m

Pariser Toise = 6 Fuß = ½ Ruthe = 1,960 m = ca. 2 m

Klafter = 6 Fuß = 1,8965 m (Österreich) = ca. 2 m (der Toise entsprechend)

Fuß = Schuh = 12 Zoll = 1/12 Ruthe, 1‘ = 31,385 cm (Preußen)

Zoll (engl. inch) = 12 Linien = $^1/_{12}$ Fuß = 1“ = 2,61545 cm (Preußen)

Winkel in Alt-Grad, 1° = 60 min; Vollkreis 260°; Umrechnung von Grad in Radiant mit Faktor f = 2 π/360°

Yard = 91,44 cm approx. 9/10 m

Pfund lb (lat. librum): 1 lb = 467,711 g (Preußen ab 1816)

1 Loth = 14,606 g (Preußen), i.a. im Bereich 14-18 g

Ballistik bis zum ersten Aufschlag und ihre Parameter

Im Vakuum (ohne Luftwiderstand)

Die bekannte parabolische Theorie beschreibt die Kugelbahn als Bewegungsgleichung eines Massenpunktes im Vakuum nach Newton[161]:

(1) $d^2x(t)/d^2t = - mg$

. Die Lösung ist:

(2) $x(t) = x_0 + v_{xo}\, t = x_0 + v_o\, t \cos \beta$
(3) $y(t) = h_0 + v_{yo}\, t - ½\, g\, t^2 = h_0 + v_o\, t \sin \beta - ½\, g\, t^2$

nach x aufgelöst

(4) $y(x) = x \tan \beta – g\, x^2 / (2\, v_0^2 \cos^2 \beta)u$

wobei

- Elevation β = Abschusswinkel; Richtwinkel = 90° - β
- X-Achse parallel zur Erdoberfläche, x_o den Startpunkt
- Y-Achse gibt die Höhe über der Erdoberfläche an
- h_0 die Höhe des Geschützröhre über der Erdoberfläche
- t Zeit nach dem Abfeuern
- v(t) den Betrag der Geschwindigkeit $v^2(t) = v_x^2(t) + v_y^2(t)$
- v_0 Der Betrag der Anfangsgeschwindigkeit (Mündungsgeschwindigkeit) beim Abfeuern t = 0s
- $v_x(t)$ und $v_y(t)$ die Geschwindigkeit entlang der Achsen x und y
- g konstante Erdbeschleunigung an der Erdoberfläche.

Daraus folgt für die Geschwindigkeiten:

(5) $v_x(t) = v_{xo}$
(6) $v_y(t) = v_{yo} - g\, t$

[160] Wegen der verwirrenden Vielfalt der historischen Maße wird auf die einschlägige Literatur, z.B. Verdehalven, Alte Meß- und Währungssysteme, verwiesen. In den originalen Texten bleibt häufig offen, auf welche regionalen Maße Bezug genommen wird.

[161] Siehe zum Beispiel: Vega, Bd. 3, Die freye Bewegung geworfener schwerer Körper, §76-88.

Die Entfernung von der Rohrmündung bis zum ersten Aufschlagspunkt konnte unter Versuchsbedingungen sehr leicht durch Abschreiten (also Messung in Schritten) ermittelt werden. Damit konnte die Berechnungsformel für die Reichweite R der parabolischen Theorie leicht überprüft werden.

$$R = \frac{v_0 cos(\beta)}{g}\left(v_0 sin(\beta) + \sqrt{(v_0 sin(\beta))^2 + 2gh_0}\right)$$

(7)

Höhe h_0 des Rohres: Diese wird bei gewöhnlichen Batteriestücken mit ca. 4 ½ Fuß[162], d.h. ca. 1,45m angenommen. Die Rohrhöhe h_0 auf der Lafette verlängert entscheidend den ersten Aufschlagspunkt beim Enfilier-, Kern- und Visierschuss, aber sie beeinflusst dagegen die Reichweite des Bogen- und eigentlichen Rikoschett-Schusses so gut wie nicht ($h_0 << h_{max}$). Die Reichweite R ist dann proportional zu v_0^2, also der Translationsenergie; halbierte Sprungweite beim Rikoschettschuss bedeutet 50% Verlust der Translationsenergie.

Die *Scheitelhöhe* (Flughöhe) bestimmt sich zu:

$$h_{max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2(\beta)}{2 \cdot g}$$

(8)

Anfangsgeschwindigkeit v_o: Hoyer gibt diese bei voller Ladung mit ca. 1.000 bis 1.200 Fuß pro Sekunde an, was ca. 330 bis 380 m/s (Meter pro Sekunde) entspricht[163], und v_o liegt damit schon im Überschall-Bereich[164]! Die kleinste gemessene Geschwindigkeit bei schwacher Ladung, die mit dem ballistischen Pendel 1775 gemessen wurde[165], lag bei 458 Fuß pro Sekunde, was in etwa 145 m/s entspricht. Für die folgenden Abschätzungen übernehmen wir den Wert v_0 = 145 m/s für schwache Ladungen beim Rikoschettschuss und v_0 = 375 m/s[166] für volle Ladungen beim Enfilierschuss. Versuche für 6-12-Pfünder um 1860 ermittelten eine wesentliche höhere v_o von ca. 440-530 m/sec, was wohl mit dem geringeren Spiel und der verbesserten Pulverqualität erklärt werden könnte.[167]

Pulverladungen L und Anfangsgeschwindigkeit v_0: Die Geschwindigkeiten v_{xo} verhalten sich näherungsweise wie die Quadratwurzeln der Ladungen L[168].

(9) $v_{10}/v_{20} = (L_1/L_2)^{½}$

Die Flugzeiten waren mit dem Sekundenpendel auf bestenfalls ½ s genau zu bestimmen.

Mit Luftreibung

Die parabolische Theorie ist nur näherungsweise bei kleinen Geschwindigkeiten v_0, mittleren Elevationen, kurzen Flugzeiten und kleinen Geschossquerschnitten anwendbar.

Der *Luftwiderstand* F_w nimmt in guter Näherung quadratisch (also nicht linear) mit der Geschwindigkeit zu:

(10) $F_w = ½\ \rho\ c_w\ A\ v^2$

Wobei

- ρ = Dichte der Luft bei Normalbedingung, 1,293 kg/m³
- c_w = hier konstanter, nur von der Geometrie abhängiger Wert, bei einer Kugel 0,45 bei Unterschallgeschwindigkeit
- A = Stirnfläche, d.h. Fläche der Kugel $A = \pi r^2$
- v = v(t) = Geschwindigkeit der Kugel zur Zeit t

Durch den Reibungsverlust verliert die Kugel an Translationsenergie, so dass sich die Kugelbahn wie folgt ändert, siehe unten die aufgeführten Modellrechnungen mit Elevation 2° und 10° und Abbildung 4.

- Aufsteigender und absteigender Ast sind nicht mehr spiegel-symmetrisch, sondern der absteigende Ast ist kürzer und steiler
- Der Aufschlagswinkel θ wird daher steiler als der Abschusswinkel (Elevation) β
- Die Geschwindigkeit v am Aufschlagspunkt $y(t_w) = 0$ ist in Folge des Luftwiderstands vermindert

---

[162] Scharnhorst, Artillerie I, S. 209.

[163] Hoyer, Artillerie, F = Festungsbatterien, 65. G = Geschwindigkeit, 169ff.

[164] Luft bei 15 °C und 1 alm: 343 m/s.

[165] Hoyer, Artillerie, F, Versuch von Hutton, 170.

[166] Willerding, Fig. 4.15, 63.

[167] Collins, Table 1, Angaben in ft/s.

[168] Hoyer, Artillerie, F, 172. Vergleiche auch Radowitz.

- Die horizontale Geschwindigkeit bleibt nicht mehr konstant, sondern nimmt ebenfalls ab
- Die Reichweite des ersten Aufschlags vermindert sich
- Die Flugzeit wird nur wenig geringer
- Die Steighöhe vermindert sich nur unwesentlich
- Die maximale Reichweite wird bei Mörsern mit flacherer Elevation von ca. 38-43° erreicht, nicht mehr mit 45°, wie in der parabolischen Theorie vorhergesagt.

Für die folgenden Berechnungen wird die Bewegungsgleichung direkt integriert; es ist nicht notwendig, eine analytische Lösung wie bei Otto[169] oder Heil[170] anzuwenden.

Mechanisches Modell für den Rikoschett- und Enfilierschuss

Die Physik beim Aufschlag und Abprall ist noch nicht genau verstanden. Der Autor verfolgt deshalb einen vereinfachten Ansatz zur Ermittlung der wesentlichen Einflussgrößen, Luftwiderstand, teilweise Umwandlung der Translationsenergie in Wärme und Rotation infolge Reibung beim teil-elastischen Aufschlag.

Der Untergrund sei vollkommen eben, so dass keine Ablenkung zur Seite oder an Bodenwellen senkrecht zur Schussrichtung vorkommt.

Man nimmt weiter an, dass im Vakuum der Betrag des Aufschlagswinkels θ gleich dem Elevationswinkel β beim Rikoschettieren ist. Die Kugel sei starr, nicht elastisch, habe also keine Verformungsenergie. Beim Aufschlag nimmt wird ein kleiner Teil der tangentialen Translationsenergie in Rotationsenergie umgewandelt.

Die zu betrachtenden Modellrechnungen wären:

- Modell im Vakuum, d.h. ohne Luftwiderstand.
- Modell mit Luftwiderstand, kein Seitenwind

Wir betrachten die Energiebilanz E_n im geschlossenen System: Kugelbahn mit Untergrund bis zum n-ten Aufschlag.

(11) $dE_n(t) = dE_{n\,tran} + dE_{n\,rot} + dE_{n\,pot} + dQ_n = 0$ oder
(12) $dE_n(t) = dE_{n\,tran} + dE_{n\,rest} = 0$

wobei

- $E_{kin} = E_{tran} + E_{rot} = ½\, m\, v_n^2 + ½\, J\, w_n^2$; Kinetische Energie, zusammengesetzt aus Translations- und Rotationsenergie; w_n ist Winkelgeschwindigkeit, J das Trägheitsmoment.
- Die Rotation E_{rot} wird in den Verlust der Translationsenergie mit hineingerechnet.
- $E_{pot} = m\, g\, h_0$ (beim Abschuss), potenzielle Energie; an den Aufschlagspunkten n ist sie Null, und am Scheitelpunkt $h_{n\,max}$ erreicht sie ihr Maximum.
- Q = Wärme, Energieverlust durch Reibung, die teils an die Luft, teils an den Boden, teils an die Kugel beim Aufschlag abgegeben wird.

Die Idee ist, dass aus dem n-ten Aufschlag der weitere n+1-te Kugelsprung vollständig bestimmt werden kann. So ergibt sich zum Beispiel die gesamte Reichweite beim n-ten Sprung aus der Summation der einzelnen vorherigen Sprünge.

Wir nehmen einen teilelastischen Stoß beim Aufprall an: Die Bewegungsenergie wird bei jedem Aufschlag n in einen konstanten Anteil r von Wärmeenergie und Rotation umgewandelt, so dass sich die Anfangsgeschwindigkeit v_{n0} bei jedem Aufschlag n vermindert.

Der Energieverlust r (Abbremsen beim Aufschlag) überwiegt alle anderen Einflüsse wie Luftwiderstand und Rotationsenergie.

(13) $E_{n\,tran} = (1-r)\, E_{n-1\,tran}$ wobei der Translationsenergieverlust $0 < r < 1$

Der Anteil r wird mit 60% angenommen. Daraus lässt sich die neue Anfangsgeschwindigkeit beim Verlassen des n-ten Aufschlagspunktes v_{on} berechnen.

Als Abbruchkriterium nehmen wir den kritischen Aufschlagswinkel $\theta_k = 14°$ an, bei sich die Kugel im Erdreich einbohrt. Im Vakuum bleibt der Aufschlagswinkel konstant, so dass dieses Modell das Einbohren nicht erklären kann. Wenn das Modell den Luftwiderstand berücksichtigt, so werden die Aufschlagswinkel θ_n immer steiler, bis schließlich der kritische Aufschlagswinkel θ_k überschritten wird.

---

[169] Otto, Mathematische Theorie des Ricoschettschusses, 1833. Grundformeln, 3-40. Die Theorie bleibt auf die Kugelbahn vor dem 1. Aufschlag beschränkt, die weiteren Aufschläge werden nicht behandelt! Es werden Hilfstafeln aufgestellt, jedoch keine Schusstafeln für die praktische Anwendung, siehe z.B. Lombard.

[170] Heil, Schiefer Wurf.

Ein ähnlicher Ansatz wurde 1859 von Gudermann vorgeschlagen, als der Rikoschettschuss immer mehr außer Gebrauch kam.

Crantz[171] schlägt 1910 einen weiteren Ansatz vor: Er betrachtet die Elastizität e der Kugel bzw. des Aufschlagpunktes für die senkrechte Komponente der Geschwindigkeit $v_{yn} = e\ v_{yn-1}$ beim Aufschlag, während die horizontale Komponente der Geschwindigkeit $v_{xn} = v_{xn-1}$ gleichbleibt. Die führt ebenfalls zu immer flacheren und kürzeren Sprüngen der parabolischen Geschossbahn; allerdings werden die Abprallwinkel immer flacher, so dass das Einbohren ebenfalls nicht erklärt werden kann. Das Modell impliziert ebenfalls eine Abnahme der Translationsenergie am Aufschlagspunkt n:

(14) $E_{n\ trans} = ½\ m\ ((e\ v_{yn-1})^2 + v_{xo}^2)$ wobei $v_{yn} = e\ v_{yn-1}$

Die Annahme einer konstanten horizontalen Geschwindigkeit v_{xo} scheint ebensowenig realistisch zu sein wie die kaum messbare Elastizität e.

Modellrechnungen

Die im folgenden berechneten Lösungen werden auf 2 Nachkommastellen angegeben, um die Unterschiede zwischen beiden Modellen deutlich zu machen. Dies ist nicht als Angabe zur Messgenauigkeit (Toleranz) zu verstehen, auf die wir bei der ersten Abschätzung im Folgenden nicht weiter eingehen. Es werden das Ballistikprogramm „KK-Schützenverein Ettenheim“ zur Integration der Bewegungsgleichung und die Exceltabelle des Autors mit den o.g. Formeln verwendet.

Gemeinsame Parameter sind für den 12-Pfünder = 5760g und die Rohrhöhe h_0=1,4m über dem Erdboden.

Der erste Aufschlag eines Enfilierschusses bei 2° Elevation

nachfolgend 5-6 Aufschläge möglich.

Mit voller Ladung, hohe v_0 = 375m/s angepasst an 1200 Schritt = 900 m Reichweite aus Scharnhorst.

	Im Vakuum	Mit Luftwiderstand
Reichweite in Meter	1038,89 m	883,90 m
Flughöhe in Meter	10,13 m	10,11 m
Flugzeit in Sekunden	2,77 s	Ca. 2,75 s
Aufschlagswinkel	2,1°	Ca. 4,5°
Neue v_o für nachfolgenden Sprung in Meter pro Sekunde	290 m/s	Ca. 250 m/s

Tabelle 4: Enfilierschuss mit berechneten Werten für die parabolische Theorie und unter Berücksichtigung des Luftwiderstands.

Der erste Aufschlag eines eigentliches Rikoschettschusses bei 10° Elevation

Schwache Ladung, kleine v_0 = 140m/s, angepasst an 800 Schritt = 600 m Reichweite[172], ein nachfolgender Aufschlag möglich.

[171] Crantz, Ballistik, 18-21.

[172] Decker, Taschen-Artillerist, Tabelle 11, Rikoschettieren des gedeckten Weges, 174

	Im Vakuum	Mit Luftwiderstand
Reichweite in Meter	691,43 m	608 m
Flughöhe in Meter	31,53 m	31,06 m
Flugzeit in Sekunden	5,01 s	Ca. 4,97 s
Erster Aufschlagswinkel	10,33°	Ca. 13,68°
Neue v_0 für nachfolgenden Sprung in Meter pro Sekunde	108 m/s	Ca. 100 m/s

Tabelle 5: Eigentlicher Rikoschettschuss mit berechneten Werten für die parabolische Theorie und unter Berücksichtigung des Luftwiderstands.

Die wesentlichen Effekte des Luftwiderstandes sind also die verminderte Reichweite R, der Verlust von v_0 beim Aufschlag und der steilere Aufschlagswinkel, während Flugzeit und Flughöhe nur geringfügig beeinflusst werden.

Beim Rikoschettschuss wird der zweite Aufschlagswinkel schon größer als 14° sein, so dass die Kugel nicht mehr weiter springt, was mit den Versuchen von Deckers Taschenartillerist übereinstimmt.

Rikoschettschuss mit mehreren Aufschlägen in der Ebene

Berechnung nach der parabolischen Theorie[173] mit den gleichen Parametern für den 12-Pfünder wie oben; Elevation 7°. Der angenommene konstante Energieverlust r von 60% bei jedem Aufschlag führt zu folgendem Ergebnis:

Schuss-bahn	Ekin (Anfang) in Joule	Weite	Auf addierte Weite in m	Steighöhe in m	Flugzeit in Sekunden	Aufaddierte Flugzeit
Freier Flug mit h_0	56448,00 j	494,50 m	494,50 m	16,24 m	3,56 s	
1. Aufschlag	22579,20 j	203,34 m	697,84 m	5,25 m	2,31 s	5,87 s
2. Aufschlag	9031,68 j	81,22 m	779,06 m	2,10 m	1,46 s	7,34 s
3. Aufschlag	3612,67 j	32,49 m	811,55 m	0,84 m	0,92 s	8,26 s

Tabelle 6: Berechnung des Rikoschettschusses für 3 Aufschläge

Wir nehmen ferner an, dass der Aufprallwinkel beim Rikoschettieren näherungsweise gleich dem Abprallwinkel ist, was die Versuchsreihe von Ramsauer, S. 19, bestätigt[174]. Dort liegt der Abprallwinkel bei einer Elevation von 5° nur ca. 20-25´ (Bogensekunden) unter dem Aufprallwinkel.

Der Vergleich mit der 11. Tabelle in Deckers Taschenartillerist legt nahe, einen Translationsenergieverlust von mehr als 50% bei den Aufschlägen anzunehmen. Die Sprungweiten auf dem Wallgang bzw. gedeckten Weg vermindern sich um mehr als die Hälfte; dennoch liegen die Werte bei 200 m bzw. 80 m, aufaddiert 280 m, also insgesamt noch immer erheblich über der Gesamtlänge der enfilierten Werke. Nach dem zweiten Aufschlag liegt die Steighöhe bei ca. 2 m und die Sprungweite bei ca. 80m. Immerhin lassen sich die Varianten schnell durchrechnen, woraus sich möglicherweise Empfehlungen für den Einsatz ableiten ließen.

[173] Bestätigung in Hoyer, Artillerie, Der Rikoschettschuss, 105ff.

[174] Raumsauer beschäftigt sich mit dem Rikoschettieren von Gewehrkugeln auf Wasseroberflächen; die Ergebnisse sind nur mit großem Vorbehalt übertragbar.

NAPOLEON ONLINE

174 Treffen, Wirkung.

11. Rikoschettiren des gedeckten Weges.

G.B. 100 Rund. Schr geschoss. traf. a.	12pfünd. Kanone						7pfünd. Haubitze					
	Ladung Loth	Elevation Gr.	Treffer	Diese machten Aufschläge	M. Seit. abw.	Uebl. Annahm	Ladung Loth	Elevation Gr.	Treffer	Diese machten Aufschläge	M. Seit. abw.	Uebl. Annahm
600			37			37			34			34
700	15-32	2 - 8	34	1 - 2	39	35	14-32	2-10	31	1 - 2	44	32
800	16-36	2 - 10	23	1 - 2	32	22	16-38	2-9	22	1 - 2	43	24
	10pfünd. Haubitze						10pf. Haub. Rik. d. Wallg.					
600			42			42			29			29
700	32-48	3-8	42	1 - 2	40	42	24-48	4-14	24	1 - 2	40	22
800	32-48	4½-10	27	1 - 2	41	28	32-48	5-15	15	1 - 2	38	21

Zünder erstickt: 0,06. Nicht gebrannt: 0,004.

Tabelle 7: Schusstabelle für das Rikoschettieren des gedeckten Weges mit Angaben zur Entfernung, Elevation, Trefferwahrscheinlichkeit, möglichen Aufschlägen. Anstelle der v_0 wird die Ladung direkt angegeben. (Decker, Taschen-Artillerist, 174)