

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 64 (1992)

Artikel: Die persönliche Waffe des Schweizer Soldaten
Autor: Brodbeck, Eduard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378274>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.01.2026

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

Die persönliche Waffe des Schweizer Soldaten

1. Wesentliche Entwicklungsschritte von Waffe und Munition im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts

Eduard Brodbeck
SIG Schweizerische Industrie-Gesellschaft
CH-8212 Neuhausen am Rheinfall

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts waren die Truppen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und die Armeen Europas in erster Linie mit Flinten, also mit Steinschloss-Vorderladergewehren mit glatten Läufen, im Kaliber um 18 mm, ausgerüstet. Verschossen wurden Bleirundkugeln mit Massen um 30 bis 35 g. Die Munition bestand aus losen Bestandteilen: Kugeln und Schwarzpulver aus dem Pulverhorn. Zur Zündung wurde ein Feuerstein eingesetzt (Bild 1 und 2). Um den Ladevorgang zu vereinfachen, war der Durchmesser der Kugeln um etwa 1 mm geringer als das Laufkaliber. Dies wirkte sich negativ auf die Trefferleistung aus, auf 75 m erwartete man zirka 15 % Treffer auf eine Mannscheibe. Die für die ballistische Beurteilung wichtige Querschnittsbelastung (Masse pro Querschnittsfläche) der damals verwendeten Geschosse lag etwa bei $13,5 \text{ g/cm}^2$.

Der Begriff Querschnittsbelastung

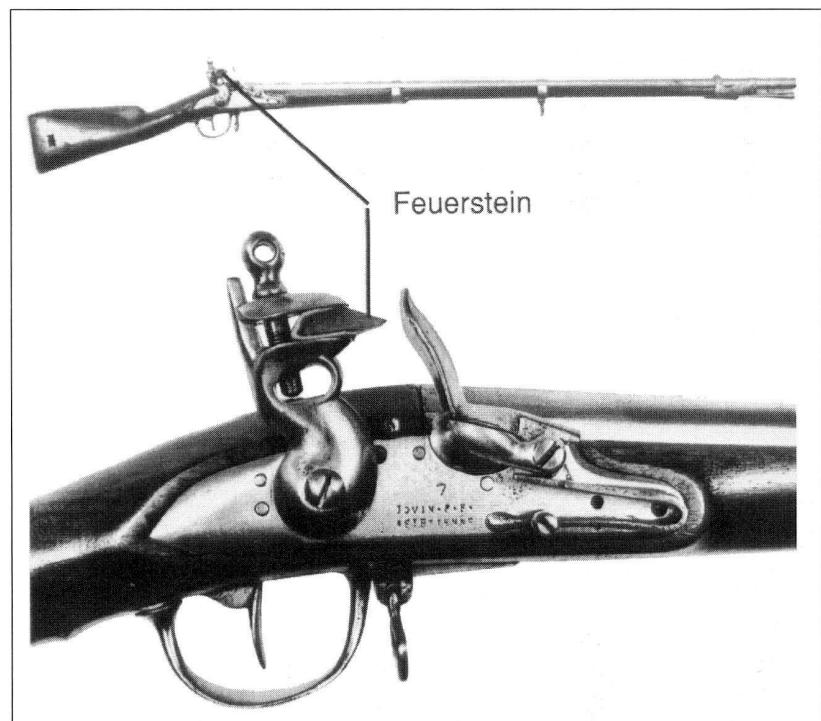
$$s = \frac{\text{Geschossmasse}}{\text{Kaliberquerschnittsfläche}} \quad \frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$$

wird uns noch einige Male begegnen.



Bild 1: Munition aus losen Bestandteilen.

Bild 2: Steinschlossgewehr Modell 1817.



Mit gezogenen Läufen liess sich auch bei Vorderladergewehren die Präzision um das 4- bis 5fache verbessern. Diese sogenannten Büchsen hatten aber den Nachteil einer stark reduzierten Feuergeschwindigkeit. Die Flinten, mit einer Schiesskadenz von 2 Schuss pro Minute, schossen zwei- bis dreimal schneller als die Büchsen. Die Ursache lag darin, dass das Geschoss mit einem Hammer in den Lauf und damit in die Züge geschlagen werden musste. Auch mit der Funktions Sicherheit war es nicht zum allerbesten bestellt. Durchschnittlich rechnete man mit einem Versager auf 15 Schüsse. Nach 60 Schüssen musste zudem der Lauf mit Seifenwasser ausgewaschen werden. Gesucht waren also Büchsen, mit denen in rascher Folge geschossen werden konnte.

Ein erster Schritt zur Funktionsverbesserung wurde mit der Einführung des Zündhütchens gegen Mitte des letzten Jahrhunderts erreicht. Die sogenannte Perkussionszündung (Bild 3) arbeitete mit einem Knallquecksilber enthaltenden Kupferhütchen, das auf den Zündkanal (Bild 4) gesteckt wurde. Die Waffe wurde von der Aufgabe, das Pulver zu entzünden, entbunden. Zusammen mit der Papierpatrone, in der die nötige Pulvermenge bereits dosiert war, konnten die Funktionssicherheit und Feuergeschwindigkeit erhöht werden.

Auch über das Ladeproblem der Büchsen wurde viel nachgedacht. Verschiedene Entwicklungen führten zu einem Geschoss mit einem zylindrischen Schaft, der vom Boden her eine Höhlung aufwies (Bild 5). Der durch die Pulvergase erzeugte Druck presste die zylindrische Geschosswandlung in die Züge ein, und das Geschoss konnte die Drehung übernehmen.

Diese Idee, die eigentlich zur Erleichterung des Ladevorganges dienen sollte, ist aus ballistischer Sicht die erste wesentliche Erfindung in der Geschichte der Handfeuerwaffen. Mit dieser Feststellung sollen aber die unzähligen Erfindungen,

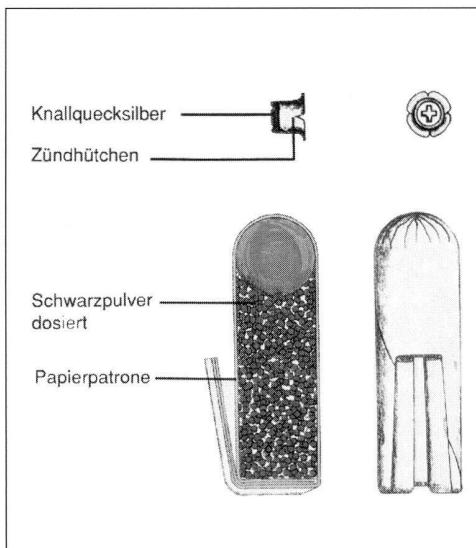


Bild 3: Munition Ordonnanz 1842, Perkussionszündung.

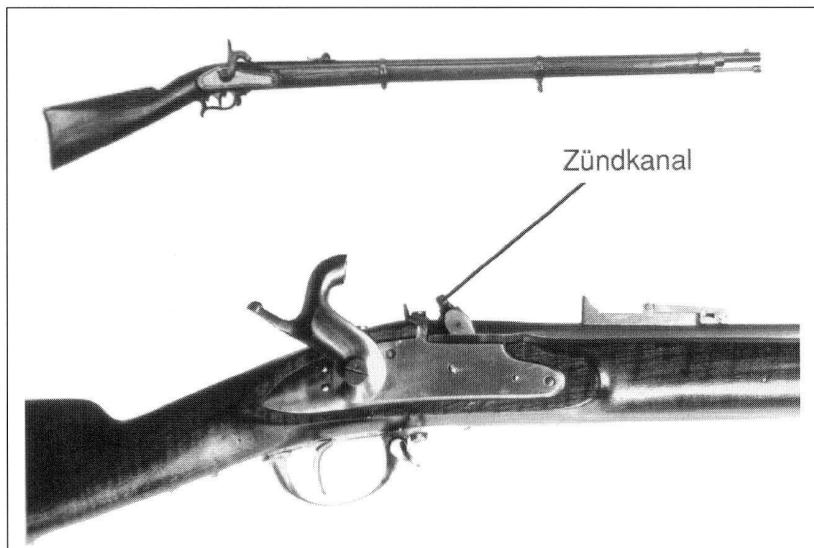


Bild 4: Infanteriegewehr Modell 1842, Perkussionszündung.

die zum technischen Fortschritt gehören, nicht gemindert werden. Mit der Anbringung eines zylindrischen Schaftes wurde das Langgeschoss erfunden, das bei gleichem Kaliber durch die grössere Masse eine deutlich grössere Querschnittsbelastung und dadurch eine gestrecktere Flugbahn ergab. Die Geschosse wären bei den damals üblichen Rundkugelkalibern so schwer geworden, dass zur Erreichung einer genügenden Anfangsgeschwindigkeit in der Pulverkammer ein zu grosser Druck entstanden wäre. Um dem abzuhelfen, wurde die erste Kaliberreduktion vollzogen. Mit der Senkung des Kalibers auf 10,5 mm war, nach Mitte des letzten Jahrhunderts, der junge Bundesstaat in der Bewaffnung seiner Soldaten international wegweisend. Bei einem Geschossgewicht von 18 g lag somit die Querschnittsbelastung bei 20 g/cm^2 . Die Präzision auf 300 m konnte wesentlich verbessert werden, die 100 %ige Streuung war $< 1 \text{ m}$ im Durchmesser.

Abnehmendes Kaliber und trotzdem zunehmende Querschnittsbelastung – dies entspricht nicht dem normalen physikalischen Verhalten. Die Handfeuerwaffen siedelten sich in einer neuen physikalischen Umgebung an. Nach diesem – aus ballistischer Sicht – revolutionären Schritt setzte in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts eine rasante Entwicklung im Bereich der Handfeuerwaffen ein.

In dieser Phase ist als wesentliche Erfindung in bezug auf die Munition die Einführung der Metallpatrone einzustufen. Die ersten ganz aus Metall bestehenden Patronen waren vom Aufbau her ähnlich

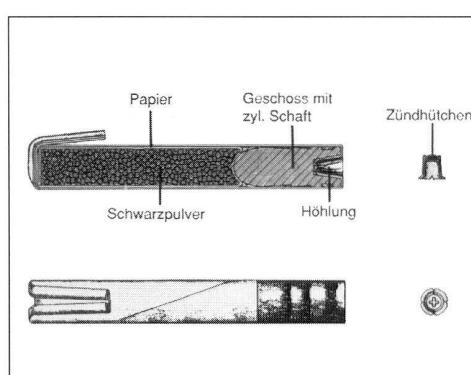


Bild 5: Papierpatrone Kaliber 10,5 mm.

einem Zündhütchen mit Pulver und einem aufgesetzten Geschoss, allerdings im Durchmesser und in der Länge vergrössert und am Boden durch einen Randwulst verstärkt (Bild 6). Der im Wulst untergebrachte Zündsatz wurde durch einen Schlag auf den Rand zur Zündung gebracht, daher die Bezeichnung «Randfeuerpatrone». Diese Zündungsart hat sich bis heute erhalten und ist mit der Kleinkaliberpatrone .22 long rifle sehr verbreitet. Später wurde wieder auf das Zündhütchen der Perkussionszündung

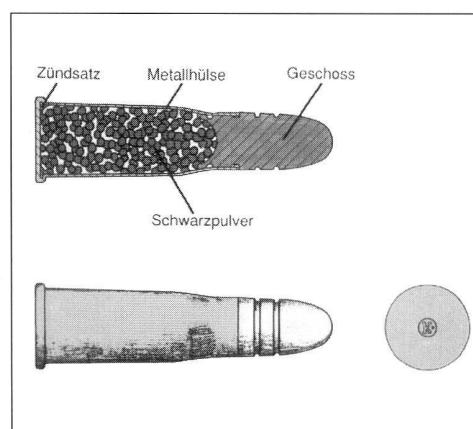
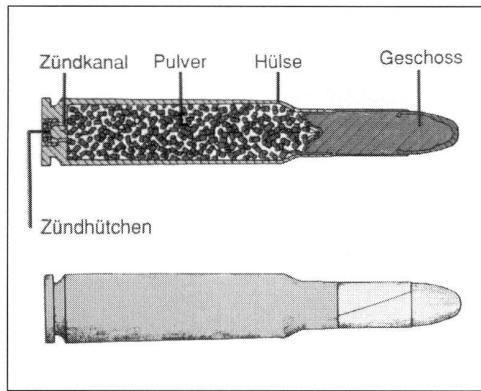


Bild 6: Munition Ordonnanz 1867.

Bild 7: Munition Ordonnanz 1890, 7,5 mm.

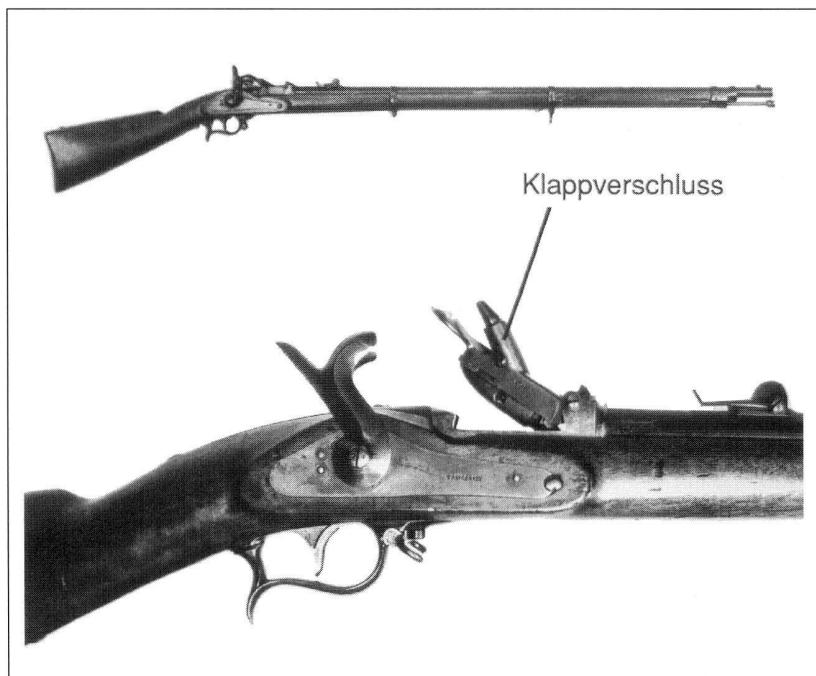


zurückgegriffen, es wurde in den Boden der Hülse eingelassen und durch einen Zündkanal mit dem Pulverraum verbunden (Bild 7). Mit der Einführung der Metallpatrone war gleichzeitig auch das Dichtungsproblem gelöst. Die Pulvergase, die das Geschoss beschleunigten, pressten die Hülse gegen die Wand des Patronenlagers und verspererten so den Gasen den Weg nach hinten. Die Metallhülse übernahm damit eine weitere Funktion, die bis dahin der Waffe zugeschrieben war.

Die Metallpatrone ermöglichte auch waffenseitig wesentliche Entwicklungsschritte, wie die Hinterlader- und Repetiergewehre.

Unter dem Druck der politischen Lage (Krieg Preussen/Österreich) wurde 1866, bereits wenige Jahre nach Einführung des Langgeschosses beim Vorderlader, von den Eidgenössischen Räten entschieden, alle klein- und grosskalibrigen Büchsen (10,5 mm / 18 mm) zum einschüssigen Hinter-

Bild 8: Hinterlader System «Milbank-Amsler».



terlader mit Klappverschluss nach System «Milbank-Amsler» umzubauen (Bild 8). Die Schiesskadenz liess sich damit von 3 Schuss/min auf 7 bis 12 Schuss/min steigern.

Jakob Amsler-Laffon, Mathematikprofessor am Schaffhauser Gymnasium und Erfinder des Polarplanimeters, verbesserte den Klappverschluss des Amerikaners J. M. Milbank zur eidgenössischen Ordonnanz 1867. Im gleichen Jahr beschlossen die Räte die Einführung eines Repetiergewehres. Mit dem Entscheid von 1868, das Vetterligewehr als Ordonnanzgewehr 1869 (Bild 9) einzuführen, hatte die Schweiz ihre Infanterie mit dem modernsten Gewehr jener Zeit ausgerüstet. Das nach seinem Konstrukteur benannte Vetterligewehr wurde in der SIG entwickelt und basierte auf einem richtungsweisenden Verschluss-System mit Warzenverriegelung. Die Schiesskadenz im gezielten Einzelschuss konnte nochmals auf 21 Schuss/min gesteigert werden.

Zu Beginn der achtziger Jahre des 19. Jahrhunderts waren die Patronen und damit die Leistungen der Waffen mit den damaligen technischen Mitteln kaum mehr zu verbessern. Bei einem Kaliber von 10,5 mm wurden Geschosse von zirka 20 g mit zirka 4 g Schwarzpulver auf zirka 450 m/s beschleunigt. Die Flugbahn dieser Geschosse war stark gekrümmmt. Eine Verbesserung, d. h. eine gestrecktere Flugbahn, hätte eine massive Steigerung der Anfangsgeschwindigkeit erfordert. Diese Erhöhung stiess aber auf grosse Schwierigkeiten. Der durch den Mündungsimpuls bedingte Rückstoss wurde sehr gross. Die weichen Bleigeschosse wurden beim Einpressen in die Züge wegen der grossen Beschleunigung abgeschert und konnten dadurch die für eine gute Präzision notwendige Eigendrehung nicht mehr übernehmen. Den physikalischen Gegebenheiten entsprechend wurden Versuche mit kleineren Kalibern durchgeführt.

In diesen Zeitpunkt fiel die Erfindung des rauchlosen Pulvers, das auf der bereits 1846 vom deutschen Chemiker Schönbein entdeckten Nitrocellulose (Schiessbaumwolle) basierte. Dieses neue Pulver besass eine ganze Reihe von Vorteilen:

- Beim Schwarzpulver setzen sich nur etwa 50 % der Stoffmenge in Gase um, während der Rest als feste Stoffe in

Form von Russ und Rauch freigesetzt wird.

- Der Anteil fester Stoffe beim neuen, rauchlosen Pulver beträgt jedoch weniger als 1 %.
- Der Wirkungsgrad des Pulvers war besser.
- Die Verschmutzung der Waffe konnte wesentlich vermindert werden.
- Es war viel einfacher, den Abbrand des Pulvers über dessen geometrische Form zu steuern, um möglichst günstige Druckverläufe zu erhalten.

Diese Vorteile öffneten den Konstrukteuren den Weg für leistungsfähigere Munition:

- Das Kaliber wurde auf 7,5 mm verkleinert, und die Geschosse wurden länger konstruiert.
- Trotz des kleineren Kalibers stieg nochmals die Querschnittsbelastung auf $31,2 \text{ g/cm}^2$.
- Die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses liess sich auf Werte um 600 m/s heben.

Die letzteren beiden Aussagen widersprechen dem physikalischen Rahmen der Ballistik. Das rauchlose Pulver kann somit als eine sehr wesentliche Erfindung eingestuft werden.

Verfolgen wir die Entwicklung der Handfeuerwaffen und Munition unter dem ballistischen Gesichtspunkt der Querschnittsbelastung weiter, so stellen wir fest, dass seither keine entscheidenden Erfindungen mehr gemacht worden sind. Wohl haben sich Kaliber, Geschossmasse und Mün-

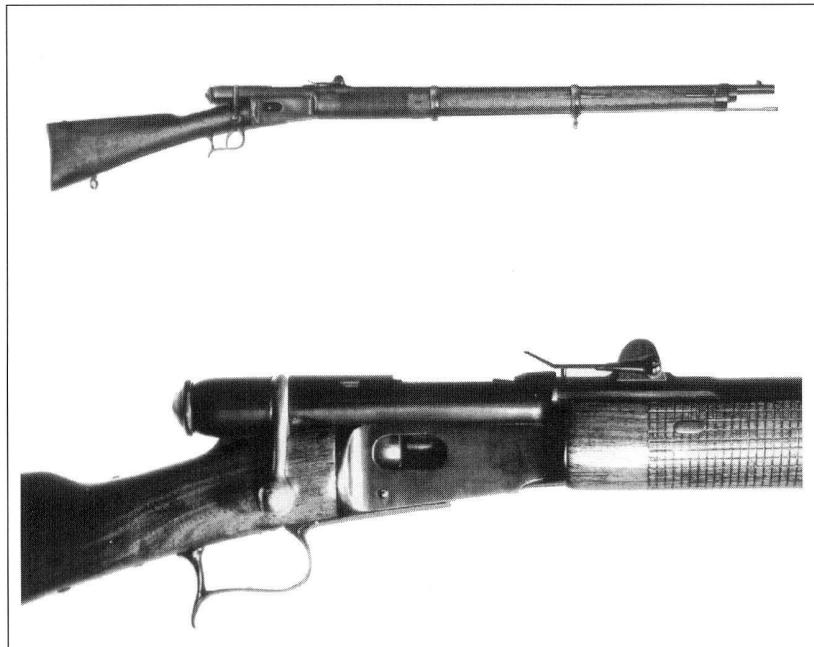


Bild 9: Schweiz. Vetterligewehr Modell 1869.

dungsgeschwindigkeit ab und zu geändert, stets jedoch im normalen physikalischen Rahmen der Ballistik. Auch modernste Waffen- und Munitionsentwicklungen, wie etwa die hülsenlosen Systeme, folgen getreulich diesem seit Ende des letzten Jahrhunderts abgesteckten Rahmen (Bild 10).

Waffenseitig wurden bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts die ersten Selbstladesysteme entwickelt, wobei sich zwei Prinzipien durchsetzten. Der Rückstosslader nützt zum automatischen Nachladen den Rückstossimpuls aus. Beim andern System, dem Gasdrucklader, wird an einer bestimmten Stelle der Lauf angezapft und der während der Schussent-

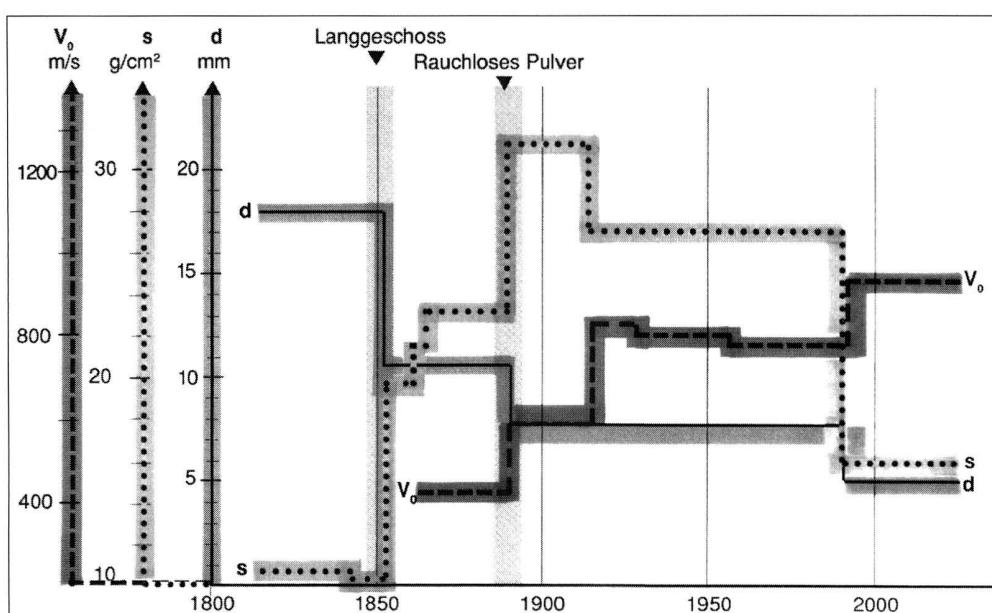


Bild 10: Entwicklung von Kaliber d (mm), Querschnittsbelastung s (g/cm^2) und Anfangsgeschwindigkeit V_0 (m/s).

wicklung vorhandene Druck benutzt, um über einen Kolben und ein Gestänge den Verschluss zu öffnen. Auch die SIG baute bereits um die Jahrhundertwende einen funktionstüchtigen Gasdrucklader mit Drehverschluss. Es dauerte jedoch noch einige Zeit, bis sich das Selbstladeprinzip auch bei der persönlichen Waffe des Soldaten durchsetzen konnte. Während bei der Weltkriege war diese Bewaffnung Spezialtruppen vorbehalten. In der Schweizer Armee wurde die Selbstladegewehrgeneration übersprungen. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg erhielt mit dem Stgw 57 der Schweizer Soldat ein Automatengewehr als persönliche Waffe. 1988 ist die Umrüstung auf das moderne und leichtere Stgw 90 angelaufen (Bild 11). Die Technik dieser neuen Waffe wird am Schluss des Artikels (Seite 37) speziell beschrieben.



Bild 11: Sturmgewehr 90.

2. Beschaffung der persönlichen Waffe im letzten Jahrhundert und heute

Bis zur Gründung des Bundesstaates 1848 wurden die Waffen im allgemeinen von den Kantonen im Ausland beschafft. Eine Ausnahme davon machten lediglich die Gewehre der Scharfschützen, die meist als Qualitätsprodukte des im ganzen Land verbreiteten Büchsenmachergewerbes hergestellt wurden. Aber auch hier wurden Schlosser und Läufe, d. h. die Hauptkomponenten, meistens im Ausland gekauft und in den Privatbetrieben bearbeitet, ausgerüstet und eingeschossen. Da jeder Büchsenmacher seine eigenen Fabrikationsgeheimnisse hatte, wiesen die einzelnen Waffen grosse Unterschiede in bezug auf Ausführung, Qualität und Präzision auf. Die Bewaffnung der Armee war somit sehr uneinheitlich und unterschied sich nicht nur von Kanton zu Kanton, sondern auch von Waffengattung zu Waffengattung.

Nach Mitte des letzten Jahrhunderts rief der Bundesrat die Industrie auf, sich neben dem weitverzweigten schweizerischen Büchsenmachergewerbe an der Gewehrproduktion zu beteiligen, um eine Standardisierung zu erreichen und vor allem die Auslandabhängigkeit zu reduzieren.

1860 begann die SIG mit der Waffenproduktion. Auf industrieller Basis wurden Flinten in Büchsen (System Prélaz-Burnand) umgebaut und in grösseren Stück

zahlen das Infanteriegewehr 1863 hergestellt.

1864 setzte der Bund bereits eine Eidgenössische Waffenkontrolle zur Prüfung und Erprobung der Produkte ein. Durch diese Eidg. Waffenkontrolle werden heute noch unter anderem auch die Stgw 90 abgenommen.

Mit der Schaffung der Eidgenössischen Montierwerkstätte in Bern im Jahre 1871 beginnt die Ära der staatlichen Waffenfabrik. Der Bund übernahm fortan immer deutlicher die Führung in der Entwicklung und Herstellung von Handfeuerwaffen. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg gelang der Privatindustrie (SIG) im harten Wettbewerb mit der staatlichen Rüstungsindustrie mit dem Stgw 57 und dem Stgw 90 der Einbruch in diese Führungsposition. Dank dieser harten Konkurrenz gelangten dafür sehr gute persönliche Waffen zur Einführung in die Armee.

In der laufenden Beschaffung des Stgw 90 ist die SIG Generalunternehmerin und trägt die Systemverantwortung. Als besondere Auflagen sind hervorzuheben:

- 100 % der Fertigung in der Schweiz.
- Zirka 30 % des Herstellumfangs sind der Eidg. Waffenfabrik Bern zu vergeben.
- Herstellung der Einzelteile in der Schweiz unter Beachtung einer angemessenen regionalen Verteilung.

3. Aktuelle und modernste Technik – Das Stgw 90, die neue persönliche Waffe der Schweizer Soldaten

In Neuhausen wird das «Herzstück» des Sturmgewehres gefertigt, d. h. die Teile, welche für die Funktionssicherheit und Präzision der Waffe spezielles waffen-technisches Know-how erfordern. Dies sind das Verschlussgehäuse, der Verschluss und der Lauf.

Den einzelnen technischen Anforderungen stellen wir die Leistungen des Waffen-systems gegenüber. Das Stgw 90 liegt im internationalen Vergleich an der Spitze, bedingt durch die hohen Anforderungen des Pflichtenheftes der Schweizer Armee.

Die wesentlichen technischen Daten

1. Präzision

Die Forderung 50 %ige Streuung auf 300 m 11 x 11 cm ist die gleiche wie für das Stgw 57, den Karabiner 31 und das JG 11. Hier bestätigt sich die Aussage, dass in den letzten 100 Jahren kein wesentlicher Entwicklungsschritt mehr gemacht wurde. Mit einem stabilen System und einer optimalen Verriegelung erreichen wir heute im Durchschnitt eine 50 %ige Streuung von 6 x 6 cm, wobei die Munition aus dem Dicklauf bereits eine 50 %ige Streuung von 4,5 x 4,5 cm aufweist. Diese sehr gute Präzision ist auch ein Grund, warum die SIG bis heute 25 000 Einzelschussgewehre an Sportschützen in der Schweiz verkauft hat. Als Vergleich: Das Stgw 57 erreichte eine 50 %ige Streuung im Durchschnitt von 8 x 8 cm bei gleicher Munitionsstreuung.

2. Selbstzündergrenze

Mit dem Gasdrucklader und einem massiven Lauf gibt es bei 240 Schuss Serie-feuer noch keine Selbstzünder.

3. Die Fallsicherheit (keine Zündung) auf Kolben und Mündung wird erreicht.

4. Lebensdauer

Mit einem einfachen und robusten Aufbau liegen auch die Verschleisssteile inkl. Lauf über 15 000 Schuss. Die Gewehrgranaten werden mit der Kampfmunition ver-schossen, die Waffe repetiert automa-tisch.

5. Funktionssicherheit

Im Dauerbeschuss treten praktisch keine Störungen auf.



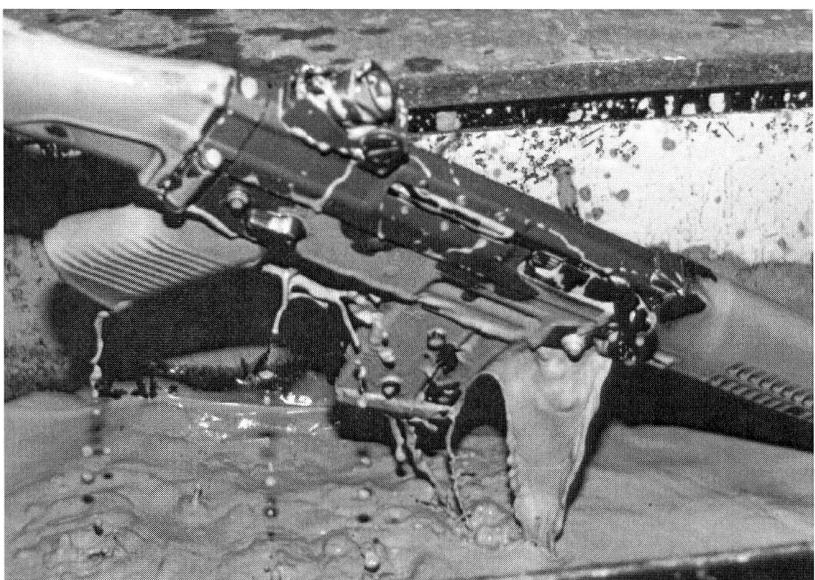
Bild 12: Sturmgewehr 90 im Kältetest, Jungfrau-Joch.

- Kälte / Schnee: Bei -20°C und komplett vereister Waffe inkl. Eis im Patronen-lager benötigt ein ausgebildeter Soldat bis zur sicheren Funktion <30“ (Bild 12).
- Wärme: Waffe und Munition auf + 60°C erwärmt, sichere Funktion.
- Schlamm: Bis und mit Schlammbad Nr. 12 (Bad aus 40 l Wasser, 20 kg Ton, 4 kg Sand) werden die Funktions-anforderungen erfüllt (Bild 13).
- Staub / Sand / Sandschlepp: Ohne Pro-bleme.
- Regen: Bei tropischen Verhältnissen (1 cm Regen/min, während 84 Minuten) werden 600 Schuss verschossen – keine Störungen.

6. Konventionen

Vom Lauf und der Munition abhängig, werden vollständig erfüllt.

Bild 13: Sturmgewehr 90 im Schlammtest.



Literaturverzeichnis

Hand- und Faustfeuerwaffen
Schweizerische Ordonnanz
1817 bis 1975
Verlag Huber, Frauenfeld

Bewaffnung und Ausrüstung
der Schweizer Armee seit
1817

Handfeuerwaffen System
Vetterli
Verlag Stocker-Schmid,
Dietikon-Zürich

Bewaffnung und Ausrüstung
der Schweizer Armee seit
1817

Eidgenössische Handfeuer-
waffen
Verlag Stocker-Schmid,
Dietikon-Zürich

Bewaffnung und Ausrüstung
der Schweizer Armee seit
1817

Handfeuerwaffen Gradzug-
Systeme
Verlag Stocker-Schmid,
Dietikon-Zürich

Wundballistik und ihre
ballistischen Grundlagen
Springer Verlag, Berlin/
Heidelberg 1992
Karl Sellier und Beat
Kneuenbühl

7. Leuchtpurdistanz

Erfüllt durch die Munition.

Die Anforderungen an das System und damit an die Entwicklung und Konstruktion sind hoch, dargestellt an zwei Vergleichen:

- Die konstruktiven Zielsetzungen für eine sehr gute Präzision und eine sichere Funktion in Sand und Schlamm sind entgegengesetzt.

Ganz vereinfacht erklärt, bedeutet die erste Forderung (sehr gute Präzision) möglichst wenig Spiel zwischen Verschluss und Gehäuse sowie in der Verriegelung und die zweite möglichst viel

Spiel. Die Erfüllung solcher Forderungen mit der gleichen Waffe ist immer wieder eine grosse Herausforderung an die Konstrukteure.

- Das Sturmgewehr 90 ist ein Gerät mit einer sehr hohen Leistungsdichte. Im Seriefeuer hat es eine hohe spezifische Leistung von 8 PS/kg Waffe, dies darf sich im Vergleich mit einem Formel 1-Rennmotor von 5 PS/kg Motor sehen lassen.

Zum Schluss ein kurzer Leistungsvergleich mit dem Repetiergewehr Modell 1889, einem System, das rund 100 Jahre früher entwickelt wurde.

Vergleich	Stgw 90	Repetierer 1889
Funktionsprinzip	Gasdrucklader	Repetierer
Verschluss	Drehverschluss	
Kaliber	5,6 mm	7,5 mm GP 90
Munition		
• Patronengewicht	12,0 g	27,8 g
• Geschossgewicht	4,1 g	13,8 g
• Mündungsgeschwindigkeit	> 900 m/s	590 m/s
Waffenabmessungen		
• Gesamtlänge	100 cm	130 cm
• Länge mit umgelegtem Kolben	77 cm	–
• Gesamthöhe	21 cm	11 cm
Waffengewicht		
• Komplett mit Stütze und Magazin	4,1 kg	4,9 kg
• Kampfbereitschaftsgewicht mit 120 Schuss	6,0 kg	8,2 kg
Schussfolge / Kadenz		
• im gezielten Einzelfeuer	> 60 Schuss/min	21 Schuss/min
• im Kurzfeuer	3-Schuss-Automat	–
• im Seriefeuer	600–900 Schuss/min	–
Spezifische Leistung		
• im Seriefeuer	8 PS/kg Waffe	–
• im Einzelfeuer		0,25 PS/kg Waffe

Die Zahlen zeigen für das Stgw 90 eine deutliche Leistungssteigerung. Aus ballistischer Sicht bewegen wir uns im gleichen physikalischen Rahmen, die Entwicklungsmöglichkeiten sind jedoch bald ausgeschöpft. Dies zeigt sich deutlich, indem wir für jede Weiterentwicklung einen grossen technischen Aufwand betreiben müssen.