

## Übersichtsreferat · Review Article

# Über Geschößablenkung und Geschößdeformation

### Eine Übersicht

KARL SELLIER

Institut für gerichtliche Medizin der Universität Bonn (BRD)

Eingegangen am 30. August 1971

## Bullet Deflection and Bullet Deformation

### A Survey

*Summary.* A description is given of the bullet deflection caused by the branches of trees and human ribs and moreover of the ricocheting of bullets of metal and wooden plates as well as water surface. Measured deflection values are listed. Deflection is very small when ribs are grazed or perforated. The momentum of the bullet is decisive for the extent of the deflection. For metal plates, maximum total deflection may be 65 degrees. However, in this case kinetic energy is very low. With respect to water and wood a "hydraulic effect" is responsible for the deflection of the bullet. Again kinetic energy is reduced with the rise of the deflection angle. Finally, the "natural" drift of a projectile in the global field of gravity is discussed.

A survey is given of the deformation of bullets striking and/or penetrating various materials. The extent of the deformation depends on the following parameters: type of bullet (full jacketed bullet, soft nose bullet or unjacketed bullet, shape of bullet head) impact velocity and nature of target material (gelatinic, wood, sand, bone, steel). The above materials were fired at with conventional bullets of different types at different velocities and the characteristic results shown by photographs.

Bullet deformation is the subject of theoretical deliberation.

*Zusammenfassung.* Die Ablenkung von Geschossen an Ästen und Rippen wird beschrieben, weiterhin das Ricochettieren von Geschossen an Metall- und Holzplatten sowie Wasseroberflächen. Meßwerte der Ablenkung werden angegeben. Sie ist beim Streifen und Durchschlag von Rippen sehr gering. Der Impuls des Geschosses ist maßgebend für die Größe der Ablenkung. Bei Metallplatten kann die Gesamtablenkung bis zu 65° betragen. Die Geschößenergie ist dann aber sehr gering. Bei Wasser und Holz führt ein „hydraulischer“ Effekt zur Ablenkung des Geschosses. Auch dabei gilt, daß mit steigendem Ablenkwinkel die Geschößenergie vermindert wird. Zum Schluß wird die „natürliche“ Ablenkung eines Geschosses im Schwerfeld der Erde besprochen.

Es wird ein Überblick über die Deformation von Geschossen gegeben, wenn sie auf verschiedenes Material aufschlagen bzw. eindringen. Der Deformationsgrad hängt von folgenden Parametern ab: Bauart des Geschosses (Vollmantel-, Teilmantel- oder mantelloses Geschöß, Form des Geschößkopfes), Aufschlaggeschwindigkeit und Art des Zielmaterials (Gelatine, Holz, Sand, Knochen, Stahl). Mit gängigen Geschossen verschiedener Bauart wurde mit unterschiedlicher Geschwindigkeit auf die oben angegebenen Materialien geschossen und die typischen Ergebnisse im Bild gezeigt. Theoretische Überlegungen bezüglich der Geschößdeformation werden angestellt.

*Key words:* Geschößablenkung — Geschößdeformation — Jagdunfall — Schuß.

*Verwendete Zeichen*

$v$	Geschoßgeschwindigkeit
$v_a$	(speziell) Auftreffgeschwindigkeit
$v_{gr}$	Grenzgeschwindigkeit, unterhalb derer keine Geschoßdeformation eintritt
$v_0$	Mündungsgeschwindigkeit
$K$	Reaktionskraft zwischen Geschoß und Ziel
$p$	Druck am Geschoßkopf beim Durchdringen flüssiger und fester Medien
$\rho$	Dichte
$\sigma_D$	Druckfestigkeit (kp/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_Z$	Zugfestigkeit (kp/mm <sup>2</sup> )
$\tau$	Berührungszeit zwischen Geschoß und Ziel
$\sim$	„proportional zu“ oder „ungefähr“
FK-(Geschoß)	Flachkopf-(Geschoß)
HV-	Hochgeschwindigkeits- (High Velocity-)
KK-	Klein-Kaliber-
RK-	Rundkopf-
TM-	Teil-Mantel-
VM-	Voll-Mantel-

**I. Geschoßablenkung***1. Einleitung*

Aus zwei Punkten der Flugbahn (z. B. Ein- und Auschuß im Körper; Schuß durch Tür mit Steckschuß in der gegenüberliegenden Wand usw.) können nur dann Seiten- und Höhenwinkel berechnet werden, wenn man sicher ist, daß das Geschoß zwischen den beiden Punkten keine Ablenkung erfahren hat. Über die Größe der Ablenkung bestehen oft unklare Vorstellungen. Wir haben systematische Versuche über die Ablenkung von Geschossen verschiedener Masse und Geschwindigkeit an Rippen und Holzstangen durchgeführt und auch die Ablenkung beim Schuß durch homogene Körper (Gelatine) gemessen. Die Ergebnisse werden dargestellt. Es schien aber zweckmäßig, aus der Literatur das über Geschoßablenkung gesammelte Material darzustellen, um dem Leser eine Übersicht über das Gebiet zu geben, zumal seit Erscheinen der Monographie von Sellier [20] weitere Arbeiten erschienen sind.

*2. Allgemeines*

Eine Geschoßablenkung tritt immer dann ein, wenn die Richtung der einwirkenden Kraft nicht in Flugbahnrichtung liegt (eine *in* Flugbahnrichtung liegende Kraft ist z. B. der Luftwiderstand). Das Aufprallen auf ein Hindernis oder das Streifen eines solchen ist physikalisch ein Stoß und kann daher nach dem Stoßgesetz behandelt werden. Exakte Ergebnisse sind aber nur dann zu erwarten, wenn „saubere“ Versuchsbedingungen vorherrschen, d. h. wenn alle Parameter bekannt sind. Diese Voraussetzungen sind beim Streifen eines Geschosses an einem Ast z. B. nicht gegeben, wohl aber beim Billardspiel, bei dem gerade die gefühlsmäßige Handhabung der Kugeln und die Kenntnis des Ablenkwinkels der Kugel beim Stoß zum Spielerfolg führt. Wesentliche Parameter des Stoßgesetzes sind: die Massen und Geschwindigkeiten der beteiligten Körper sowie deren Stoßzahlen  $\varepsilon$  ( $\varepsilon$  liegt zwischen 0 und 1). Ein Material besitzt dann  $\varepsilon = 1$ , wenn es, als Kugel geformt, im freien Fall nach Stoß auf eine Glas- oder Stahlplatte wieder zum ursprünglichen Startpunkt zurückkehrt (elastischer Stoß).

$\varepsilon = 0$  bedeutet ein Material, das beim Stoß die gesamte kinetische Energie in Wärme umwandelt, es wird überhaupt nicht reflektiert (Beispiel: Plastilin). Blei als Geschoßmaterial besitzt ein  $\varepsilon$  nahe bei 0, ist daher beim Stoß als mehr plastisch anzusehen, das gleiche gilt etwa für Holz, während Stahl, Glas, Elfenbein ein  $\varepsilon$  von fast 1 besitzen.

Das Produkt aus Masse  $m$  und Geschwindigkeit  $v$ , Impuls genannt ( $I = m \cdot v$ ), ist die wesentliche Größe beim Stoß. Das Stoßgesetz besagt, daß die Summe der Impulse der beiden am Stoß beteiligten Körper vor und nach dem Stoß gleich sind.

Das gilt *nicht* für die (kinetischen) Energien. Denn beim Stoß kann ein Teil der Energie in Wärme umgewandelt werden, wie es bei Bleigeschossen immer geschieht.

Der Geschoßimpuls (und damit die Geschwindigkeit des Geschosses) kann sich der Größe und/oder der Richtung nach ändern, je nachdem das Geschoß zentral oder exzentrisch auf einen Gegenstand stößt. Die Änderung der Größe und Richtung des Geschoßimpulses ist um so kleiner, je größer dieser in bezug auf den gestoßenen Körper ist. Bei gegebenen Zielverhältnissen, z. B. Streifen eines Astes, ist daher die Ablenkung des Geschosses um so kleiner, je größer der Geschoßimpuls ist.

### 3. Ablenkung von Geschossen durch schräges Auftreffen auf ebene Platten verschiedenen Materials

#### 3.1. Allgemeines

Die Geschwindigkeit eines unter dem Winkel  $\alpha$  auftreffenden Geschosses kann in zwei Komponenten zerlegt werden: in eine Normalkomponente  $v_n$  senkrecht zur Auftrefffläche und in eine Tangentialkomponente  $v_t$  parallel zur Fläche. Es gilt (Abb. 1):

$$\begin{aligned} v_n &= v \cdot \sin \alpha, \\ v_t &= v \cdot \cos \alpha. \end{aligned}$$

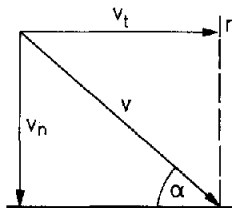


Abb. 1. Zerlegung der Aufprallgeschwindigkeit  $v$  in die Normalkomponente  $v_n$  und Tangentialkomponente  $v_t$ .  $n$  Flächen-Normale

Die entsprechenden Energien dieser Komponenten sind:

$$\begin{aligned} E_n &= E \cdot \sin^2 \alpha, \\ E_t &= E \cdot \cos^2 \alpha \quad \text{und weiter:} \\ E_n + E_t &= E \quad \text{wegen} \quad \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \end{aligned}$$

( $E = \frac{m}{2} v^2 =$  Energie des auftreffenden Geschosses). Nur die Normalkomponente  $E_n$  bzw.  $v_n$  ist für die Wirkung auf die Platte und umgekehrt auf das Geschoß,

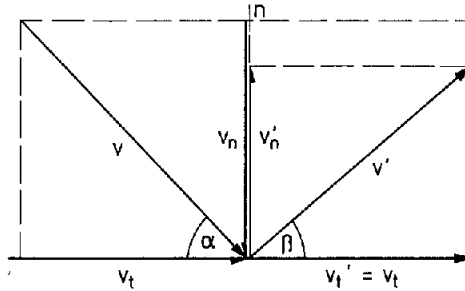


Abb. 2. Verhältnisse beim Rikochettieren. Die Tangentialkomponente  $v_t$  bleibt (theoretisch) unverändert, die Normalkomponente  $v_n$  wird umgekehrt und verkleinert nach  $v'_n = \epsilon \cdot v_n$ . Dadurch wird  $\beta < \alpha$

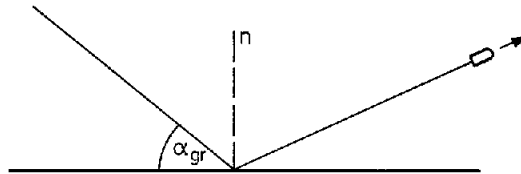


Abb. 3. Grenzwinkel des Rikochettierens

insbesondere auch für die Geschosßdeformation, maßgebend. Je streifender ein Geschosß (bei gleicher Gesamtenergie) auftrifft, um so kleiner die Kraftwirkung.

Beim Stoß bleibt  $v_t$  (bzw.  $E_t$ ) unverändert (von der Reibung des Geschosses an der Platte beim Stoß abgesehen), während sich  $v_n$  nach den Stoßgesetzen ändert. Ist  $\epsilon = 1$  (z.B. Stahlkugel gegen Stahlplatte) wird  $v_n$  nur umgekehrt, dessen Größe bleibt erhalten. Die Kugel wird reflektiert, es gilt das Reflexionsgesetz:  $\alpha = \beta$ . Bei Blei mit  $\epsilon < 1$  gilt:

$$v'_n = \epsilon \cdot v_n$$

( $v'_n$  = Normalgeschwindigkeit nach dem Stoß). Daraus folgt (Abb. 2), daß der Abprallwinkel  $\beta$  kleiner als der Aufprallwinkel  $\alpha$  ist. Im Extremfall rutscht das Geschosß an der Platte entlang ( $\beta = 0$ ), wenn es mit einem Winkel  $\alpha > 0$  aufgetroffen ist.

Die Frage ist nun, wie groß maximal  $\alpha$  sein darf, damit das Geschosß noch rikochettiert. Dieser Winkel wird  $\alpha_{gr}$  genannt (Abb. 3). Es leuchtet ein, daß dieser Grenzwinkel von der Härte des Zielmaterials und dessen Dicke abhängt: Je härter das Material, je größer die Dicke und je kleiner die Auftreffgeschwindigkeit, um so größer  $\alpha_{gr}$ .

### 3.2. Rikochettieren an Metallplatten [11]

Wird nach Versuchen von Jauhari [11]  $\alpha > \alpha_{gr}$ , gibt es mehrere Möglichkeiten: entweder das Geschosß dringt durch die Platte oder es zerlegt sich und die Splitter fliegen weiter, dann allerdings mit geringer Energie. Die Anzahl der Parameter beim Rikochettieren sind zahlreich: Energie bzw. Geschwindigkeit des Geschosses,

Tabelle 1. Grenzwinkel  $\alpha_{gr}$  für verschiedene Geschosse nach Jauhari

Patrone	Al		Messing		Stahl	
	$\frac{1}{16}$ '' (Dicke der Platte in Zoll)	$\frac{1}{8}$ ''	$\frac{1}{16}$ ''	$\frac{1}{8}$ ''	$\frac{1}{16}$ ''	$\frac{1}{8}$ ''
22 lr.	10—15	30—35	25—30	20—25	30—35	30—35
.38	20—25	35—40	60—65	35—40	50—55	50—55
.45ACP	10—15	25—30	25—30	50—55	30—35	30—35

dessen Bauart (Bleigeschöß, Mantelgeschöß und dessen Varianten, z.B. Jagdgeschöß), Dicke und Material der Platte. Die Versuche von Jauhari bieten daher nur einen kleinen Ausschnitt des Problems.

Folgende allgemeine Überlegungen können noch angestellt werden. Wenn z.B. ein bestimmtes Geschöß bei senkrechtem Aufprall ein bestimmtes vorgegebenes Material gegebener Dicke durchdringt und danach noch überschüssige Energie besitzt, wird es auch noch bei Aufprall unter einem bestimmten Winkel die Platte durchdringen können. Es gilt, wenn  $E_0$  die Aufprallenergie und  $E_p$  die erforderliche Eindringenergie ist, folgendes:

$$E_p = E_0 \cos^2 \alpha_p$$

bzw.

$$\cos \alpha_p = \sqrt{\frac{E_p}{E_0}}$$

$\alpha_p$  ist gerade der Wert, bei dem die Normalkomponente von  $E_0$  gerade  $E_p$  ist.

In [11] sind weitere Werte von  $\alpha$  und  $\beta$  angegeben z.B. für das .38-Geschöß auf eine  $\frac{1}{16}$ '' dicke Messingplatte (Tabelle 2).

Tabelle 2

$\alpha$	$\beta$
15	7
30	10
45	20
60	37
65	a

<sup>a</sup> Bei  $\alpha = 65^\circ$  zerlegt sich das Geschöß.

Aus diesen Werten kann auf das  $\varepsilon$  dieses (Blei-)Geschößes geschlossen werden. Es gilt nämlich:

$$\varepsilon = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Mit den Werten aus Tabelle 2 ergeben sich Werte von  $\varepsilon$  zwischen 0,3 und 0,5.

Für die Begutachtung sind Werte von  $\alpha$  und  $\beta$  relativ uninteressant. Wesentlich ist nur die Frage nach der Gesamtablenkung des Geschößes (Winkel  $\gamma$  nach Abb. 4). Winkel  $\gamma$  errechnet sich einfach zu:

$$\gamma = \alpha + \beta.$$

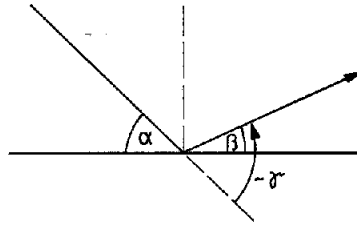


Abb. 4. Der Aufprallwinkel  $\alpha$  und der dazugehörige Abprallwinkel  $\beta$  erzeugt eine Gesamtablenkung  $\gamma$  des Geschosses

Aus den Versuchen von [11] ergeben sich so die Werte von  $\gamma$  aus Tabelle 3.

Tabelle 3. *Maximal mögliche Gesamtablenkung  $\gamma$  von Geschossen in Grad*

	Al		Messing		Stahl	
	$\frac{1}{16}''$	$\frac{1}{8}''$	$\frac{1}{16}''$	$\frac{1}{8}''$	$\frac{1}{16}''$	$\frac{1}{8}''$
	(Dicke der Platte in Zoll)					
.22 lr.	16	33	31	22	33	30
.38	30	43	107	44	67	59
.45ACP	17	37	44	66	40	33

In jedem Falle gilt der Satz: je größer der Ablenkwinkel  $\gamma$ , um so mehr sinkt die ursprüngliche Geschosenergie und um so mehr ist das Geschöß deformiert. Das zeigen z. B. Abb. 5 und 6, die nach Werten aus [12] gezeichnet worden sind. Bemerkenswert ist bei allen diesen Versuchen noch die Tatsache, daß die Geschosse schon beim Streifen solcher Platten „unstabil“ werden, d. h. daß die Geschößachse mehr oder weniger quer zur Flugbahn steht („Querschläger“).

Unter einem Querschläger im strengen Sinne des Wortes wird ein Geschöß verstanden, dessen Figuren achse senkrecht zur Flugbahn steht (sog. „Präzessionswinkel“ =  $90^\circ$ ). Im Sprachgebrauch wird ein Geschöß aber schon dann als Querschläger betrachtet, wenn sein Präzessionswinkel erheblich über das normale Maß hinausgeht. Ein Infanterie-Spitzgeschöß besitzt z. B. normalerweise schon — durch die Wirkung des Luftwiderstandes — einen Winkel von  $\sim 7^\circ$  (Näheres s. [20]).

### 3.3. Rikochettieren an Erde, Beton usw.

Erde als lockeres Material besitzt nur ein  $\alpha_{gr}$  von etwa  $7^\circ$  [5]. Da aber der Begriff „Erde“ nicht definiert ist (man denke z. B. an Humusboden oder Tonerde), ist der oben angegebene Wert nur als Anhaltspunkt zu werten. Gefrorener Boden besitzt ein größeres  $\alpha_{gr}$ . Ist der Boden gar mit Steinen durchsetzt und trifft das Geschöß zufällig auf einen (flachen) Stein auf, kann  $\alpha_{gr}$  erhebliche Werte annehmen (etwa wie bei Stahl, s. d.), die weit aus über denen von Erde liegen. Während beim Schuß auf ebenen Boden, etwa Beton, die Flugbahn des Geschosses auch nach dem Rikochettieren immer in einer vertikalen Ebene bleibt, ist das bei im Boden liegenden Steinen nicht der Fall, da sie je nach der Stellung ihrer Oberfläche zum Geschöß fast beliebige Ablenkwinkel in bezug auf Höhe und Seite erzeugen können. Es wurde oben erwähnt, daß mit steigendem Ablenkwinkel  $\gamma$  die Energie

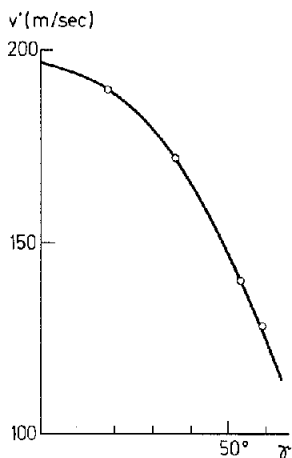


Abb. 5

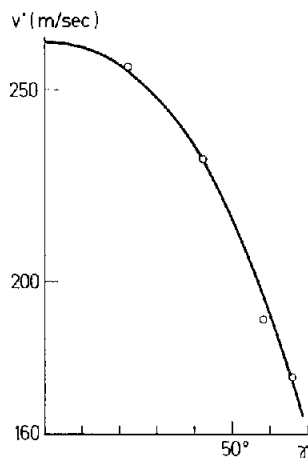


Abb. 6

Abb. 5. Geschwindigkeitsverlust eines Geschößes beim Rikochettieren an einer Metallplatte. Abszisse: Gesamtablenkung  $\gamma$  des Geschößes, Ordinate:  $v'$  Geschößgeschwindigkeit nach dem Abprallen. Geschöß der Patrone .38, Bleigeschöß,  $v_0 = 197$  m/sec (= Aufprallgeschwindigkeit), gezeichnet nach Werten aus [10]

Abb. 6. Legende wie Abb. 5, verwendetes Geschöß der Patrone .45 Colt (aus der Arbeit [10] geht nicht hervor, ob es sich um ein Mantelgeschöß (Patrone .45 ACP für Pistole) oder um ein Bleigeschöß (Patrone .45 Colt für Revolver) handelt).  $v_0 = 262$  m/sec

des abprallenden Geschößes sinkt und bei höheren Werten von  $\gamma$  Zerlegung eintritt. Ist die Primärenergie des Geschößes relativ gering (Pistolen- und Revolvermunition), stellen die unter großem Winkel  $\gamma$  abprallenden Geschößsplitter keine tödliche Gefahr mehr dar, im Gegensatz zu Büchsen geschößes mit Primärenergien um 300—400 mkp. Deren Splitter haben auch bei großen Ablenkwinkeln noch genügend Energie, um z. B. in das Gehirn oder den Brustkorb einzudringen.

Beispiel aus eigener Erfahrung: Ein Schütze schoß auf eine Sau und verfehlte sie, das Geschöß (Gewicht 11 p,  $v = 850$  m/sec,  $E \sim 400$  mkp) traf auf einen Stein und zerlegte sich. Ein Geschößsplitter rikochettierte unter einem Winkel von  $20^\circ$  und traf den 80 m entfernt stehenden Nachbarschützen in den Kopf, Tod nach 3 Std trotz neurochirurgischer Intervention.

Die ballistische Abteilung des FBI hat „praxisnahe“ Untersuchungen über das Rikochettieren von Geschößes am Boden, bestehend aus Beton, Asphalt oder Rasen, durchgeführt [7]. Verwendet wurden die bei der US-Polizei gebräuchlichen Pistolen- und Revolverpatronen (.38 Spec., .357 Magn., .45 ACP und 9 mm Parabellum, letztere in USA als 9 mm Luger bekannt), weiterhin Schrot („Buckshot 00“, Korndurchmesser  $\sim 5,8$  mm, in Deutschland ungebräuchlich) und Flintenlaufgeschosse.

„Buckshot“ (= Bockschrot) wurde früher in Deutschland zur Reh(bock)jagd verwendet und als „Rehposten“ bezeichnet (jetzt dafür verboten). Heute wird diese Schrotpatrone z. B. in Vietnam verwendet (Inhalt 9 Kugeln). Einerseits ist die Größe und Energie der einzelnen Kugeln ausreichend, um einen Gegner außer Gefecht zu setzen, andererseits wird eine gewisse Streuung erreicht, so daß ein genaues Zielen nicht erforderlich ist. — Nach der Genfer Konvention ist es theoretisch verboten, Schrotpatronen anzuwenden.

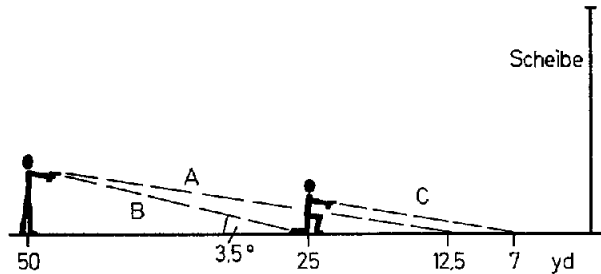


Abb. 7. Schematische Darstellung der Versuche des FBI (1 yd  $\sim$  0,92 m)

Die Versuchsanordnung ist in Abb. 7 skizziert. Der maximale Auftreffwinkel (in Versuchsserie B) betrug  $\sim 3,5^\circ$ . Bei allen Serien rikochoettierte sämtliche verwendeten Geschosse, wie nach dem oben Gesagten nicht anders zu erwarten war. Bei festgehaltenem Auftreffwinkel  $\alpha$  war für Beton der Abprallwinkel  $\beta$  am kleinsten, für Rasen am größten.

$\beta$  wird in der Arbeit nicht angegeben; es werden nur die Abbildungen der Schießscheiben gezeigt, aus denen in etwa  $\beta$  abgelesen werden kann.

Speziell ergibt sich bei der Versuchsserie B folgendes: Steht der Schütze in normaler Schießhaltung (und schießt 25 yd vor sich auf den Boden), so erhält eine in 50 yd vom Schützen stehende Person bei Beton- und Asphaltboden Treffer in die Beine oder maximal in den Unterbauch, bei Rasen jedoch möglicherweise in die Brust (gilt insbesondere für Flintenlaufgeschosse).

Aus diesen Versuchsergebnissen folgt, daß bei festgehaltenem  $\alpha$  der Abprallwinkel  $\beta$  um so größer wird, je weicher der beschossene Boden ist. Für Rasen folgt weiter, daß  $\beta$  nahe bei  $\alpha$  liegt, daß also fast das Reflexionsgesetz  $\alpha = \beta$  erfüllt ist. Das mag daran liegen, daß Erde (Rasen) relativ zum Geschossmaterial weich ist und daher das Geschosß weniger deformiert wird. Der Geschwindigkeitsverlust der Vertikalkomponente  $v_n$  ist daher geringer als bei hartem Zielmaterial. Möglicherweise mag ein gewisser „Hebeeffect“ der Erde — wie im Kapitel 3.3 beschrieben — dazukommen.

Auch bei einem  $\alpha$  von  $22,5^\circ$  und  $45^\circ$  (Schüsse auf senkrechte Wände) rikochoettierte alle Geschosse an Beton- und Asphaltoberflächen. Festzuhalten ist, daß bei *allen* Versuchen die Geschosse beim Abprallen zum Querschläger wurden (nicht natürlich die Schrotkugeln, bei denen der Begriff „Querschläger“ sinnlos ist). Über den Deformationsgrad der einzelnen Geschosse wird nichts gesagt.

Orientierende Versuche mit gleicher Anordnung wie oben wurden mit Büchsen geschossen durchgeführt (Patronen: .30-06, .243 Winch. und .220 Swift). Die Geschosßgeschwindigkeiten lagen — je nach Patrone — zwischen 890 und 1200 m/sec. In allen Fällen zerlegte sich das Geschosß, und nur wenige Teile des Kerns und/oder des Mantels trafen die Scheibe. (Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß die Splitter breit streuen.)

### 3.4. Rikochoettieren von Geschossen an der Wasseroberfläche

Hier ist uns nur der zusammenfassende Bericht von Cranz bekannt [4], der Versuche verschiedener Autoren referiert. Einige Versuche interessieren nicht, da sie mit Granaten durchgeführt wurden.



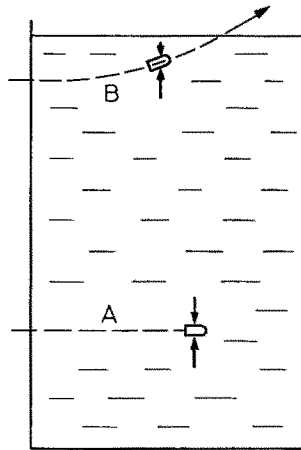


Abb. 8 A u. B. Verhältnisse beim Schuß durch Wasser [schematisch, die vom Geschöß erzeugte (Wasser-)Höhle ist nicht dargestellt]. A Schuß im tiefen Wasser: die Druckverteilung ist symmetrisch (dargestellt durch Pfeile). B Schuß dicht unter der Wasseroberfläche: Druckverteilung unsymmetrisch. Das Geschöß wird aus dem Wasser „gehoben“

Deutsche Marinegranaten [3] rikochettierten auf *glatter* Wasseroberfläche, wenn  $\alpha$  kleiner als  $25^\circ$  (!) war, französische 32 cm-Granaten gingen auf diese Weise von 1500—11000 m in zahlreichen Sprüngen weiter.

Diese Versuche sind für forensische Zwecke natürlich unerheblich.

Wesentlicher sind die Versuche von Ramsauer [16], der mit Messingkugeln von 11 mm Durchmesser ( $G=5,85$  p) experimentierte (glatter Lauf, also kein Drall!).  $v_0$  betrug etwa 625 m/sec. Bis zu einem  $\alpha$  von knapp  $7^\circ$  rikochettierten diese Kugeln mit einem  $\beta$  etwas kleiner als  $\alpha$  (z. B.:  $\alpha=6^\circ 40'$ ,  $\beta=5^\circ 52'$ ). Bei  $\alpha=7^\circ$  tauchten die Kugeln unter auf einem Weg nach Abb. 9.

Kürzlich wurden weitere Messungen zur Reflexion von Geschossen an Wasseroberflächen veröffentlicht [18]. Versossen wurden Präzisionsrundkugeln aus einem Luftgewehr (gezogener Lauf) mit einer  $v_0$  von etwa 200 m/sec. Bis zu einem  $\alpha$  von  $5,13^\circ$  rikochettierten die Kugeln. Bei diesem Wert von  $\alpha$  trat ein  $\beta$  von  $4,11^\circ$  auf. Mit glattem Lauf bei einer  $v_0$  von etwa 220 m/sec betrug der Grenzwert von  $\alpha$   $5,63^\circ$ , das dazugehörige  $\beta$   $3,86^\circ$ . Im ersten Fall (Schuß aus gezogenem Lauf) trat noch ein merkwürdiger Effekt auf, der jedoch nur theoretische Bedeutung hat. Bei kleinem  $\alpha$  ( $3-4^\circ$ ) war  $\beta > \alpha$ , darüber jedoch  $\alpha > \beta$ .

Das Abprallen von Geschossen an der Wasseroberfläche ist nur scheinbar ein einfaches Abprallen wie etwa von Metall. In Wirklichkeit sind die physikalischen Vorgänge verwickelter. Das soll im folgenden erklärt werden. Wird ein Geschöß horizontal in einem Wassertank eingeschossen, übt es allseitig einen starken hydrostatischen Druck aus (Abb. 8). Ist die Wassermenge unendlich groß (A), ist die Druckverteilung radialsymmetrisch um das Geschöß, und es fliegt gradlinig weiter. (Die Folge dieses vom Geschöß erzeugten Druckes ist — wie bekannt — die Bildung einer temporären (Wasser-)Höhle hinter dem Geschöß.) Fliegt das Geschöß jedoch auf dem Wege B, wird die Druckverteilung unsymmetrisch in dem Sinne, daß der oberhalb des Geschößes erzeugte (Wasser-)Druck sich an der

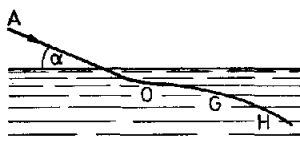


Abb. 9. Darstellung der Geschosßbahn in Wasser, wenn  $\alpha_{gr}$  überschritten wird (aus Cranz [4])

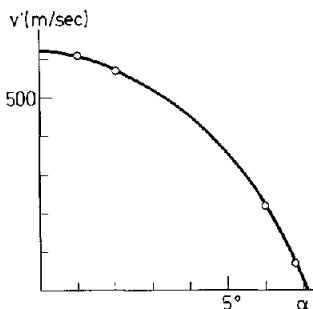


Abb. 10. Austrittsgeschwindigkeit  $v'$  eines Geschosßes, das mit einer  $v_0$  von 625 m/sec unter verschiedenen Einfallswinkeln  $\alpha$  auf eine Wasseroberfläche geschossen wird. Bei  $\alpha = 7^\circ$  rikochettiert das Geschosß nicht mehr. Gezeichnet nach [15], zit. nach [4]

Wasseroberfläche mehr oder weniger ausgleichen kann. Der Druck unterhalb des Geschosßes ist größer als oberhalb (symbolisiert durch Pfeile). Daraus resultiert eine Geschosßablenkung zur Wasseroberfläche hin. Der vom Geschosß erzeugte Druck  $p$  (und damit auch die auf das Geschosß wirkende Kraft) hängt ab von der Geschosßform und der Geschwindigkeit ( $p \sim v^2$ ). Bei Geschossen gleicher geometrischer Form wird daher der Grenzwinkel  $\alpha_{gr}$  um so größer, je größer die Geschosßgeschwindigkeit wird. Das Geschosß dringt nämlich bei schrägem Einschießen mehr oder weniger unter die Wasseroberfläche und wird dann durch den oben genannten hydraulischen Effekt aus dem Wasser „gehoben“. Je größer  $\alpha$ , desto größer der Wasserweg. Der Grenzwinkel  $\alpha_{gr}$  ist nun dadurch gegeben, daß der Wasserweg zu lang und die Abbremsung so groß wird, daß die verbleibende Unsymmetrie des Druckes nicht mehr ausreicht, um das Geschosß aus dem Wasser zu bringen (Abb. 9). Ramsauer [16] hat die Austrittsgeschwindigkeit  $v_e$  von den oben schon genannten Messingkugeln ( $v_0 = 625$  m/sec) gemessen bei verschiedenen  $\alpha$  (Abb. 10).

Aus dem Vorhergesagten folgt, daß der Grenzwinkel  $\alpha_{gr}$  für Wasser empfindlich von der Geschosßkopf-Form abhängt (wegen des Wasserwiderstandes), wenig dagegen von der Bauart des Geschosßes, ganz im Gegensatz zum Rikochettieren an Metallplatten. Jedenfalls liegt  $\alpha_{gr}$  für Wasser bei nur wenigen Grad.

### 3.5. Rikochettieren von Geschossen an Holzplatten

Holz steht in seiner Härte zwischen Metall (Stahl) und Wasser, es ist aber weicher als das Geschosßmaterial (Blei oder Blei + Mantel). Der Mechanismus des Rikochettierens an Holz entspricht daher dem an Wasser, wie experimentell

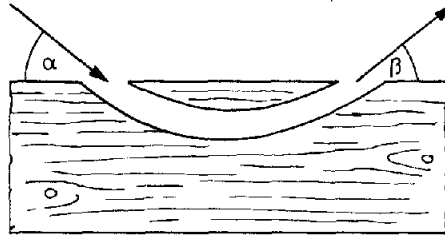


Abb. 11. Schußkanal in Holz, schematisch

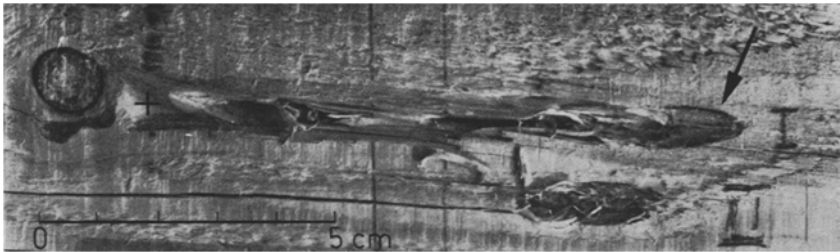


Abb. 12. Fotografie eines Schußkanals in Tannenholz. Geschöß der 7,65 Browning mit  $E_0 = 21$  mkp. Länge des Kanals  $\sim 80$  mm, maximale Tiefe 9 mm, Austrittsenergie  $\sim 7$  mkp,  $\alpha - \alpha_{gr} = 15^\circ$ . Der Pfeil weist auf den Einschuß hin (I). Beachte den stark elliptischen Abstreifring. + Austrittsstelle des Geschößes. Bei II ein Einschuß unter  $20^\circ$ , das Geschöß drang  $\sim 12$  cm in das Holz ein (Steckschuß)

festgestellt wurde [6]; d.h. das Geschöß wird nicht — wie an Stahlplatten — einfach reflektiert, sondern dringt — wie bei Wasser — in das Material ein und wird (bei entsprechendem Auftreffwinkel) durch den im Kapitel 3.4 beschriebenen hydrostatischen Mechanismus wieder „herausgehoben“.

Dieser Weg im Holz ist (ganz roh) kreisförmig (Abb. 11). Mit steigendem Auftreffwinkel  $\alpha$  wird der Weg im Holz immer länger,  $\alpha_{gr}$  ist dadurch bestimmt, daß der Weg so lang wird, daß die Energie des Geschößes aufgebraucht wird, ehe es das Holz verläßt, oder genauer: die Geschwindigkeit so klein wird, daß der (geschwindigkeitsabhängige!) hydrostatische Effekt des „Hebens“ nicht mehr auftreten kann. Des weiteren ist die Ablenkung des Geschößes durch das Holz etwa proportional dem im Holz zurückgelegten Weg. Je größer daher  $\alpha$  (bis zu  $\alpha_{gr}$ ), um so größer wird auch die Geschößablenkung. Es gilt daher weiter: je größer die Abweichung  $\gamma$  (=Totalablenkung) des Geschößes, um so geringer ist dessen Energie.

Ein Beispiel soll diesen Sachverhalt verdeutlichen (Abb. 12): Ein Geschöß der Patrone 7,65 (Browning) trifft mit  $E_0 = 21$  mkp unter einem Winkel von  $\alpha \sim 15^\circ$  ( $15^\circ$  ist etwa  $\alpha_{gr}$ ) auf (Buchen-)Holz auf, legt darin einen Weg von 7,6 cm zurück und erleidet eine Totalablenkung  $\gamma$  von  $\sim 35^\circ$ . Nachschlagen in Schußtafeln [2] ergibt, daß dieses Geschöß nach Durchdringen von 7,6 cm Holz noch eine Energie von  $\sim 7$  mkp besitzt, beim Rikochettieren unter  $15^\circ$  also  $\frac{2}{3}$  seiner ursprünglichen Energie verloren hat. Nebenbei sei bemerkt, daß dieses Geschöß dann noch einen Kopfsteckschuß erzeugen kann.

Es folgen nun Meßergebnisse an verschiedenen Geschößen in Tabellenform. Verwendet wurde Buchenholz. Die Meßergebnisse können sich ändern, wenn

Tabelle 4

Patrone	$E_0$ (mkp)	$\alpha_{gr}^a$	$E_a$ (mkp)	$\gamma$	Bemerkungen
.22 lr. HV	~ 21	15°	~0	27°	
7,65	~ 22	15°	7 <sup>a</sup>	36°	
9 mm Para	~ 50	10°	1...2 <sup>a</sup>	23°	b
7 × 64	~400	≤ 5°	—	12°	c
Büchsenpatrone					

<sup>a</sup> Berechnet aus Länge des Schußkanals.

<sup>b</sup> Bei  $\alpha = 15^\circ$  ging dieses Geschoß ohne(!) Ablenkung schräg durch das 35 mm starke Brett (2 Versuche).

<sup>c</sup> 52 cm langer Schußkanal im Holz dicht unter der Oberfläche mit zahlreichen Holzsplitterungen. Das Teilmantelgeschoß (H-Mantel/Kupfer-Hohlspitze) hatte die Kappe verloren, der Kopf war leicht angestaucht, keine Zerlegung!

In allen Versuchen traten Querschläger auf.

N.B. Tabelle gibt nur Richtwerte, abhängig von Holzart und -zustand (z.B. Äste und Holzfeuchte), hier trockenes Tannenholz.

andere (weichere oder härtere, trockene oder frische) Hölzer verwendet werden. Für einige Geschosse sind in Tabelle 4 angegeben:  $E_0$  (= Auftreffenergie),  $\alpha_{gr}$  (Grenzwinkel des Rikochettierens),  $E_a$  (Austrittsenergie bei  $\alpha_{gr}$ ) und  $\gamma$  (Totalablenkung).

#### 4. Ablenkung an Rundstäben (als Modell von Ästen) und Rippen [6]

Die Ablenkung von Geschossen an Ästen spielt bei der Rekonstruktion von (meist Jagd-)Unfällen eine gewisse Rolle. Als Modellversuch wurden Rundstäbe aus Tannenholz senkrecht zur Längsachse durchschossen, wobei die Geschosse teils streifend, teils mehr oder weniger vollständig den Stab durchdrangen. Als Parameter für die Größe des Kontaktes zwischen Geschoß und Stab wurde ein Parameter  $\eta$  folgendermaßen definiert (Abb. 13):

$$\eta = \frac{s}{k}.$$

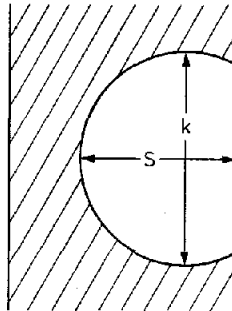
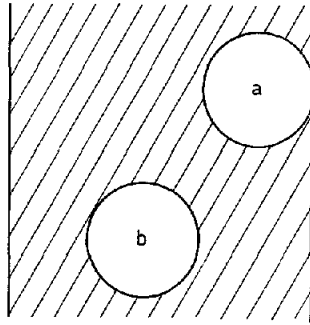


Abb. 13. Definition von  $\eta$ .  $\eta = s/k \cdot 100\%$

Es gilt per definitionem:

$$0 \leq \eta \leq 1.$$

Abb. 14. Schematische Darstellung von Schußkanälen für  $\epsilon = 1$ 

Diese Definition ist mathematisch nicht ganz exakt, da  $\eta = 1$  sowohl einen Schuß am Rande des Holzes ( $a$  in Abb. 14) oder in dessen Mitte ( $b$ ) bedeuten kann. Für praktische Zwecke hat sich dieser Unterschied als bedeutungslos herausgestellt.

Auch die (mögliche) Geschoßablenkung an Rippen spielt eine Rolle, da aus Höhen- und Seitendifferenz von Ein- und Ausschuß am Brustkorb bekanntlich der Schußwinkel bestimmt wird und durch Ablenkung an Rippen verfälscht werden könnte. Systematische Untersuchungen wurden von uns angestellt [6], die im folgenden dargestellt werden. Auch dabei wird in den Diagrammen der Parameter  $\eta$  — wie oben definiert — verwendet.

Bezüglich der Geschoßablenkung an Rundstäben und Rippen können folgende Überlegungen angestellt werden.  $\eta = 0$  oder  $\eta = 1$  bedeuten, daß das Geschoß entweder keinen Impuls ( $\eta = 0$ ) oder einen in Geschoßrichtung wirkenden (symmetrischen) Impuls ( $\eta = 1$ ) vom durchschossenen Stab erhält. Es kann daher erwartet werden, daß bei  $\eta = 0$  keine Geschoßablenkung eintritt. Theoretisch sollte das auch bei  $\eta = 1$ , wenn das Geschoß symmetrisch durch die Stabachse geht, der Fall sein. Das stimmt jedoch nicht, wie schon Cranz [4] bemerkt, und zwar aus folgenden Gründen. Nur bei völlig rotationssymmetrischer Laufmündung strömen die Gase, wenn der Geschoßboden den Lauf verläßt, am Geschoß vorbei. Die kleinste Unsymmetrie erzeugt am Geschoß eine sog. Stoßnutaton, die zwar keine Geschoßabweichung, aber eine Geschoßpendelung zur Folge hat. Diese Nutationen klingen im Laufe des Fluges ab.

Theoretisch streng zu trennen sind Nutation und Präzession des Geschosses. Die Verhältnisse sind kompliziert und schwer zu übersehen. Eine gute Einführung in die Kreisgesetze gibt Pohl [15].

Extreme Nutationen werden an abgesägten (Kugel-)Läufen beobachtet, deren Mündung nach dem Absägen nicht wieder exakt bearbeitet worden ist. Solche Waffen können per se Querschläger produzieren.

Aus diesen Gründen (Stoßnutaton) trifft ein Geschoß — zumal bei kleinen Schußentfernungen — mit einem Winkel von exakt  $\alpha = 90^\circ$  selten auf ein Ziel. Daher erfolgt der Stoß nicht genau in Geschoßachse, sondern etwas schräg dazu mit der Folge einer gewissen Ablenkung des Geschosses. Das zeigt deutlich Abb. 16 für  $\eta = 1$ . Die Streuung ist statistischer Natur, da auch die Stoßnutationen statistisch verteilte Auftreffwinkel um  $90^\circ$  herum erzeugen.

Folgende Geschosse bzw. Patronen wurden verwendet:

Tabelle 5

Lfd. Nr.	Patrone	$G$ (p)	$v_0$ (m/sec)	$I$ (psec)	$E_0$ (mkp)
1	Z 22	1,8	220	40	4,4
2	.22 short	1,8	280	50	7,0
3	.22 lr.	2,55	335	83	14
4	.22 lr. HV	2,55	400	100	20
5	7,65 (Brown)	4,8	300	140	23
6	9 Para	8,0	330	266	44
7	.45 ACP	15	260	410	52
8	.44 Magn.	16	475	775	182

Die Geschosse der Patronen Nr. 6—8 wurden nur zum Vergleich mit aufgeführt (beachte z. B.  $I=475$  psec des Geschosses Nr. 8!).

### Versuchsordnung

Die Waffe wurde in eine Schießmaschine eingespannt und senkrecht auf einen Auffangschirm ausgerichtet, der in  $\sim 150$  cm von der Mündung entfernt stand. Der erste Schuß markierte die unabgelenkte Geschosßbahn auf dem Schirm. Dann wurde das Bruststück in die Geschosßbahn gebracht, und zwar genau 1,00 m vom Schirm entfernt. Die in Metern gemessene Abweichung vom „Null“-Schuß war daher numerisch dem  $\operatorname{tg} \delta$  des Ablenkwinkels  $\delta$  gleich (Abb. 15).

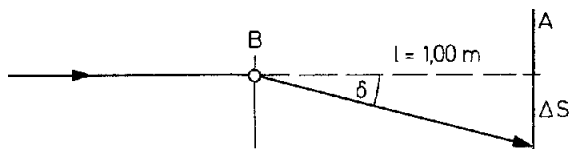


Abb. 15. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Ablenkung an Holzstäben und Rippen (B).

$$A \text{ Auffangschirm. } \operatorname{tg} \delta = \frac{\Delta s \text{ [m]}}{1 \text{ [m]}} = \frac{\Delta s}{1} = \Delta s$$

### Ergebnisse

Wie zu erwarten, waren die Ablenkungen um  $\eta = 0,5$  (0,2...0,7) herum am größten. Durch die Punktwolke wurde eine parabelförmige Kurve gezogen, die weniger mathematische Bedeutung hat, sondern mehr den Trend der Abweichung zeigen soll. Die Größe der Streuung ist sicher bedingt durch die Inhomogenität des beschossenen Materials.

Deutliche Unterschiede in der Ablenkung von Z 22-Geschossen zeigten Rippen einer 40jährigen Frau und eines 17jährigen Jungen gegeneinander (etwa Faktor 2), Abb. 16, die außerhalb der Versuchsstreuung lagen.

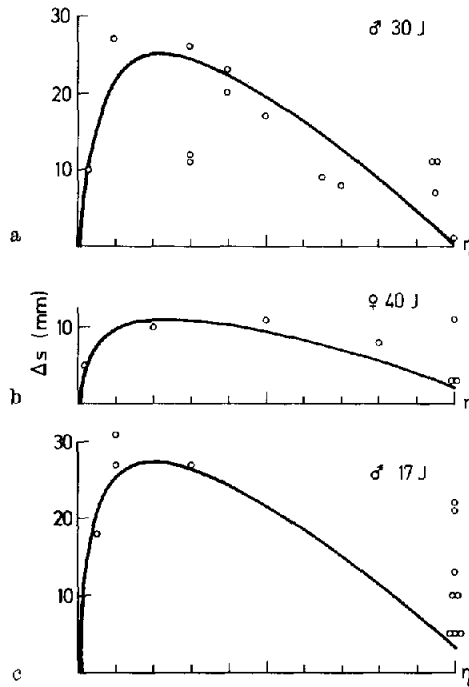


Abb. 16 a—c. Ergebnisse über die Geschößablenkung an Rippen. Abszisse:  $\eta$ , Ordinate:  $\Delta s$  (Definition s. Abb. 15). a Mann, 30 Jahre, b Frau, 40 Jahre, c Mann, 17 Jahre

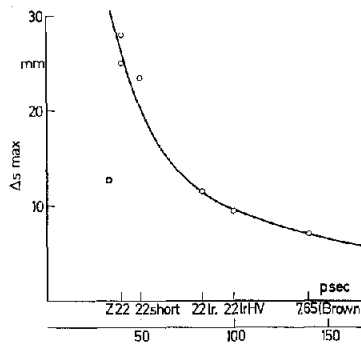


Abb. 17. Darstellung des Zusammenhangs zwischen Geschößimpuls  $I$  (in psec) und Geschößablenkung  $\Delta s_{\max}$  für verschiedene Geschöße (Aufreffgeschwindigkeit =  $v_0$ ). Die Impulse einiger Geschöße sind auf der  $x$ -Achse markiert

Eine deutliche Beziehung besteht zwischen dem Geschößimpuls  $I$  und der maximalen Abweichung dieses Geschosses. Es gilt:

$$I \cdot \Delta s_{\max} = \text{konstant.}$$

$\Delta s_{\max}$  wurde aus den gezeichneten Kurven entnommen. Man könnte auch schreiben:

$$I \cdot \text{tg } \delta = \text{konstant.}$$

Diese Beziehung zeigt Abb. 17.

Gemessen wurden die Ablenkungen von Geschossen der Patronen Z 22 ( $I=40$  psec) bis 7,65 Brown ( $I=140$  psec). Bei letzterer war die Ablenkung ( $\Delta s_{\max} \sim 7$  mm entsprechend  $\delta \sim 2,5^\circ$ ) schon so klein, daß Geschosse mit größerem Impuls (9 mm Parabellum, .38 spez. usw.) nicht mehr geprüft wurden. Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß die Ablenkung an Rippen — selbst bei der kleinen Patrone Z 22 — bei der Schußwinkelbestimmung nicht berücksichtigt zu werden braucht. Prinzipiell gilt (und wurde beobachtet): Streifen des Geschosses am Unter-(Ober-)Rand einer Rippe ergibt Abweichung nach unten (oben).

Nun sind diese Versuche durchgeführt mit Geschossen, die  $v_0$  — also eine der Patronen entsprechende Maximalgeschwindigkeit und daher auch Maximalimpuls  $I$  (wie in Tabelle 5 aufgeführt) besaßen. Jedes Geschöß kann aber durch Abbremsung einen beliebig kleineren Impuls  $< I_0$  erhalten. Dann sind auch die Ablenkungen beliebig größer. Sie können dann (etwa) aus Abb. 17 extrapoliert werden.

Beispiel zur Verdeutlichung: Einer Person wird von vorn mit einem KK-Gewehr (Patrone, 22 lr.) durch die Brust geschossen. Das Geschöß tritt gerade noch am Rücken aus (üblicher Fall). Rippenbeteiligung vorn und hinten. Die Geschößablenkung *vorn* braucht — nach unseren Ergebnissen — nicht berücksichtigt zu werden. Die Ablenkung an der hinteren beteiligten Rippe kann wegen des Geschwindigkeitsverlustes erheblich sein. Gemessen werden Einschußöffnung am *Rippenfell* vorn und hinten. Da die Einschußöffnung am Rippenfell hinten *vor* der beteiligten Rippe selbst liegt, geht eine Ablenkung an dieser Rippe nicht in die Rechnung ein, wenn am Rippenfell gemessen wird (und nicht an der Haut!).

#### Ergebnisse an Holzstäben ( $\varnothing \sim 5$ mm)

Hier seien nur die Ergebnisse für die Geschosse der Z 22, der .22 lr. und der .22 lr. HV angegeben (Abb. 18).  $\delta_{\max}$  beträgt für das Geschöß der Z 22 nur  $\sim 1,7^\circ$ , für das der .22 lr.  $\sim 1,1^\circ$ , ist also zu vernachlässigen. Noch mehr gilt das für Geschosse mit größeren Impulsen.

Diese Ergebnisse stehen im krassen Widerspruch zur Meinung und „Erfahrung“ von Leuten, die Waffen führen und Waffenerfahrung besitzen (Frontoffiziere, Jäger usw.), wie ich kürzlich erst wieder auf dem Gericht erfuhr, wo ein Ablenkwinkel von  $40^\circ$  durch Äste zur Debatte stand. Wohl kann gesagt werden, daß Streifen von Gegenständen (allgemein gesprochen) regelmäßig zu Querschlägern

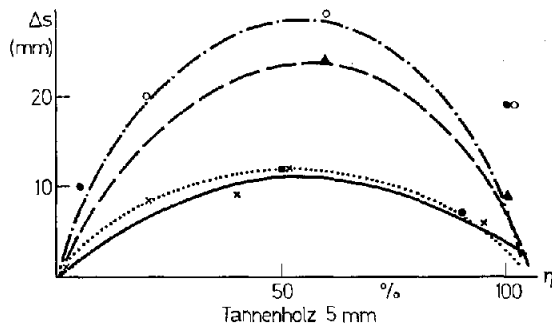


Abb. 18. Beziehung zwischen  $\eta$  und  $\Delta s$  für Geschosse der Patronen 22 Z, .22 lr. und .22 lr. HV bei Schüssen durch Holzstäbe. Z 22 o ·····, 22 lr. ● ·····, 22lr. HV × —, 22 short ▲ —



führt. Vielleicht wird unbewußt das Auftreten von Querschlägern mit großen Ablenkswinkeln in Zusammenhang gebracht, was nicht der Fall ist. Darauf wird unten zurückgekommen.

#### 5. *Ablenkung bei Schüssen durch homogenes Material (Gelatine)* [1]

Es wurde weiter die Frage geprüft, ob und wie möglicherweise ein Geschöß beim Durchdringen von homogenem Gewebe (etwa Lunge, Leber, Muskulatur) beeinflußt wird. Als Modellsubstanz wurde 20%ige Gelatine verwendet, ein bei diesen Untersuchungen übliches Material.

Untersucht wurde die Ablenkung von Geschossen der Patronen .22 lr. bis zur .45 ACP (Patronenart wie unter 4. angegeben), und zwar in Abhängigkeit der durchschlagenen Schichtdicke und vom Winkel des Auftreffens auf die Oberfläche der Gelatine.

Bei senkrechtem Auftreffen gilt, daß die Ablenkswinkel mit zunehmender Dicke  $d$  ebenfalls zunehmen, so z. B. bei der .22 lr.: bei  $d = 17$  cm eine durchschnittliche Abweichung von  $6^\circ$ , bei 12 cm dagegen  $3,5^\circ$ . Für die .45 ACP gilt bei  $d = 17$  cm ein Wert von nur  $0,6^\circ$ , für die 9 mm Para merkwürdigerweise etwa  $6^\circ$ . Man hätte weniger erwarten müssen (Mittelwerte von 10 Schüssen). Bei geringeren Schichtdicken ( $\sim 6$  cm) liegt die mittlere Ablenkung für alle untersuchten Geschosse bei etwa  $1/2^\circ$ .

Es wurde weiter untersucht, von welcher Schichtdicke ab Querschläger auftreten. Diese „kritische“ Dicke liegt bei 6—8 cm. (Untersuchte Geschosse: .22 lr. und 9 mm Para.) Oberhalb 8 cm treten immer Querschläger auf, unterhalb 6 cm nie.

Natürlich hängt das Auftreten von Querschlägern vom durchschossenen Material, von der Geometrie (Massenverteilung: Langgeschöß, Kurzgeschöß, Kugel) und vom Drall des Geschosses ab. So treten beim Durchschlag von Holz selten Querschläger auf, weil dieses Material das Geschöß gewissermaßen „führt“. Langgeschosse reagieren besonders empfindlich, Kugeln überhaupt nicht.

Ob schräg oder senkrecht auf die Gelatine geschossen wurde, spielte für die Geschößablenkung keine Rolle. Im Rahmen der Versuchsstreuung zeigte sich jedenfalls kein Gang der Ablenkung bei Variation des Auftreffwinkels, vielmehr spielte nur die durchschlagene Dicke der Gelatineschicht eine Rolle.

#### 6. „Natürliche“ Ablenkung

Unter natürlicher Ablenkung eines Geschosses soll die durch die Schwerkraft hervorgerufene verstanden werden. Sie bedingt per definitionem immer eine Ablenkung nach unten. Die Größe  $s$  dieser Ablenkung (= Fallstrecke) hängt von der Flugzeit  $\tau$  des Geschosses von der Mündung bis zum Ziel ab. Die Fallstrecke berechnet sich einfach zu:

$$s = \frac{g}{2} \tau^2 [\text{m}], \quad g = 9,81 \text{ m/sec}^2, \quad \tau \text{ in sec.}$$

Beispiel: Ein bestimmtes Geschöß der Patrone  $7 \times 64$  (Gewicht 10 p) legt die Strecke von 300 m in 0,400 sec zurück und fällt dabei um 80 cm. Diese Fallstrecke muß durch entsprechende Lauferhebung ausgeglichen werden, um ein Zielen zu ermöglichen.

Die zum Zielen benötigte Lauferhebung wird durch entsprechende Stellung der Kimme erzielt. Diese Stellung gilt für eine bestimmte Luftdichte, deren Größe den Luftwiderstand und damit die Flugzeit bestimmt.

Im Vakuum betrüge  $\tau$  für das oben genannte Geschöß z.B. nur 0,325 sec anstelle von 0,400 sec.

Im Hochgebirge (>1000 m) mit seiner gegenüber dem Flachland geringeren Luftdichte ist  $\tau$  und damit  $s$  kleiner, so daß sich ein Hochschuß ergibt, d.h. das Geschöß trifft oberhalb des anvisierten Zielpunktes ein. Die Differenzen der Treffpunkte zwischen Tief- und Hochland sind allerdings klein, sie liegen — je nach Geschößgeschwindigkeit — bei 300 m Schußentfernung zwischen 6 und 16 cm, gemessen bei einem Höhenunterschied von 2000 m [14].

Schnee, Regen, Nebel bedeuten eine größere Luftdichte als normal,  $\tau$  wird größer: das Geschöß trifft unterhalb des Zielpunktes ein.

Ein Büchsenmacher schießt daher Gewehre niemals bei Regen ein.

Die manchmal geäußerte Ansicht, ein Regentropfen würde ein Geschöß aus seiner Bahn bringen, ist unrichtig. Vielmehr wird durch die Zusammenstöße das Geschöß abgebremst, die Flugzeit wird größer, und es gibt einen Tiefschuß. Die Differenz zwischen Ziel- und Einschlagpunkt kann erhebliche Werte erreichen, wenn das Geschöß leicht ist, denn beim Zusammenstoß kommt es auf das Massenverhältnis von Tropfen und Geschöß an.

So verliert z. B. das 2,63 p schwere Geschöß der .22 Magnum ( $v_0 \sim 600$  m/sec) pro Zusammenstoß mit einem Wassertropfen 18% seiner Geschwindigkeit. Bei starkem Regen fällt es daher auf 60 m Schußentfernung zusätzlich um etwa 25 cm. Bei schwereren (Büchsen-) Geschossen ist der Einfluß natürlich geringer, wie schon oben ausgeführt [19].

Auch Schießen durch z. B. Gras bedeutet einen zusätzlichen Geschwindigkeitsverlust (und damit Tiefschuß), aber kein unkontrolliertes Abweichen zur Seite.

### 7. Zur Begutachtung

Bei diesen hier besprochenen Phänomenen der Geschößablenkung ist die Zahl der Parameter, die den Ablenkwinkel beeinflussen, sehr groß. Eine allgemeine Gleichung für diesen Zusammenhang gibt es noch nicht, wird es wohl auch nicht geben. Diese Arbeit sollte nur grobe Regeln angeben, um dem Gutachter ein Gefühl für die Möglichkeiten und Größenordnung der Ablenkung zu geben. Im forensischen Einzelfall müßten durch Vergleichsschüsse genauere Werte bestimmt werden, falls das überhaupt möglich ist. Oftmals wird man nur rohe Grenzwerte angeben können.

Ein Befund, der sich bei allen hier besprochenen Versuchen gezeigt hat, muß hervorgehoben werden, nämlich das Auftreten von Querschlägern. Beim Streifen und Durchdringen von Holzstäben, beim Durchschlag homogener Materialien, insbesondere beim Rikochettieren von Holz- und Metallflächen: immer traten Querschläger auf. Ein Querschläger — erkenntlich am morphologischen Befund an der Haut — bedeutet daher nicht eine erhebliche Ablenkung des Geschößes, da schon bei Streifen an Ästen (mit Ablenkwinkeln bei  $\sim 1/2^\circ$ ) Querschläger produziert werden. Natürlich *könnte* bei einem solchen Befund eine erhebliche Ablenkung vorgelegen haben. Dann müssen Betrachtungen über die Geschößenergie angestellt werden. Die Frage lautet: Kann ein Geschöß bestimmter *Auftreffenergie* nach Rikochettieren unter einem angenommenen Ablenkwinkel und der dadurch bedingten reduzierten Energie noch die am Lebenden oder Toten beobachtete Wirkung erzeugen? Umgekehrt kann postuliert werden: ein kreisförmiges Einschußloch spricht eindeutig gegen eine Ablenkung des Geschößes während des Fluges zum Ziel.

## II. Geschößdeformation

### 1. Einleitung

Das „Gesicht“ eines Geschosses kann dem Betrachter über das „Schicksal“ des Geschosses Auskunft geben, wenn er die Zeichen zu deuten vermag. Unter Deformation im weitesten Sinne sollen alle *die* Veränderungen verstanden werden, die das „jungfräuliche“ Geschöß vom Abschuß aus der Patrone bis zum endgültigen Ruhepunkt erfährt. Nicht in Betracht gezogen werden die Veränderungen, die das Geschöß im Lauf erfährt, im wesentlichen das Einschneiden der Felder in den Geschößmantel und Stauchung durch den Gasdruck. Die Verarbeitung dieser Veränderungen fällt in das große Gebiet der Waffentyp- und Tatwaffenbestimmung (Auswertung der Grob- und Feinspuren).

Abgesehen von den typischen Felderspuren bestehen beim 9 mm-Parabellum-Geschöß noch zwei seltene Veränderungen (um es kurz zu bemerken). Es kann aus einem Bolzenschußapparat verfeuert werden und zeigt dann keine Feldeindrücke (da glatter Lauf), im Bereich des Geschößbodens eine Stauchung auf etwa 10 mm durch den Gasdruck, da „Lauf“-Kaliber eines solchen Gerätes  $\sim 10$  mm (Hadersdorfer) [8]. Eine (z. Z. jedenfalls noch) „kuriose“ Veränderung des Geschößmantels der 9 mm Para zeigt sich beim Schießen mit einer neu auf den Markt gekommenen Pistole der Firma Heckler & Koch: HK 9 S, deren Lauf keine Züge und Felder mehr besitzt, sondern einen Lauf von polygonartigem Querschnitt. Der Geschößmantel ist entsprechend geformt. Die Auswertung der Mikrospuren (zur Tatwaffenbestimmung) soll dadurch nicht erschwert werden.

Die Deformation soll eingeteilt werden in großflächige und kleinflächige, wobei unter letzterer solche verstanden werden sollen, die klein gegenüber der Geschößdimension sind (also etwa durch Sand, Knochenkanten oder Fingernagel — bei Bleigeschossen — verursacht). Die Geschößdeformation hängt von der Art des Geschosses ab (Vollmantel, Teilmantel, Form des Kopfes, Hohlspitze usw.), von der Härte desselben (Weichblei, Hartblei) bzw. dessen Mantel (Blei, Tombak, Flußstahl, Nickel) und von der Art (Härte und Form) des Zielmaterials ab, aber auch ganz entscheidend von der Auftreffgeschwindigkeit auf das Ziel.

Wegen der Vielzahl der Parameter ist es unmöglich, alle möglichen Deformationen zu beschreiben. Es werden daher nur typische Beispiele genannt. *Qualitativ* ändert sich beim Übergang auf andere Geschosse nichts, nur die *Quantität* wird möglicherweise variieren. Im Einzelfall müßten Versuche durchgeführt werden.

### 2. Allgemeines

#### 2.1. Einfluß der Geschwindigkeit auf die Deformation

Beim Auftreffen eines Geschosses auf einen Gegenstand übt es eine Kraft auf diesen aus und — nach dem 1. Newtonschen Gesetz — auch der Gegenstand auf das Geschöß. Bei homogenen flüssigen Materialien (auch Gelatine und Muskulatur fallen bezüglich der Geschößwirkung darunter) kann der an der Stirnfläche auftretende Druck  $p$  leicht berechnet werden:

$$p = \frac{\rho}{2} v_a^2 \cdot f [\text{kp/cm}^2]. \quad (1)$$

$\rho$  = Dichte [g/cm<sup>3</sup>].

$v_a$  = Auftreffgeschwindigkeit [m/sec].

$f$  = Formfaktor des Geschößkopfes (unterschiedlich je nach Gestalt).

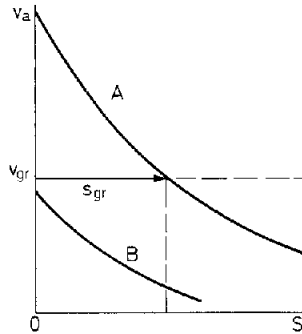


Abb. 19. Geschwindigkeitsverhältnisse beim Durchdringen eines Körpers. Abszisse: durchlaufene Strecke  $s$ ; Ordinate: Geschwindigkeit. Das Geschöß trifft mit  $v_a$  auf

Ob sich ein Geschöß verformt (bzw. gestaucht wird), hängt davon ab, ob die zulässige Druckspannung  $\delta_D$  des Geschößmaterials beim Aufprall überschritten wird oder nicht. Deformation tritt also ein, wenn gilt:

$$p \geq \delta_D. \quad (2)$$

Da  $p$  quadratisch von  $v_a$  abhängt, existiert daher eine Grenzggeschwindigkeit  $v_{gr}$ , unterhalb derer keine Deformation auftritt.

Die Proportionalität zwischen dem Druck  $p$  und dem Quadrat der Aufprallgeschwindigkeit gilt auch für Sand, Knochen, Metallplatten usw., wobei natürlich die Proportionalitätskonstante verschiedene Werte annimmt. Bei einem bestimmten  $v_a$  wird so z. B. bei einem Vollmantelgeschöß bei Knochentreffern  $\delta_D$  noch nicht erreicht, wohl aber bei Auftreffen auf Stahl.

Es kann daher aus dem Vorhergesagten schon folgender Schluß gezogen werden. Wenn ein Geschöß nach Aufprall und Ein-(bzw. Durch-)dringen eines bestimmten Ziels undeformiert aufgefunden wird, so muß  $v_a < v_{gr}$  gewesen sein. Für eine bestimmte Geschöß-Zielmaterial-Kombination kann  $v_{gr}$  experimentell bestimmt werden. In manchen Fällen kann diese Tatsache zur Aufklärung des Sachverhaltes beitragen.

In homogenen Materialien nimmt die Geschößgeschwindigkeit gesetzmäßig ab, in Gelatine z. B. nach dem Gesetz:

$$s = c \cdot \ln \cdot \frac{v_a}{v} \quad (3)$$

bzw. (nach  $v$  aufgelöst)

$$v = v_a \cdot e^{-s/c}, \quad (4)$$

d. h. nach Zurücklegen der Wegstrecke  $s$  ist die Auftreffgeschwindigkeit  $v_a$  des Geschößes auf  $v$  gesunken (Näheres s. [20]). Wenn nun  $v_a > v_{gr}$  ist, legt das Geschöß in Gelatine eine gewisse Strecke  $s$  zurück, bis es auf  $v_{gr}$  abgebremst ist. Nur auf dieser Strecke wird es, da  $\sigma_D$  überschritten ist, deformiert. Beim weiteren Durchdringen tritt keine zusätzliche Deformation mehr ein, da dann  $v < v_{gr}$  ist. Je höher  $v_a$  gegenüber  $v_{gr}$  liegt, um so größer ist die Wegstrecke, auf der eine Deformation erfolgt und um so höher ist daher auch der Deformationsgrad. Geschöße mit  $v_a < v_{gr}$  erleiden überhaupt keine Deformation. Schematisch zeigt diese Verhältnisse Abb. 19.

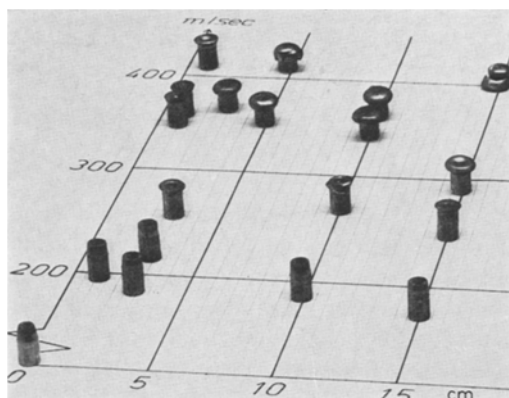


Abb. 20. Graphische Darstellung der Deformation eines TM-Hohlspitz-Geschößes bei Durchgang durch 20%ige Gelatine in Abhängigkeit von Auftreff-Geschwindigkeit ( $y$ -Achse) und durchdrungener Gelatinedicke ( $x$ -Achse). Im Nullpunkt des Koordinatensystems steht ein undeformiertes Originalgeschöß (Norma Nr. 689), Kaliber .38



Abb. 21. Zunehmende Aufpülzung eines TM-Hohlspitz-Geschößes bei steigender  $v_a$  und Schichtdicke. Die Geschöße sind Abb. 20 entnommen. Links ein nicht abgefeuertes Geschöß

Experimentelle Ergebnisse mit einem TM-Hohlspitz-Geschöß (für starke Deformation konstruiert) zeigt Abb. 20 beim Schuß auf Gelatine. Auf der Ordinate ist  $v_a$  aufgetragen, auf der Abszisse die durchschlagene Dicke der Gelatine. Die Geschöße stehen entsprechend ihrer  $v_a$  und der durchschlagenen Schichtdicke auf entsprechenden Koordinatenwerten. Im Nullpunkt des Koordinatensystems steht — zum Vergleich — ein unabgefeuertes Geschöß (Kaliber .38, Norma Nr. 689). Man ersieht daraus, daß z. B. ein solches Geschöß mit den Koordinaten  $v_a = 195$  m/sec und  $s = 1$  cm gerade etwas angestaucht ist, ein anderes mit  $v_a = 190$  m/sec und  $s = 3$  cm dagegen unverändert ist, selbst wenn es 10 und 15 cm dicke Gelatine durchschlagen hat. Daraus läßt sich abschätzen, daß  $v_{gr}$  bei dieser Geschöß-Ziel-Kombination etwa 190—195 m/sec beträgt. Für  $v_a \sim 400$  m/sec dagegen nimmt die Deformation mit steigender Schichtdicke zu, weil auf dem ganzen Weg (bis  $s = 15$  cm)  $v > v_{gr}$  ist.

Aus dem Vorangegangenen folgt der wichtige Satz: Ein Teilmantel- („Dumdum“-) Geschöß bewirkt nicht schon durch seine Bauart allein die beabsichtigte Wirkung (nämlich verstärkte biologische Wirkung infolge Zerlegung oder Vergrößerung seines Kalibers), sondern es muß auch mit einer Mindestgeschwindigkeit (abhängig von Bauart und Zielmaterial) auftreffen.

Geschöße dieser Art (wie in Abb. 20 gezeigt) sind in den USA bei der Polizei eingeführt worden und haben dort viel Staub aufgewirbelt wegen ihrer angeblich inhumanen Wirkung (s. z. B. Artikel im Spiegel Nr. 4, 1970). Berücksichtigt man aber, daß diese Geschöße aus

normalen, für die Patrone .38 spec. eingerichteten Revolvern nur etwa 260 m/sec erreichen, folgt aus Abb. 20, daß die Wirkung nicht wesentlich größer ist als die normaler Blei-Rundkopf-Geschosse. Fatal ist die Wirkung allerdings, wenn dieses Geschöß in der Patrone .357 Magnum ( $v \sim 460$  m/sec) geladen wird. Die Wirkung ist dann (im wahrsten Sinne des Wortes) „umwerfend“.

## 2.2. Einfluß der Einwirkungszeit auf die Deformation von Geschossen

Im vorigen Kapitel wurde im wesentlichen ausgeführt, daß die Reaktionskraft zwischen Ziel und Geschöß vom Quadrat der Geschwindigkeit abhängt und daher die Geschößdeformation mit steigender Geschwindigkeit zunimmt. Diese Aussage gilt in Strenge nur, wenn das Geschöß im Ziel zur Ruhe kommt, es also nicht durchschlägt. Hat das Ziel in Schußrichtung jedoch nur eine *begrenzte* Ausdehnung  $\Delta s$  (relativ zum Gesamt-Durchschlagsvermögen des betrachteten Geschosses in diesem Zielmaterial), so können scheinbar paradoxe Phänomene auftreten. Die Reaktionskraft ist zwar wesentlich für die Größe der Geschößdeformation; diese Kraft  $K$  muß aber auch eine gewisse Zeit  $\tau$  wirken, um das Geschöß deformieren zu können.

Eine Starinkerze, mit hoher Geschwindigkeit durch ein dünnes Brett geschossen, deformiert sich überhaupt nicht. Hat das Holz jedoch in Schußrichtung eine große Dicke, wird die Kerze völlig zerquetscht. Beim Schuß durch ein dünnes Brett dagegen ist die Zeit zu kurz, um eine wesentliche Deformation einzuleiten.

Eine genauere physikalische Betrachtung ergibt folgendes (ich folge hier [22]): Es muß zunächst unterschieden werden zwischen Flüssigkeiten (ohne Kohäsionskräfte) und festen Körpern. Für die ersteren gilt die Bernoullische Gl. (1), die sich daraus ergibt, daß die Flüssigkeitsteilchen elastisch gestoßen werden. In diesem Falle ist  $p \sim v_a^2$ . Bei festen Körpern ist der Stoß dagegen unelastisch. Die gestoßenen Teilchen bewegen sich mit dem Geschöß in der gleichen, jetzt geringeren Geschwindigkeit weiter. Außerdem wird zum Ablösen und Zerdrücken Energie verbraucht. In diesem Falle ist der Aufpralldruck  $p \sim \sqrt{v_a}$  und nicht — wie bei Flüssigkeiten —  $\sim v_a^2$ . Es werde nun bei einem festen Körper eine dünne Schicht der Dicke  $\Delta s$  durchschlagen. Der dabei eintretende Geschwindigkeitsverlust  $\Delta v_a$  kann aus der Gleichung für die Gesamteindringtiefe  $s$ :

$$s \sim v_a^{1,5} \quad (5)$$

berechnet werden ( $\Delta s \ll s$ , man denke an ein Holzbrett der Dicke  $\Delta s$ ). Es gilt dann (die relativ einfache Ableitung soll übergangen werden):

$$\Delta v_a \sim \frac{1}{\sqrt{v_a}}, \quad (6)$$

d. h. der Geschwindigkeitsverlust ist um so kleiner, je größer die Auftreffgeschwindigkeit  $v_a$  ist. Vom gesamten Energieverlust des Geschosses wird an das Geschöß selbst abgegeben (Stauchung und Wärme):

$$\Delta E \sim (\Delta v_a)^2, \quad (7)$$

wegen (6) daher

$$\Delta E \sim \frac{1}{v_a}. \quad (8)$$

Die beim Durchdringen der Schichtdicke  $\Delta s$  an das Geschöß abgegebene Energie  $\Delta E$  ist daher umgekehrt proportional der Auftreffgeschwindigkeit  $v_a$ .  $\Delta E$  ist

aber die für die Deformierung des Geschosses verantwortliche Energie. Es gilt weiter:

$$\Delta E = K \cdot x, \tag{9}$$

wobei  $K$  die Aufprallkraft bedeutet (im Bereich  $\Delta s$  als konstant angenommen) und  $x$  die Länge des gestauchten Geschößteils. Genauer müßte stehen:

$$\Delta E = (K - F \cdot \sigma_D) x, \tag{10}$$

wobei  $F \cdot \sigma_D$  den Widerstand darstellt, den das Geschößmaterial der Stauchung entgegengesetzt. Dieser Anteil geht in Wärme über. Aus (8) und (10) ergibt sich für die Stauchlänge  $x$  (=Deformationsgrad):

$$x = \frac{c_1}{v_a (c_2 \cdot \sqrt{v_a} - F \cdot \sigma_D)}, \quad c_1, c_2 = \text{Konstanten.} \tag{11}$$

In Worten: Mit zunehmender Auftreffgeschwindigkeit nimmt (bei Durchschlagen kleiner Schichtdicken!) die an das Geschöß abgegebene Energie ab, die Auftreffkraft  $K$  dagegen zu ( $K$  bzw.  $p \sim \sqrt{v_a}$ ), sie steht aber im Nenner von (11).  $x$  nimmt daher mit zunehmender  $v_a$  erst recht ab. Damit ist das Paradoxon erklärt, daß mit zunehmender Geschwindigkeit die Geschößzerstörung abnimmt. Diese Verhältnisse zeigt Abb. 22 schematisch.

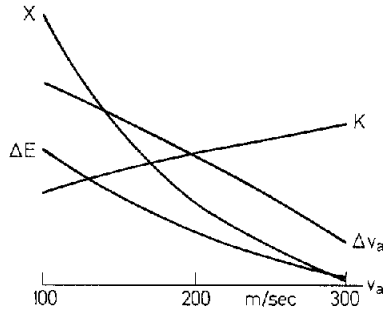


Abb. 22. Stauchung des Geschosses beim Durchdringen einer dünnen Schicht eines festen Körpers in Abhängigkeit von der Aufprallgeschwindigkeit  $v_a$ .  $\Delta v_a$  Geschwindigkeitsverlust. Er nimmt mit zunehmender  $v_a$  ab.  $\Delta E$  an das Geschöß abgegebene Energie. Sie nimmt mit  $v_a$  ebenfalls ab.  $K$  Aufprallkraft. Sie nimmt mit  $v_a$  zu.  $x \approx \Delta E/K$  gestauchte Länge am Geschöß. Sie nimmt mit  $v_a$  stark ab. Vom Materialwiderstand ist in dieser schematischen Darstellung abgesehen, da er am Prinzip nichts ändert

Zu dieser Abbildung ist noch folgendes zu bemerken. Die Kurven für  $x$ ,  $K$ ,  $\Delta E$  und  $\Delta v_a$  beginnen bei  $v_a \sim 100$  m/sec. Die Kurve für  $x$  darf nicht zu kleineren Werten von  $v_a$  extrapoliert werden. Das würde bedeuten, daß bei  $v_a = 0$  die Deformation ( $x$ ) unendlich groß würde. Mit abnehmender  $v_a$  sinkt ja auch die Reaktionskraft. Sie wird (bei  $v_{gr}$ ) so klein, daß eine Verformung des Geschosses (wegen des Materialwiderstandes, ausgedrückt als  $\sigma_D$ ) nicht mehr eintreten kann. Diese oben angeführte Betrachtung gilt also nur für einen gewissen Geschwindigkeitsbereich. Siehe dazu Kap. II.2.1.

Es muß aber nochmals daran erinnert werden, daß dieses paradoxe Verhalten abhängt von der Bauart des Geschosses, vom Zielmaterial und von dessen Dicke  $\Delta s$ . Voraussetzung dafür ist, daß  $\Delta s$  wesentlich kleiner ist als die gesamte Eindringtiefe  $s$  des betrachteten Geschosses und Zielmaterials. Nur dann kann aus Gl. (5) abgeleitet werden, daß  $\Delta E \sim 1/v$  ist. Wäre  $\Delta s \sim s$ , so würde  $\Delta E \sim v_a^2$  und das Paradoxon könnte nicht auftreten. Wesentlich ist also eine gewisse Kombination bestimmter Werte der Zieldicke, Zielhärte und Geschößhärte (insbesondere des Kopfes). Die Härte des Kopfes wird nicht nur bestimmt durch die Härte des

Materials, sondern auch von der Kopfform. Eine konische Aufbohrung des Kopfes setzt also dessen „effektive“ Härte herab.

Für Rundkopf-Bleigeschosse, wie sie für die normale .38 spec.-Munition aus gebräuchlichen Revolvern ( $v_a \sim 250$  m/sec) verwendet werden, ergibt sich etwa maximale Deformation, wenn Oberschenkel oder Oberarm durchschossen werden und der Knochen im Schußkanal liegt. Das mit etwa 250 m/sec auf die Haut treffende Geschoß kommt am Knochen mit etwa 170—220 m/sec an und ergibt dann eine Deformation, die zwischen der des ersten und zweiten Geschosses auf Abb. 28 liegt. Wegen der durch die Deformation bedingten stark erhöhten Stirnfläche wird das Geschoß schnell abgebremst und fliegt nicht mehr weit im Körper. Die Ausschußöffnung am Knochen ist erheblich.

Eigener Fall: Einschuß an der Außenseite des rechten Oberarms, Knochentreffer (.38 spec., normale Patrone). Das stark deformierte Geschoß lag unter der Haut an der Innenseite des Arms. An der entsprechenden Stelle des Brustkorbs wurde eine Unterblutung in Fünfmarkstück-Größe gefunden. Ein Mantelgeschoß entsprechender Energie wäre noch weit in den Brustkorb gedrungen.

### 2.3. Härte des Geschoßmaterials, insbesondere des Mantels

Die Härte hat großen Einfluß auf die Deformationsmöglichkeit eines Geschosses, sowohl gegenüber klein- als auch großflächigen Gewalteinwirkungen. Wesentlich ist dabei die Druckfestigkeit  $\sigma_D$  des Materials, ausgedrückt in kp/mm<sup>2</sup>. Für Hüttenblei liegt  $\sigma_D$  bei etwa 5 kp/mm<sup>2</sup> (Weichblei). Bei Zulegierung von 2% Sb steigt  $\sigma_D$  auf das Doppelte, bei 6% auf das Dreifache. Geschoßblei besitzt etwa ein  $\sigma_D$  von 10—12 kp/mm<sup>2</sup> [10]. Bei dieser Druckfestigkeit kann es noch von Knochenbruchkanten, vom Fingernagel oder einem Federkiel geritzt werden. Schon eine dünne Verkupferung der Oberfläche (die noch nicht als Geschoßmantel im eigentlichen Sinne anzusprechen ist), wie sie beim Geschoß der Patrone .22 Ir HV angewendet wird, ergibt bei *klein*flächiger Gewalteinwirkung eine bemerkenswert bessere Resistenz (Abb. 26) gegenüber Holz und Knochen, Sand ausgenommen, weil die Körner den dünnen Mantel leicht durchschlagen (Abb. 33).

Die Verkupferung des HV-Geschosses dient der Schonung des Laufes. Ein Bleigeschoß würde bei dieser Geschwindigkeit zu großen Abrieb und damit im Lauf Bleiverschmierungen erzeugen (trotz der üblichen Fettung der Geschoßoberfläche). Die Verkupferung ist gewissermaßen Fettersatz.

Das  $\sigma_D$  von Cu liegt — je nach Behandlung — zwischen 50 und 100 kp/mm<sup>2</sup>, also wesentlich über dem von Pb. Während für kleinflächige Deformationen  $\sigma_D$  des Mantelmaterials die entscheidende Rolle spielt, ist für großflächige Deformation die Zugfestigkeit  $\sigma_Z$  (in kp/mm<sup>2</sup>) entscheidend. Das kann man leicht erkennen, wenn die Materialbeanspruchung des Geschosses bei Aufschlag auf eine feste Wand beobachtet wird. Das Geschoß wird gestaucht und sein Querschnitt vergrößert, d.h. die Teile in einem Querschnitt entfernen sich voneinander. Es entsteht ein Zug. Bei einem Mantelgeschoß bedeutet dieser Vorgang für den Mantel eine Tendenz zur Umfangvergrößerung, also eine tangential wirkende Zugspannung (wie ein Rohr, das unter erhöhtem Innendruck steht).  $\sigma_Z$  für Pb beträgt etwa 1,5 kp/mm<sup>2</sup>, für Cu etwa 20—40 kp/mm<sup>2</sup>, also bei beiden Metallen deutlich geringer als  $\sigma_D$ , eine Relation, die allen Materialien (auch menschlichem Gewebe) innewohnt. Das dem Schrot-Blei zulegierte Arsen dient als Flußmittel, bedingt durch die Fertigungsmethode, und nicht zur Härtung.



Die Widerstandskraft gegen (großflächige) Deformationen kann auf zwei Wegen erreicht werden: Durch Verwendung eines dickeren Mantels oder durch Verwendung eines Mantelmaterials mit höherem  $\sigma_z$ . Beide Wege sind begangen worden. So stellt z. B. die schwedische Firma Norma für 9 mm-Parabellum-Patronen ein sog. Armor-piercing-Geschoß mit verstärktem Mantel her. Es ist äußerlich (formmäßig) nicht zu unterscheiden vom Normalgeschoß, nur durch das (kleinere) Gewicht.

### 3. Versuchsanordnung (Zielmaterial, verwendete Geschosse usw.) [21]

Als Zielmaterial wurde verwendet: 20%ige Gelatine verschiedener Schichtdicke, Holz, Sand, Knochen (Röhrenknochen und Rippen) und Stahl.

An Geschossen wurden verwendet: KK-Geschosse ( $K=5,6$  mm), Blei-RK-Geschosse (.38), TM-Flachkopfgeschosse (.38, Norma Nr. 576), TM-Hohlspitzgeschosse (.38, Norma Nr. 689), sowie VM-Pistolengeschosse (9 mm Parabellum).

Die verwendeten Teilmantelgeschosse besitzen einen Mantel nur am Führungsteil, d. h. dort, wo die Felder einschneiden, also am zylindrischen, kalibergroßen Teil des Geschosses.

Die Variation der Geschwindigkeit wurde auf zweierlei Art erreicht: 1. im Kaliber 5,6 mm (KK) existieren vier verschiedene Patronen (Patrone .22 Magnum ausgenommen), deren Anfangsgeschwindigkeiten  $v_0$  zwischen 200 und 360 m/sec liegen, 2. bei den übrigen Geschossen wurden die Patronen selbst geladen, so daß sich eine brauchbare Geschwindigkeitsabstufung ergab.

Die Geschwindigkeit der Geschosse aus den laborierten Patronen wurde elektronisch bestimmt. Zwei im Abstand von genau 1 m hintereinander stehende, aufgespannte Lamettafäden wurden durchschossen. Der erste gab dadurch das Start-, der zweite das Stoppsignal für einen elektronischen Zähler. Aus der Zähl-Anzeige wurde die Zeit nach der bekannten Gleichung  $v = s/t$  bestimmt und daraus die  $v_0$ .

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Deformation von Bleigeschossen und solchen mit ummanteltem Führungsteil

Die „sanfteste“ Deformation ergibt — von Wasser abgesehen — *Gelatine*. Das Bild der Geschosse (Hohlspitzgeschosse) in Abhängigkeit von  $v_a$  und durchdrungener Schichtdicke  $s$  wurde schon in Abb. 20 gezeigt. Abb. 21 zeigt nochmals den steigenden Deformationsgrad solcher Geschosse beim Schuß durch Gelatine (die Geschosse sind aus Abb. 20 entnommen).

Die Deformation von Blei-RK- und FK-Geschossen zeigen Abb. 23 und 24. Das RK-Geschoß besitzt unter anderen Kopfformen die stabilste Form, wird also am wenigsten deformiert. Selbst bei  $v_a=400$  m/sec zeigt es nur eine sanfte Abplattung der vordersten Teile des Kopfes. Bei allen diesen Geschossen ist die deformierte Fläche völlig glatt. Die Grenze zwischen deformierter und unveränderter Oberfläche zeigt einen weichen Übergang. Kratzer kommen nie vor, sie müssen — wenn vorhanden — durch andere Einflüsse entstanden sein.

Auch *Holz* erzeugt an Bleigeschossen Abplattungen wie Gelatine, jedoch sind die Konturen härter, d. h. die deformierte Fläche setzt sich kantig gegen die undeformierte ab (Abb. 25). Äste im Holz können möglicherweise zusätzlich Kratzer erzeugen.

*Knochen* erzeugt ein ganz anderes Geschoß-Gesicht. Im Gegensatz zu Holz zeigen solche (KK-) Geschosse nach Durchschlag von Rippen (die im Verhältnis

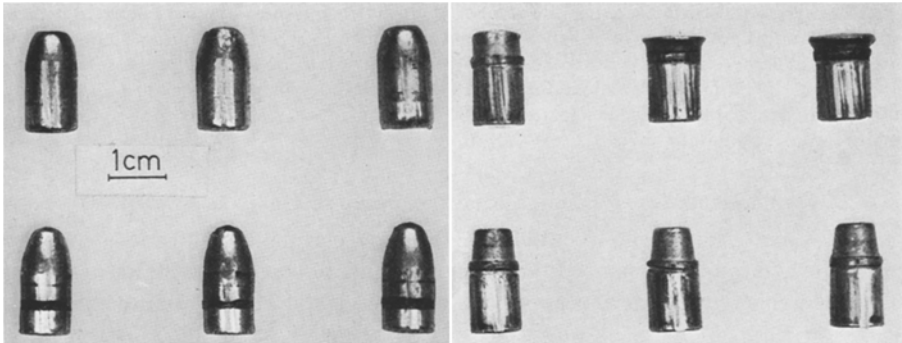


Abb. 23

Abb. 24

Abb. 23. Wirkung von Gelatine auf Blei-Rundkopf-Geschosse Kaliber .38 in Abhängigkeit von  $v_a$  und durchschlagender Schichtdicke. Obere Reihe:  $v = 400$  m/sec; untere Reihe:  $v = 200$  m/sec. Von links nach rechts Schichtdicke der Gelatine: 1, 3 und 5 cm. Bei  $v_a = 200$  m/sec noch keine Deformation, daher  $v_{gr} > 200$  m/sec

Abb. 24. Wirkung von Gelatine auf TM-Flachkopf-Geschosse Kaliber .38 in Abhängigkeit von  $v_a$  und durchschlagender Schichtdicke. Obere Reihe:  $v = 400$  m/sec; untere Reihe:  $v = 200$  m/sec. Von links nach rechts Schichtdicke der Gelatine: 1, 3 und 5 cm.  $v_{gr}$  liegt bei Geschossen dieser Bauart über 200 m/sec

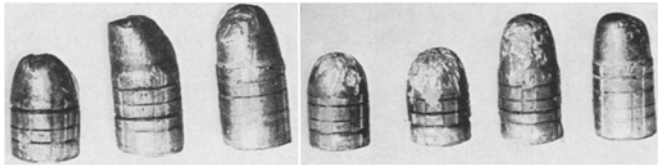


Abb. 25

Abb. 26

Abb. 25. Schuß durch Holzstäbe ( $\varnothing = 5$  mm) mit KK-Geschossen verschiedener  $v_a$ . Von links nach rechts:  $v_a = 200, 300$  und  $360$  m/sec. Beachte die gegenüber Rippen weichere Deformation

Abb. 26. Schuß durch Rippen mit KK-Geschossen verschiedener  $v_a$ . Von links nach rechts: .22 Z (200 m/sec), .22 short (280 m/sec), .22 long (300 m/sec) und .22 long HV (360 m/sec). Beachte die zerklüftete Oberfläche, die beim verkupferten HV-Geschoß (rechts) kaum vorhanden ist

zu Röhrenknochen relativ wenig Widerstand bieten) zahlreiche mehr oder weniger tiefe Furchen. Die Gesamtd deformation ist dabei unbedeutend (Abb. 26).

Folgender Fall soll die Wichtigkeit des hier Gesagten beleuchten: Ein Gärtner, der viel unter Felddiebstahl zu leiden hatte, hörte nachts Geräusche im Garten, nahm sein KK-Gewehr und ging hinaus. In einem Gebüsch knackte es, und er schoß aus der Hüfte in diese Richtung. Der im Gebüsch versteckte Dieb wurde getroffen, floh und brach nach 100 m zusammen. Der Schuß (Steckschuß) war in die Brust gedrungen, eine Rippe war verletzt. Das KK-Geschoß lag zur Hauptverhandlung vor, es zeigte die für Rippendurchschuß typischen Veränderungen, wie oben in Abb. 26 gezeigt. Der Verteidiger behauptete nun, sein Mandant habe gar nicht in Richtung des Geräusches geschossen, sondern querab unter einem Winkel von  $45^\circ$ ; das Geschoß sei an Holz abgeprallt, habe dadurch seine Richtung geändert und unglücklicherweise und zufällig den Mann getroffen. Diese Version konnte anhand der Art der Geschoßdeformation und aus anderen Überlegungen ausgeschlossen werden: 1. Ablenkung um  $45^\circ$  an Holz bedeutet für ein KK-Geschoß eine sichtbare großflächige Deformation, 2. dabei wird die kinetische Energie erheblich gemindert (sie würde zur Erzeugung des beobachteten Schußkanals nicht mehr ausgereicht haben) und 3. die beobachteten Spuren am Geschoß lassen sich allein schon durch die Rippenbeteiligung erklären.

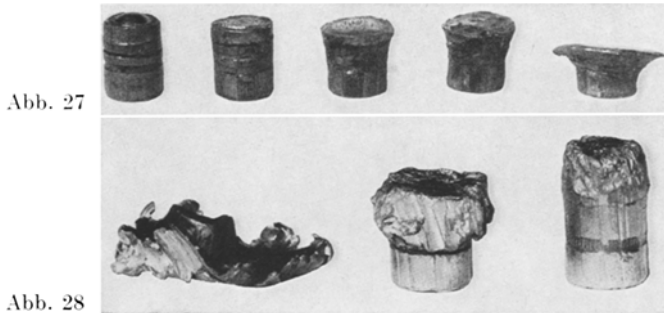


Abb. 27. Deformation von Zylinder-(Wadcutter-)Geschossen beim Auftreffen und Durchdringen von Kalotten. Links ein unabgefeuertes Geschöß, ganz rechts ein Geschöß mit  $v_a \sim 150$  m/sec. Es durchschlug die Kalotte. Der größte Geschößdurchmesser (am Kopf) war wesentlich größer als die Schußöffnung. Daraus folgt, daß die Geschößdeformation während des Durchschlags noch nicht abgeschlossen war

Abb. 28. Deformation von RK-Bleigeschossen bei Durchschlag durch Röhrenknochen. Von links nach rechts:  $v_a = 150, 250$  und  $370$  m/sec. Beachte den „paradoxen“ Deformationsgrad: mit steigender  $v_a$  wird die Deformation kleiner (Erklärung s. Kap. 2.2)

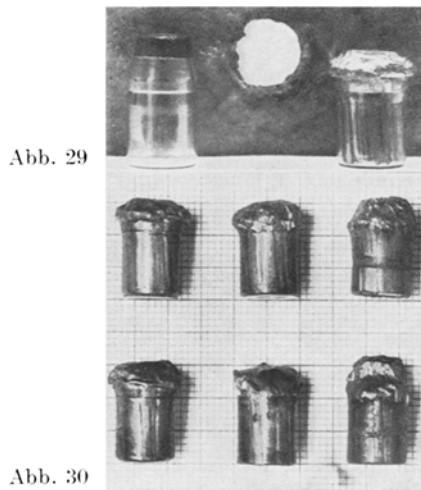


Abb. 29. Deformation eines TM-Hohlspitz-Geschosses nach Durchschlag einer 8 mm dicken Kalotte (rechts). Ein nicht abgefeuertes Geschöß zum Vergleich (links). Die durch die Deformation entstandenen überstehenden Teile sind am Knochenrand abgestreift worden

Abb. 30. Wirkung von Kalotten (7–8 mm) auf (von links nach rechts) Hohlspitz-, TM-Flachkopf- und Bici-RK-Geschossen. Obere Zeile:  $v_a = 380$  m/sec, untere Zeile:  $v_a = 230$  m/sec

Ganz erhebliche Wirkung auf ein Bleigeschöß zeigt kompakter Knochen (Schädeldach oder — in vermehrtem Maße — Röhrenknochen). Zylindrische Geschosse pilzen je nach Auftreffgeschwindigkeit mehr oder weniger auf (Abb. 27) oder können sich völlig deformieren. Das gleiche gilt für RK-Geschosse (Abb. 28). Bei TM-Geschossen wird die Deformation durch den Mantel gestoppt (Abb. 29). Sie sind also „harmloser“ als reine Bleigeschosse. In Abb. 30 ist die Deformation



Abb. 31. „Natürliche“ Deformation der Schrotkörner durch Zusammenpressung im Lauf (bzw. Patronenlager) infolge der starken Beschleunigung. Aus [20]

von RK-, FK- und Hohlspitz-Geschossen bei verschiedenen  $v_a$  (um 230 und 380 m/sec) dargestellt, wenn sie Kalotten von 7—8 mm Dicke durchschlagen haben. Beachte die „zerklüftete“ Oberfläche. Bei Kopfschüssen z. B. zerlegt sich ein Bleigeschoß fast regelmäßig in dem Sinne, daß zahlreiche kleine Splitter und ein größerer Restkörper vorgefunden werden. Bei schräg aufgesetzten Schläfenschüssen z. B., die ein Rückhettieren bzw. ein Entlanggleiten an der Dura zur Folge haben, findet man sehr häufig röntgenologisch eine richtige „Bleibahn“ auf dem Weg des Geschosses.

Bei *Schrotkugeln* entstehen Deformationen nicht nur durch Einwirkung des Zielmaterials, sondern beim Schuß selbst, also im Lauf. Nach Auslösung des Schusses wird das Schrotpaket stark beschleunigt, die Kugeln also (wegen der Trägheitswirkung) gegeneinander gepreßt. Da alle Kugeln aus Material gleicher Festigkeit bestehen, äußert sich diese Pressung in gegenseitiger (ebener) Abplattung der runden Oberfläche (Abb. 31). Eine weitere Möglichkeit der Deformation ist bei den Schroten gegeben, die am Rande des Paketes liegen und dem Lauf anliegen. Solche Schrote werden abgeschliffen und zeigen eine zylindrische Deformation, die dem Krümmungsradius (Laufkaliber) des Laufes entsprechen (aus solchen veränderten Schroten kann z. B. das Laufkaliber bestimmt werden [17]). Diese eben beschriebenen Deformationen sind abhängig von der Bauart (aber auch von Alter und Art der Lagerung) der Schrotpatrone. In jedem Fall sind diese Deformationen scharf konturiert und glatt. Auftreffen auf Haut erzeugt — je nach  $v_a$  — keine oder eine weich konturierte Deformation.

Auch scharf konturierte Gegenstände kleiner Masse können am Bleikopf Spuren hinterlassen, wenn nur die Aufprall-Geschwindigkeit hoch genug ist. Als Beispiel soll die Wirkung von Lamettafäden angeführt werden, wie sie von uns zur Geschwindigkeitsmessung benutzt wurden. Das Gewicht solcher Fäden pro cm betrug  $\sim 5$  mp, ist also sehr gering, das gleiche gilt für die Festigkeit des ausgedehnten Fadens. Die tiefen Eindrücke in den Geschoskopf beim mittleren



Abb. 32. Wirkung von Lamettfadens auf den Geschoßkopf. Links: TM-Hohlspitz-Geschoß ( $v_a = 176$  m/sec); Mitte: TM-Flachkopf-Geschoß ( $v_a = 380$  m/sec), danach noch durch 1 cm Gelatine; rechts: TM-Flachkopf-Geschoß ( $v_a = 380$  m/sec), danach noch durch 3 cm Gelatine. Beachte die ungleich größere Wirkung des Lamettfadens bei höherer  $v_a$

und rechten Geschoß in Abb. 32 ( $v_a \sim 370$  m/sec) sind daher der Trägheitswirkung zuzuordnen. Diese angeführten Geschosse sind danach noch durch 1 bzw. 3 cm Gelatine gegangen und aufgefangen worden. Sie sind dabei erheblich gestaucht worden (der Geschoßkopf ist ursprünglich konisch gewesen, s. z. B. Abb. 24, untere Zeile, 1. Geschoß). Trotz dieser erheblichen, allerdings weichen Deformation sind die scharf konturierten, vorher entstandenen Vertiefungen erhalten geblieben.

Man kann die Frage stellen, ob an einem Geschoß festgestellt werden kann, welche der beiden Deformationen sich zuerst gebildet hat. Zwei Möglichkeiten der Beantwortung sind prinzipiell vorhanden. Die erste Überlegung besteht darin, daß die ursprünglich scharfen Kanten der zuerst entstandenen kleinflächigen Deformation doch etwas durch die nachfolgende weiche Deformation abgerundet werden, was bei umgekehrter Reihenfolge nicht der Fall ist. Die zweite Möglichkeit der Differenzierung besteht in folgendem: wie schon oft erwähnt und an Beispielen erläutert, hängt der Deformationsgrad — ohne Rücksicht auf klein- oder großflächig — entscheidend von der Auftreffgeschwindigkeit ab. Wird das Geschoß daher zuerst großflächig deformiert, verliert es erheblich an Geschwindigkeit. Die nachfolgende kleinflächige Deformation ist daher geringer, als wenn das Geschoß zuerst mit voller  $v_a$  die kleinflächige Deformation erleidet (vgl. dazu das linke und mittlere Geschoß in Abb. 32,  $v_a = 176$  bzw. 380 m/sec).

Mit normalen Geschwindigkeiten ( $v > 200$  m/sec) in Sand gefeuerte Bleigeschosse deformieren sich — je nach Geschwindigkeit — sehr stark (Abb. 33 und 34). In jedem Falle werden tiefe Kratzer gefunden. Bei höheren Aufpizungsgraden sind Sandkörner und die oberflächliche Bleischicht am Geschoßkopf innig verbacken, da diese Schicht durch die Reibung auf mehrere  $100^\circ\text{C}$  erhitzt und das Blei dadurch sehr weich wird.

Bei vorsichtigem Nachgraben im angefeuchteten Sand stellt sich der Geschoßweg als eine helle Bahn dar. Der Sand ist dort wegen der Reibungswärme getrocknet und teilweise zermahlen.

Der Geschoßkopf zeigt einzelne Nester, die mit zermahlenem Sand gefüllt sind und daher weiß aussehen. Der unbefangene Betrachter meint dann, das Geschoß sei durch Mörtel oder Kalk gegangen (eigener Fall).

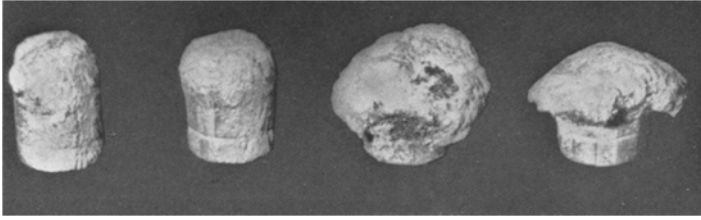


Abb. 33. Schuß in Sand mit KK-Geschossen verschiedener  $v_a$ . Geschosse und Geschwindigkeiten wie in Abb. 8. An der Oberfläche sind Blei und Sandkörner innig vermischt

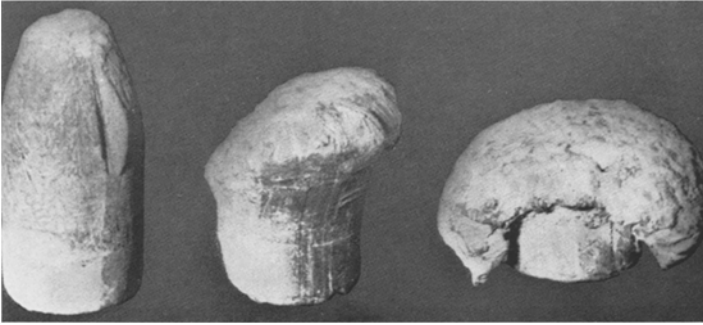


Abb. 34. Schuß in Sand mit .38-Rundkopf-Bleigeschossen verschiedener  $v_a$ . Von links nach rechts:  $v_a = 150, 230, 380$  m/sec. Die Oberflächenstruktur hängt von der Körnung des Sandes ab

Wenn Bleigeschosse mit normaler Geschwindigkeit senkrecht auf Stahlplatten genügender Dicke auftreffen („genügend“ = solche Dicke, daß kein Durchschlag stattfindet), zerlegen sie sich unter Bildung eines größeren völlig platt gedrückten Stückes und zahlreichen kleinen und kleinsten Splintern, die tangential zur Stahloberfläche wegfliegen, während das große Stück unter dem Auftreffpunkt gefunden wird. Es hat also keine Rückprall-Energie mehr besessen. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten ( $>400$  m/sec) erhitzt sich die oberflächliche Bleischicht am Kopf bis über den Schmelzpunkt des Bleis ( $\sim 327^\circ$  C), so daß um den Einschlag herum der Stahl mit einer dünnen Bleischicht bedeckt ist (Abb. 35). Bei schrägem Auftreffwinkel hängt es von dessen Größe ab, wie weit die Geschosse sich deformieren oder zerlegen. Entscheidend ist die Normalkomponente der Auftreffgeschwindigkeit.

#### 4.2. Deformation von Vollmantelgeschossen

Die Versuche wurden nur durchgeführt mit 9 mm-Para-Geschossen, weil sie die gebräuchlichsten sind mit der höchsten  $v_0$  (350 m/sec) und daher unter allen VM-Geschossen bei gleichem Zielmaterial die größten Deformationen erleiden. Die hier gemachten Aussagen gelten somit qualitativ praktisch für alle VM-Geschosse.

Das schnellste Pistolengeschöß kommt aus der Patrone 7,62 Mauser ( $v_0 \sim 450$  m/sec). Diese Patrone wird jedoch kaum mehr verwendet, kann daher außer Betracht bleiben.



Abb. 35. Wirkung eines Geschößes der Patrone .44 Magn. ( $v_a \sim 450$  m/sec) auf 4 mm starkes Stahlblech (Durchschlag!). Um die Schußöffnung herum starke Auflagerungen von geschmolzenem Blei als Ausdruck der hohen  $v_a$

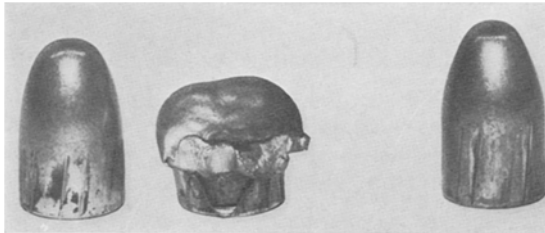


Abb. 36. Wirkung von Röhrenknochen und Kalotten auf VM-Geschosse bei direktem Aufschlag. Von links nach rechts: 1.  $v_a = 220$  m/sec auf Röhrenknochen, 2.  $v_a = 330$  m/sec auf Röhrenknochen. Das Geschöß ist erheblich deformiert mit Mantelreißer; kommt aber in Praxis kaum vor, da das Geschöß vor Knochenaufschlag durch Haut und Muskulatur erheblich abgebremst wird. 3.  $v_a = 330$  m/sec auf Kalotte ( $\sim 8$  mm dick). Beachte, daß das Geschöß 1 (durch Röhrenknochen) trotz geringerer  $v_a$  (220 m/sec) eine größere Deformation (Geschößkopf gestaucht gegenüber Geschöß 3) erlitten hat als das Geschöß 3 (durch Kalotte) mit höherer  $v_a$  (330 m/sec). Das liegt an der längeren Kontaktzeit bei Durchdringen von Röhrenknochen gegenüber Kalotten. Vergleiche dazu auch Abb. 28 mit den Erklärungen im Text (Kap. II. 2.2)

VM-Geschosse sind gegenüber Deformationen — ganz gleich, ob groß- oder kleinflächig — wesentlich unempfindlicher als reine Blei- oder TM-Geschosse mit freiliegendem Kopf.

Durchschlag von *Gelatine* und *Muskulatur* — ganz gleich, welcher Dicke und  $v_a$  (also zumindest bis 330 m/sec) — hinterläßt keinerlei Spuren am VM-Geschöß. Das gleiche gilt für *Holz*. Nur bei Aufschlag mit  $v_0$  kann eine ganz geringfügige Abplattung der Frontfläche eintreten, die jedoch kaum sichtbar ist.

Bei Aufschlag und Durchdringen von Humerus und Femur kann schon eine erhebliche Deformation eintreten, die bis zum Mantelreißer führen kann (Abb. 36). Die Schädelkalotte erzeugt auch bei den höchsten  $v_a$  (330 m/sec) nur eine gering-

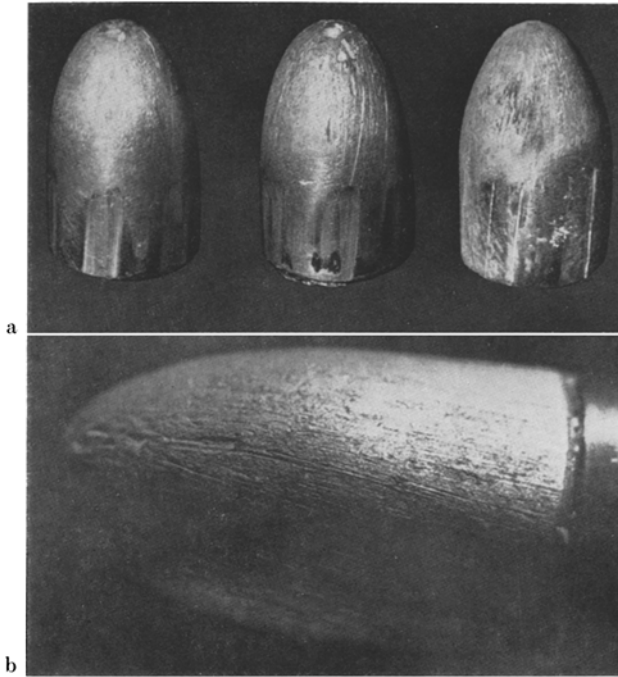


Abb. 37. a Schuß in Sand mit Para-Geschossen verschiedener  $v_a$ . Von links nach rechts:  $v_a = 100, 220$  und  $330$  m/sec. Die Geschosse sind so orientiert, daß der unbeschädigte Teil des Mantels mit den Feldeindrücken zum Betrachter zeigt. Die Rückseite des mittleren Geschosses zeigt b. Die Feldeindrücke sind abgeschmirgelt und für eine kriminalistische Untersuchung nicht mehr zu verwenden. Der Winkel  $\beta$  der Kratzer zur Geschosßachse auf dieser Seite entspricht etwa dem Drallwinkel  $\alpha$  der Feldeindrücke. Beachte dagegen in (a) an einem tiefen Kratzer des mittleren Geschosses den Winkel  $\beta$  dort, wo er am Beginn des Feldeindrucks endet. Dort ist  $\beta > \alpha$ . Näheres s. Text. Beachte am Geschosßkopf die Nester mit zerriebenem (besser: zerquetschtem) Sand. (Beim rechten Geschosß — mit der höchsten  $v_a$  — finden sich diese Nester auf der Rückseite)

füßige Abplattung der Geschosßspitze. Nun sind diese Versuche nicht praxisnah, denn der Knochen ist zumindest mit Haut (z. B. Schläfe) oder Haut und Muskulatur (z. B. Oberschenkel) bedeckt. Die Auftreffgeschwindigkeit auf Knochen ist also geringer als diejenige auf die Haut. Das mit  $330$  m/sec auf die Haut auftreffende Geschosß verliert dadurch bereits mindestens  $50$  m/sec [20] und trifft auf die Kalotte nur noch mit  $280$  m/sec auf. Beim Schuß durch den Oberschenkel wird dieser Wert wegen der Muskulatur noch weiter reduziert. Ein weiterer, die Deformation abschwächender Effekt ist zu berücksichtigen. Die Haut (und Muskulatur) wirkt als Gleitmittel, das das Eindringen in Knochen erleichtert und die Deformation hintanhält.

Ein ähnlicher Effekt besteht, wenn Vollmantel-Blei-Geschosse mit Wolfram-Kern Stahl durchschlagen. Das um diesen Kern liegende Blei wirkt als Schmiermittel, nur der Kern durchschlägt die Stahlplatte.

Eindringen in Sand erzeugt auch an VM-Geschossen mehr oder weniger tiefe Kratzer auf der Oberfläche des Geschosses (aber weniger tief als bei Bleigeschossen). Großflächige Deformationen werden aber nicht gefunden (Abb. 37). Die



Geschößform bleibt (selbst bei  $v_a=330$  m/sec) völlig erhalten (Sand ohne größere Steine vorausgesetzt!). Eine interessante Beobachtung soll noch beschrieben und erklärt werden. Bei Schuß in Sand ist der Geschößkopf in seiner ganzen Ausdehnung mit Kratzern bedeckt, vom zylindrischen Führungsteil jedoch nur eine Seite. Dort sind die Feldereindrücke völlig weggeschliffen, während die gegenüberliegende Fläche praktisch keine Schleifspuren aufweist, die Feldeindrücke also gut erhalten sind (vgl. Abb. 37 a und b).

Dieser Effekt zeigt sich bei VM-, TM- und Bleigeschossen gleichermaßen, unabhängig von den verwendeten Auftreffgeschwindigkeiten. Interessant ist nun die Messung des „Drallwinkels“  $\beta$  der Kratzerspuren an verschiedenen Stellen des Geschößmantels im Vergleich zum Drallwinkel  $\alpha$  der Feldeindrücke.

Der Drallwinkel der Kratzerspuren ist hier in Anführungsstriche gesetzt, weil dieser Ausdruck eigentlich dem Winkel der Feldeindrücke vorbehalten ist. Er soll hier aber für *alle* Spuren (bzw. Eindrücke) eingesetzt werden. Er wird durch  $\alpha$  (Feldeindrücke) oder  $\beta$  (Kratzer) unterschieden.

An der Seite des Geschosses, wo Kopf und zylindrischer Teil gleichermaßen durch den Sand abgerieben sind (Abb. 37 b), wird  $\alpha=\beta$  gemessen, an der gegenüberliegenden Seite jedoch  $\beta>\alpha$  (Abb. 37 a z. B. das mittlere Geschöß). Zur Erklärung dieses Befundes muß man noch wissen, wie sich während des Fluges und beim Abbremsen im Ziel Translations- und Rotationsgeschwindigkeit  $v$  und  $\omega$  verhalten. Durch das Verhältnis  $v/\omega$  ist die wirksame Drall-Länge bzw. der Drallwinkel bestimmt. Dieses Verhältnis hat an der Laufmündung einen festen Wert, gegeben durch die vorgegebene Drall-Länge des Laufes. Nun gilt allgemein (in Luft und festen Körpern), daß die Translationsgeschwindigkeit schneller abnimmt als die Rotationsgeschwindigkeit, die wirksame Drall-Länge wird daher mit zunehmender Entfernung des Geschosses von der Mündung immer kleiner bzw. der Drallwinkel größer (derjenige der Feldereindrücke — da im Lauf eingepreßt — bleibt natürlich gleich).

Ein Geschöß, senkrecht nach oben verfcuert, kommt z. B. mit kleiner Translationsgeschwindigkeit wieder am Boden an, während sich die ursprüngliche Rotationsgeschwindigkeit nur wenig vermindert hat. Das gleiche gilt, wenn ein Geschöß im Körper zur Ruhe kommt.

Beim Eindringen in Sand beginnt das Geschöß — wegen erheblicher Erhöhung des Widerstandes gegenüber Luft — zu präzessieren, d. h. seine Figurenachsse stellt sich mehr oder weniger schräg zur Flugbahn. Während des Weiter Eindringens rotiert die Figurenachsse auf einem Kegelmantel um die Flugbahnachsse (gleichzeitig natürlich auch das Geschöß um seine Figurenachsse!). Der Kegelmantel ist gleich dem Präzessionswinkel. Das Schrägstellen des Geschosses hat aber zur Folge, daß nicht nur der Kopf, sondern ein Teil des zylindrischen Mantels mit zur (momentanen) Stirnfläche werden. Der Mantelteil, der gerade beim Eindringen, wenn das Geschöß also noch seine höchste Geschwindigkeit besitzt, mit die Stirnfläche bildet, erhält die tiefsten Kratzer mit einem Winkel  $\beta=\alpha$ , weil dann noch das ursprüngliche Verhältnis  $v/\omega$  vorhanden ist. Bildet beim Weiterpräzessieren (die Präzessionsperiode = ein Umlauf auf dem Kegelmantel, liegt etwa in der Größenordnung der Eindringtiefe in Sand,  $\sim 25$  cm) gerade der gegenüberliegende Teil des Mantels mit die Stirnfläche, ist die dann vorhandene Translationsgeschwindigkeit relativ zur Rotationsgeschwindigkeit wesentlich verkleinert. Die dann gebildeten Kratzer besitzen ein  $\beta>\alpha$ . Da weiterhin  $v$  auch absolut gering ist, reichen die Reaktionskräfte zwischen Sand und Geschöß



Abb. 38. Senkrechter Schuß auf einen Stahlblock mit 9 mm-Parabellum-Geschossen verschiedener  $v_a$ . Von links nach rechts:  $v_a = 70, 100$  und  $250$  m/sec. Das Para-Geschoß der Original-Patrone ( $v_a = 350$  m/sec) hatte sich in so feine Teile zerlegt, daß sie zum größten Teil nicht mehr gefunden wurden

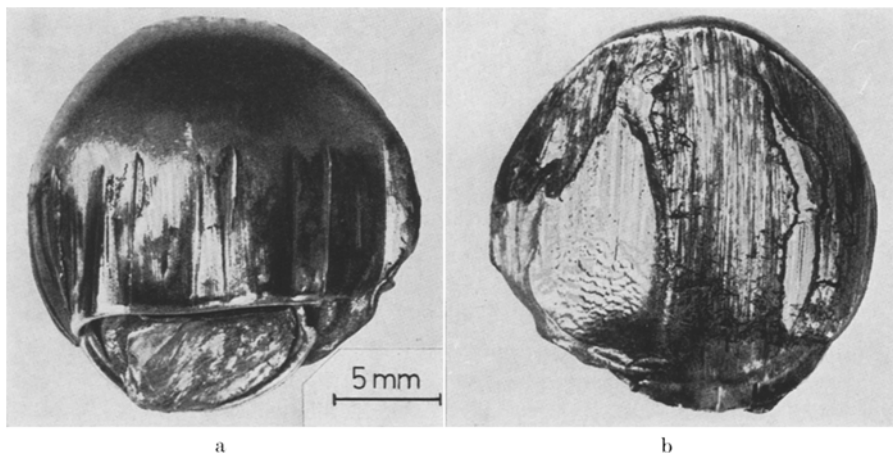


Abb. 39a u. b. Deformation eines 9 mm Para-Geschosses bei Aufschlag unter  $20^\circ$  auf einen Stahlblock. a „Runde“ Seite des Geschosses, der Aufschlagseite gegenüber liegend, Kalibervergrößerung auf 14 mm durch Breitquetschen. b Ebene Aufschlagfläche. Der Mantel ist teilweise verschwunden, starke Schleifspuren

nicht mehr aus, um die Mantelfläche wesentlich zu beschädigen. Dadurch bleiben an dieser Stelle die Feldeindrücke gut erhalten.

Die beim senkrechten Schuß auf einen *Stahlblock* erzeugte, mit steigender  $v_a$  zunehmende Deformation zeigt Abb. 38. Bei  $v_a = 70$  und  $100$  m/sec sprangen die Geschosse etwa 1 m von dem Block zurück, bei  $v_a = 250$  m/sec lagen die Bleireste unterhalb des Aufschlagpunktes, die Mantelteile mehr seitlich. Die Auftreffgeschwindigkeit kann, wenn Vergleichsschüsse vorliegen, aus dem Grad der Deformation abgeschätzt werden.

Bei Schrägschüssen auf einen *Stahlblock* mit maximaler  $v_a$  (330 m/sec, Para-Geschoß), aber variablem Auftreffwinkel  $\alpha$ , wurde folgendes gefunden: Bei  $\alpha = 15^\circ$  war das Geschöß etwas breit gedrückt (maximal 13 mm gegenüber 9 mm), an der Aufschlagfläche völlig eben, Teile des Mantels fehlten, der Zusammenhang war jedoch voll gewahrt. Bei  $\alpha = 20^\circ$  war die Deformation wesentlich größer (Abb. 39). Erst bei  $\alpha = 25^\circ$  löste sich der Mantel vom Kern. Er war an der Aufschlagfläche völlig abgerieben.

5. *Schlußwort*

Man erkennt, daß aus den qualitativ und quantitativ verschiedenartigen Bildern der Geschoßdeformation vieles über das „Schicksal“ des Geschosses auf seinem Fluge ausgesagt und gutachtlich verwertet werden kann. Aus dem Geschoßgesicht und der Länge des Schußkanals im Körper kann in vielen Fällen festgestellt werden, ob das Geschoß direkt oder indirekt in den Körper gelangt ist. Solche Betrachtungen sind ein wesentlicher Beitrag zur Tatrekonstruktion. Die Geschoßablenkung hängt eng mit der Geschoßdeformation zusammen. Eine gewisse Ablenkung macht sich (je nach Ablenkwinkel, Geschoßgeschwindigkeit und -konstruktion, sowie Zielmaterial) in einer gewissen, mehr oder weniger großen Deformation bemerkbar.

Den Herren cand. med. Bialonski, von Erichsen und Strey danke ich für die Mithilfe und die Durchführung der hier besprochenen zahlreichen Versuchsserien, Herrn Strey zusätzlich für die Laborierung der Patronen. Herrn Dr.-Ing. W. Weigel danke ich für anregende Diskussion und meiner Assistentin, Frl. Unterberg, für die Mithilfe bei der Arbeit.

**Literatur**

1. Bialonski, H.-G.: Geschoßablenkung in homogenen Medien. I.D. Bonn (noch unveröffentlicht).
2. Bock-Weigel: Handbuch der Faustfeuerwaffen, 4. Aufl. Melsungen: Neumann-Neudamm 1968.
3. Chrismar, v.: Leitfaden für den Unterricht in der Ballistik, H. I. Charlottenburg 1904. Zit. nach [4].
4. Cranz, C.: Lehrbuch der Ballistik, Bd. I, 5. Aufl. Berlin: Springer 1925.
5. Eilers, K.: Streuung und Flugbahnablenkung der Jagdgeschosse und Schrote und damit verbundene Gefahren. Büchsenmacher 50, 28 (1954).
6. Erichsen, S.T. v.: Ablenkung von Geschossen an Holzstäben, Rippen und Holzplatten. I.D. Bonn (noch unveröffentlicht).
7. FBI: Bouncing bullets. FBI Law Enforcement Bulletin, S. 2—6 u. 20—23. Washington, Sept./Okt. 1969.
8. Hadersdorfer, H.: Geschoßverformungen besonderer Art. Arch. Krim. 139, 57—64 (1967).
9. Huelke, H.H.: Aufklärung von Unfällen durch Schrotschüsse. Kriminalistik 10, 308—311 (1956).
10. Hütte: Des Ingenieurs Taschenbuch, 28. Aufl. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 1955.
11. Jauhari, M.: Bullet ricochet from metal plates. J. crim. Law Pol. Sci. 60, 387—394 (1969).
12. — Zur Bestimmung der annähernden Geschoßgeschwindigkeit von Prallschüssen bei der Aufklärung krimineller Tatbestände. Arch. Krim. 147, 7—15 (1971).
13. Lampel, W.: Jagdballistik. Melsungen: Neudamm-Neumann 1958.
14. — Der Schuß im Hochgebirge. München: F.C. Meyer 1968.
15. Pohl, R.W.: Einführung in die Physik, I. Bd., 7. u. 8. Aufl. Berlin: Springer 1944.
16. Ramsauer, C.: Über den Rikochettschuß. I.D. Kiel 1903.
17. Schrader, G.: Zur Bestimmung des Gewehrkalibers an aufgefundenen groben Schrotten. Arch. Krim. 87, 244 (1930).
18. Schöntag, A., Schöntag, B.: Zur Reflexion von Rundgeschossen auf Wasseroberflächen. Arch. Krim. 147, 74—78 (1971).
19. Sellier, K.: Regeneinfluß auf Geschoßflugbahn. Wild u. Hund 16, 621 (1965).
20. — Schußwaffen und Schußwirkungen. Arbeitsmethoden der medizinischen und naturwissenschaftlichen Kriminalistik, Bd. 8. Lübeck: Schmidt-Römhild 1969.
21. Strey, R.: Geschoßdeformation. I.D. Bonn (noch unveröffentlicht).
22. Weigel, W.: Persönliche Mitteilung.

Prof. Dr. med. Dipl.-Phys. Karl Sellier  
 Institut für gerichtliche Medizin  
 der Universität  
 D-5300 Bonn, Stiftsplatz 12