

Anmerkungen zur Arbeit von D. Tausch et al.

Experiments on the Penetration Power of Various Bullets into Skin and Muscle Tissue

W. Dammermann

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Postfach 3345, D-3300 Braunschweig,
Bundesrepublik Deutschland

Comments on the Paper by D. Tausch et al.

Experiments on the Penetration Power of Various Bullets into Skin and Muscle Tissue

Summary. The objections in the following comments on a recent paper by Tausch et al. (1978) are raised principally to the points that the mass of the projectile is given an importance for the penetration which is not justified, and that the inherent uncertainty of the measurement data and the scope of validity of the empirical formulas are not sufficiently taken into account. The discussion on the process of penetration and a discontinuity of the depth of penetration as a function of the velocity of the bullet is of fundamental significance, with consequences for the definition of the critical velocity.

Zusammenfassung. Die hier geübte Kritik an einer kürzlich erschienenen Arbeit von Tausch et al. (1978) richtet sich im wesentlichen dagegen, daß der Geschossmasse für das Eindringen eine Rolle zugewiesen wird, die ihr nicht zukommt und daß in der Natur der Sache begründete Meßunsicherheiten und der Geltungsbereich empirischer Formeln nicht ausreichend beachtet werden. Von grundsätzlicher Bedeutung ist die Diskussion des Eindringvorgangs und einer Unstetigkeit der Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Geschossgeschwindigkeit, mit Folgerungen für die Definition der kritischen Geschwindigkeit.

1. Tausch et al. (1978) haben kürzlich experimentelle Untersuchungen durchgeführt, um die Gültigkeit aus der Literatur bekannter Werte der Grenzgeschwindigkeit für das Eindringen von Geschossen in menschliche Haut zu prüfen. Ein Ergebnis ihrer Arbeit ist (S. 310), daß das Eindringvermögen primär durch die Masse und nicht durch die Geschwindigkeit oder andere Parameter bestimmt sei.

Offenbar sind die Autoren hier einem Denkfehler erlegen. Wenn relativ großen Änderungen der Geschossmasse nur relativ kleine Änderungen der

kritischen Geschwindigkeit entsprechen, so bedeutet dies doch, daß sich Unterschiede der Geschwindigkeit stärker als die der Masse darin auswirken, ob die Grenze zwischen eindringenden und nichteindringenden Geschossen überschritten wird oder nicht. Die von den Autoren kritisierte Angabe einer ziemlich all-gemeingültigen Grenzggeschwindigkeit wäre also aufgrund ihrer Untersuchungen dahingehend zu korrigieren, daß der Verlauf besagter Grenzlinie nicht allein durch die Geschwindigkeit, sondern, in geringerem Maße, auch durch die Geschoßmasse bestimmt ist.

2. Sicher gibt die empirische Funktion (S. 318, Gl. [10]) $v_{cr} = 162,1 e^{-0,38\sqrt{m}}$ den ermittelten Zusammenhang zwischen Geschoßmasse und -geschwindigkeit recht gut wieder. Zweierlei darf hierbei jedoch nicht übersehen werden, daß die Werte für v_{cr} mit Unsicherheiten behaftet sind und daß sich die Kurve unterhalb von 5,3 g auf einen einzigen Punkt bei 0,47 g stützt. Überdies liefert die gewählte Funktion für sehr kleine Massen das unsinnige Ergebnis, daß Geschosse mit höherer Geschwindigkeit als 162,1 m/s in jedem Fall eindringen. Bei Darstellung gemäß Figur 6 (Abhängigkeit der Grenzggeschwindigkeit von der Querschnittsbelastung) liegt diese spezielle kritische Geschwindigkeit aber wesentlich höher, bei 278 m/s. Bei Anwendung von [10] auf Geschoßmassen unter 0,4 g ist daher mit erheblichen Fehlern zu rechnen.

3. Abbildung 1 dieser Anmerkungen gibt wie Figur 5 (S. 320) den Zusammenhang zwischen v_{cr} und m wieder, mit dem Unterschied, daß hier die Unsicherheit der Meßwerte wenigstens zum Teil dadurch berücksichtigt wurde, daß die Spannen von v_{cr} , die sich nach Tabelle 1 durch unterschiedliche Interpolationsformeln ergeben, dargestellt sind. Außerdem sind Linien konstanter Energie eingezeichnet. Man erkennt, daß für die Gruppe der Geschosse 1 bis 7 mit einer konstanten kritischen Energie von etwa 12 J zu rechnen ist. Für diese Geschosse wird also die Hypothese einer konstanten Energie als Kriterium für das Eindringen durch die vorgelegten Messungen nicht widerlegt. Weshalb die 4-mm-

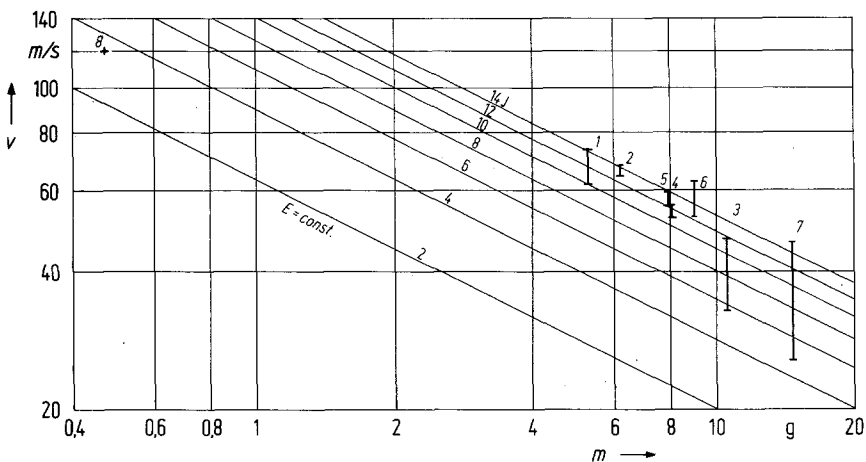


Abb. 1. Masse und kritische Geschwindigkeit der 8 untersuchten Geschosstypen. (Die eingezeichneten Fehlerbereiche erfassen nur die Unterschiede der Mittelwerte aufgrund unterschiedlicher Extrapolation)

Kugel eine geringere Energie benötigt, ob aufgrund ihres geringeren Querschnitts oder weil die höhere Geschwindigkeit eine andere dynamische Reaktion des Targets bewirkt, diese Frage läßt sich anhand des vorgelegten Materials nicht entscheiden. Insofern ist die kommentierende Bemerkung zu Gleichung [10], wonach das Geschößkaliber für das Eindringen absolut keine Rolle spielt, sondern nur die Masse, durch die Meßergebnisse nicht zu belegen.

Eine ursächliche Interpretation der Meßwerte wird ohnehin dadurch erschwert, daß, abgesehen von den Geschossen mit den Nummern 4 und 5 (mit fast identischem Eindringvermögen), keine zwei Geschosse mehr als einen der drei Parameter Masse, Querschnitt oder Form gemeinsam haben.

4. Daß sich anhand der Gleichungen [10] und [11] mit Hilfe eines Taschenrechners Werte für v_{cr} und E_{cr} bequem berechnen lassen (S. 318), besagt noch nichts über den Wert der benutzten Formeln. Bemerkenswert ist aber folgendes: für die 5 Beispiele unterscheiden sich die Massen höchstens um den Faktor 3,2, die Geschwindigkeiten um den Faktor 1,73 und die Energien um den Faktor 1,13. Auch hiernach wäre die Energie (ca. 12J) das Kriterium für das Eindringen von Geschossen, vorausgesetzt, die errechneten Werte ließen sich experimentell bestätigen.

5. Die Behauptung, es bestehe keine mathematische Beziehung zwischen v_{cr} und E (S. 321/322), ist nicht richtig. Bei Gültigkeit von [10] ergibt sich aus [11] in der Schreibweise der Autoren

$$E = \frac{1}{2000} \left(\frac{v_{cr}}{0,38} \cdot \ln \frac{162,1}{v_{cr}} \right)^2$$

und die Zahlenwerte liegen auch in der Nähe dieser Kurve. Von dem Sonderfall der 4-mm-Kugel abgesehen, kann unter Berücksichtigung der Meßunsicherheiten die Geschwindigkeit als Entscheidungskriterium nicht ausgeschlossen werden.

6. Die Herleitung von Gleichung [12] aus Gleichung [10] ist mathematisch korrekt, ebenso die Berechnung eines Maximums bei 6,9g. Gleichung [10] ist aber nur eine der möglichen Interpolationsformeln. Ersetzt man sie beispielsweise durch folgende Gleichung

$$v_{cr} = v_1 - v_2 \ln \frac{m}{m_0}$$

(mit $v_1 = 103$ m/s, $v_2 = 23$ m/s und $m_0 = 1$ g), die die Meßwerte ebenso gut wiedergibt, so erhält man hieraus ein Energiemaximum bei etwa 12 g. Eine präzise Angabe eines Maximums bei 6,9 g ist daher nicht zulässig. Aufgrund der Meßergebnisse ist nicht einmal mit Sicherheit zu sagen, ob die Abhängigkeit $E(m)$ im vorgegebenen Bereich überhaupt ein echtes Maximum (kein Randmaximum) aufweist. Ebensovienig ist der Kurvenverlauf in Figur 7 im Bereich zwischen 0,5 und 5 g (eine Zehnerpotenz) und zwischen 0 und 0,4 g durch Meßwerte gesichert.

7. Die Abspaltung von Koeffizienten in der Formel für die Eindringtiefe gemäß den Gleichungen [13] und [14] scheint nicht ganz sachgerecht zu sein. Während die Koeffizienten a sich maximal nur um einen Faktor 2,2 unterscheiden, ergibt sich nach Berücksichtigung der Querschnittsbelastung maximal der Faktor 7,3 zwischen den c_1 bzw. C_B der untersuchten Geschößtypen. Der Kurvenverlauf in Figur 10 (Abhängigkeit des ballistischen Koeffizienten C_B von

der Geschoßmasse) ist daher überwiegend durch den Verlauf der Querschnittsbelastung und nicht durch eine echte Massenabhängigkeit bestimmt. Die Abspaltung des Faktors m/A in Gleichung [14] erfaßt offenbar die Abhängigkeit von der Querschnittsbelastung nicht richtig. So weichen die C_B -Werte nach S. 326 bis zu 40% von denen ab, die nach Formel [24] errechnet werden. Aufgrund von [24] sind daher nur Überschlagsrechnungen möglich.

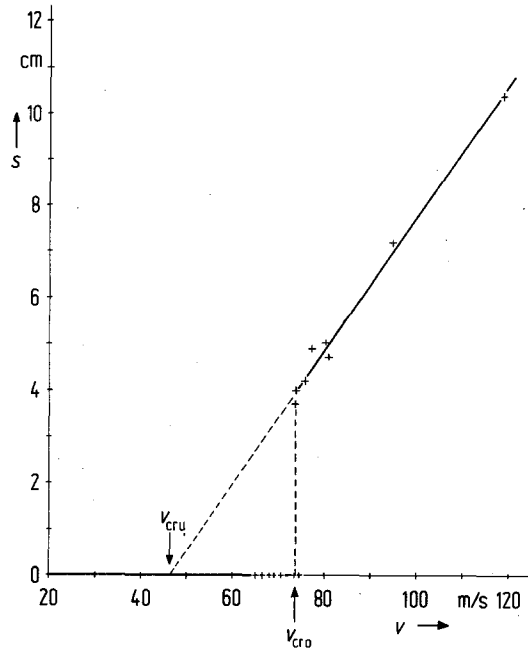
8. Die Ausführungen der Autoren zu ihren Vergleichsmessungen zwischen Haut und Mipoplast und Haut und Muskelgewebe sind etwas knapp. Man vermißt Angaben darüber, welche der drei Kaliber, .45, 9 mm und 4 mm, bei dem Vergleich berücksichtigt wurden, inwieweit also der Faktor für alle drei Kaliber anzusetzen ist. Es ist auch überraschend, wie ein derart präzises Ergebnis ($\mu = 1,19$) zustande gekommen ist, wenn die Eindringtiefe bei gleicher Geschwindigkeit um den Faktor 6,5 variieren kann (S. 316 a) 3)).

9. Zu der abschließenden Formel [25] hätte man statt einer unzulässigen Verallgemeinerung auf den „menschlichen Körper“ eine knappe Angabe des wirklich untersuchten Gültigkeitsbereiches erwartet, um Fehler dadurch zu vermeiden, daß die Formel auf solche Bereiche (Geschoßkaliber, Masse, Geschwindigkeit) angewandt wird, in denen ihre Gültigkeit nicht erwiesen ist. Ein Beispiel für eine unzulässige Anwendung geben die Verfasser bereits selbst (S. 321), indem sie die Eindringtiefe eines Geschosses berechnen, obwohl sowohl dessen Masse als auch dessen Querschnitt erheblich außerhalb des hier untersuchten Bereiches liegen.

10. Die Forderung nach gesetzgeberischen Konsequenzen (S. 327) ist teilweise bereits erfüllt. Der Tatsache, daß Geschosse von 4 mm Durchmesser gefährlicher sind als energiegleiche Geschosse von beispielsweise 7 mm Durchmesser, wird in Nr. 22.2 der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Waffengesetz vom 26. Juli 1976 Rechnung getragen. Es ist auch hinzuweisen auf § 22, Abs. 2, Satz 2 WaffG.

11. Anknüpfend an die Meßergebnisse für das Geschoß Nr. 2 in Haut und Mipoplast (S. 316 b) 2)) ist eine Bemerkung grundsätzlicher Art angebracht. Hier fällt auf, daß bei nahezu gleicher Geschwindigkeit v von etwa 74 m/s Eindringtiefen s von 0 und von etwa 4 cm ohne Zwischenwerte beobachtet wurden (vgl. Abb. 2). Das läßt auf eine Unstetigkeit im Kurvenverlauf $s(v)$ schließen. Mit einer derartigen Unstetigkeit ist aber aufgrund folgender Überlegung zu rechnen. Die Wirkung eines Geschosses auf Haut und Muskelgewebe (Oberschenkel), das gerade noch abgefangen wird ohne einzudringen, besteht darin, daß es die Hautoberfläche trichterförmig verformt, mit einem Trichterdurchmesser von etwa 4 cm. Ein Teil der Geschoßenergie steckt dann in der elastischen Verformung und der zugehörigen Bewegungsenergie des Trichterbereiches. Ein Teil dieser Energie wiederum steht aber bei etwas höherer Geschoßenergie, die für ein Eindringen ausreichend ist, für die Bildung des Schußkanals mit zur Verfügung und bewirkt, daß mit steigender Energie bei erfolgreichem Eindringen ohne Übergang Schußkanäle von einigen cm Länge entstehen. Diese Hypothese wäre natürlich experimentell eingehend zu prüfen. Immerhin ist auffällig, daß bei den Geschossen mit großen Krümmungsradien an der Vorderseite (Nrn. 1, 2, 3, 6, 7) Eindringtiefen unter 2,5 cm nicht beobachtet wurden (Zahlenwerte S. 316/317). Wieweit der spezielle Aufbau aus Haut und Mipoplast eine Rolle spielt, wäre ebenfalls zu untersuchen.

Abb. 2. Unstetigkeit der Eindringtiefe und Definition der kritischen Geschwindigkeit. Die Meßpunkte beziehen sich auf Geschoß Nr. 2 in Haut + Mipoplast



Aufgrund dieser Hypothese ist davon auszugehen, daß es bei sonst gleichen Parametern zwei Werte der kritischen Grenzgeschwindigkeit gibt (vgl. Abb. 2). Die eine, v_{cru} , ergibt sich durch Extrapolation der Meßwerte für die eingedrungenen Geschosse auf die Eindringtiefe 0. Die andere, v_{cro} , sie ist größer als v_{cru} , ist dadurch bestimmt, daß Geschosse, deren Geschwindigkeit nicht über v_{cro} liegt, nicht eindringen können. Beispielsweise ergäbe sich für das Geschoß 2 nach den Zahlenwerten auf S. 316/317 durch eine lineare Extrapolation, die in diesem Fall die Lage der Meßpunkte am besten erfaßt, ein v_{cru} von etwa 46 m/s und ein v_{cro} von etwa 74 m/s. Die teilweise erheblichen Diskrepanzen in den Werten für v_{cr} für dasselbe Geschoß (S. 318, Tabelle 1) mögen ihre Ursache auch in dem Versuch haben, eine Funktion im Bereich einer Unstetigkeit (Sprungstelle) durch stetige Funktionen anzunähern. Vom sicherheitstechnischen Standpunkt aus gesehen wird man weiterhin bei sonst gleichen Parametern von einer kritischen Geschwindigkeit, v_{cru} , auszugehen haben. Bei der Beurteilung konkreter Fälle werden Kriminologie und Rechtsmedizin aber den Unterschied beider Geschwindigkeiten beachten müssen.

Literatur

Tausch, D., Sattler, W., Wehrfritz, K., Wehrfritz, G., Wagner, H. J.: Experiments on the Penetration Power of Various Bullets into Skin and Muscle Tissue. *Z. Rechtsmed.* **81**, 309—328 (1978)

Eingegangen am 3. Mai 1979