



Deutsche Versuchs- und Prüf-Anstalt
für Jagd- und Sportwaffen e.V.

Schlussbericht

Schrote

vom 28. März 2013

zum Forschungsvorhaben

„Abprallverhalten von Jagdmunition“

zur Bereitstellung einer wissenschaftlichen
Entscheidungshilfe für das Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

1.	Aufgabenstellung.....	4
2.	Verzeichnis verwendeter Formelzeichen.....	5
3.	Versuchsbedingungen.....	7
3.1	Auswahl und Beschreibung der ausgewählten Schrote	7
3.1.1	Auswahl der Schrote	7
3.1.2	Beschreibung der Schrote	8
3.1.2.1	Blei - RWS Waidmannsheil	8
3.1.2.2	Weicheisen - RWS Steel Game	9
3.1.2.3	Zink – Hubertus Spezial	10
3.1.2.4	Wismut - Eley VIP	11
3.1.2.5	Wolfram - RWS Ultimate	12
3.2	Auswahl der Schrotkorngröße.....	13
3.3	Auswahl der Entfernung.....	13
3.4	Auswahl der Beschussmedien	13
3.4.1	Gebüsch	13
3.4.2	Baumstamm	13
3.4.3	Rückprallversuch.....	14
3.4.4	Harter Boden	14
3.4.5	Steinplatte	14
3.4.6	Weicher Boden.....	14
3.4.7	Wasser	14
3.5	Abbruchkriterium	15
3.6	Beschusskonzept.....	15
3.7	Vorrichtungen und Messmittel.....	15
4.	Messeinrichtung.....	16
4.1	Ermittlung des Auftreffwinkels	16
4.1.1	Gebüsch	16
4.1.2	Baumstamm	17
4.1.3	Rückpraller	18
4.1.4	Harter Boden	18
4.1.5	Steinplatte	18
4.1.6	Weicher Boden.....	19
4.1.7	Wasser	19
4.2	Ermittlung der Auftreffgeschwindigkeit.....	19
4.3	Ermittlung der Abgangsgeschwindigkeit	19
4.4	Ermittlung der Abgangswinkel zur Seite und zur Höhe	19
4.5	Ermittlung des Raumwinkels	20
4.6	Rückpraller.....	20
4.7	Geschossrestmasse.....	21

4.8	Die Messeinrichtung der DEVA.....	21
4.8.1	Gasdruckmesseinrichtung.....	21
4.8.2	Lichtschranken.....	21
4.8.3	Digitale Waage.....	22
4.8.4	Richtlaser.....	22
4.8.5	Laserentfernungsmesser.....	22
4.8.6	Andere Messmittel.....	22
4.9	Die Kalibrierung der Messeinrichtung.....	22
5.	Datenerfassung und -übertragung.....	23
6.	Laborierungsdaten.....	24
7.	Versuchsaufbau.....	26
7.1	Gebüsch.....	26
7.2	Baumstamm.....	29
7.3	Rückpraller.....	32
7.4	Harter Boden.....	34
7.5	Steinplatte.....	37
7.6	Weicher Boden.....	39
7.7	Wasser.....	42
8.	Ergebnisse.....	45
8.1	Gebüsch.....	48
8.2	Baumstamm.....	51
8.3	Rückpraller.....	55
8.3.1	Rückpraller am Baumstamm.....	55
8.3.2	Rückpraller am Stein.....	55
8.4	Harter Boden.....	56
8.5	Steinplatte.....	59
8.6	Weicher Boden.....	62
8.7	Wasser.....	65
9.	Auswertung und Beurteilung Dr. Kneubuehl.....	68
10.	Zusammenfassung.....	69
11.	Literaturverzeichnis.....	70
12.	Anhang.....	71

2. Aufgabenstellung

Die Deutsche Versuchs- und Prüf-Anstalt für Jagd- und Sportwaffen e.V. (DEVA) wurde mit der Erstellung einer Studie zum Abprallverhalten bleifreier und bleihaltiger Jagdmunition als wissenschaftliche Entscheidungshilfe für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) beauftragt, nachdem sie im Rahmen einer Ausschreibung den Zuschlag für die Durchführung der Studie erhalten hat.

Die Ergebnisse sollen zur Abschätzung einer eventuellen Gefährdung von Personen durch das Abprallverhalten von Jagdgeschossen dienen.

Die Studie wird begleitet durch einen von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) eingesetzten Projektrat, bestehend aus einem Vertreter des BMELV und Fachleuten verschiedener Behörden. Ziel dieser Expertengruppe ist es, schwerpunktmäßig bei der Versuchsmethodik Hilfestellungen zu geben.

Als externer Gutachter des Projektes wurde Dr. sc. forens. Dr. med. h.c. Beat Kneubuehl, Dipl.-Math., Abteilungsleiter Zentrum für Forensische Physik/Ballistik, Institut für Rechtsmedizin der Universität Bern, von der BLE beauftragt.

Dr. Kneubuehl soll das wissenschaftliche Konzept der DEVA begutachten und falls erforderlich korrigieren. Neben der gutachterlichen Tätigkeit nimmt er die Auswertung und Interpretation der erhobenen Daten vor.

Nach Vorlage der Ergebnisse der Büchsen- und Schrottschüsse wurde mit dem 01. Juli 2011 eine Erweiterung des Forschungsvorhabens um die Flintenlaufgeschosse und Schrote durch die BLE statt gegeben. Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse des Forschungsauftrages aus dem Bereich der Schrote.

2. Verzeichnis verwendeter Formelzeichen

Maß / Zeichen	Einheit	Definition	Bedeutung
A	mm	Abstand Messanschlag zur Mantellinie des Baumstammes	Berechnung von R
B	mm	Abstand in x-Richtung Messanschlag zu P _B	Berechnung x _{nach}
B	mm	Abstand in x-Richtung Messanschlag zu P _A (nur bei „Harter Boden“)	Berechnung x _{nach}
C	mm	Abstand in z-Richtung vom Messanschlag zu P _B	Berechnung von s _z
D	mm	Drehpunkt der Kiste im Schildzapfen	Bezugspunkt für Entfernungen
F	mm	Abstand in x-Richtung Messanschlag zu P _A (in Richtung Mündung positiv)	Berechnung x _{nach}
DH	mm	Höhenunterschied zur Mündungswaagerechten	Berechnung a
M	ohne	Mündung des Waffenlaufes (Punkt)	
m_R	g	Masse des ausgetretenen und aufgefangenen Geschossrestkörpers	
m_z	g	Masse des Geschosses vor dem Schuss	
R	mm	Radius des Baumstammes am Prellpunkt	
s_x	mm	Spurlänge oder Kugelriss	Abstand P _A nach P _B
s_z	mm	Spurtiefe im stehenden Baumstamm	
T	ohne	Treffer in der Indexwand mit den Koordinaten (x, y, z)	
x, y, z	m oder mm	Koordinaten von T	
U	ohne	Ursprung oder Bezugspunkt (0, 0, 0)	
P	ohne	Prellpunkt am Beschussmedium (a, b, c)	
a, b, c	mm	Koordinaten von P	

Maß / Zeichen	Einheit	Definition	Bedeutung
x_{nach}	mm	Abstand P_A nach T	Berechnung von b, g, l
x_{vor}	mm	Abstand P_B nach M	Berechnung a
v_R	m/s	Geschwindigkeit des ausgetretenen Geschossrestkörpers ($v_{R2,5}$)	
v_Z	m/s	Geschossgeschwindigkeit vor dem Ziel	
α	Grad	Auftreffwinkel	
β	Prom	Höhenwinkel	in X-Y Ebene
γ	Prom	Seitenwinkel	in X-Z Ebene
λ	Prom	Ablenkwinkel im Raum	im Raum
E_Z	J	Geschossenergie vor dem Ziel	
E_R	J	Energie des ausgetretenen Geschossrestkörpers	
P_A	ohne	Beginn der Spur	
P_B	ohne	Ende der Spur	
E	mm	Strecke U nach P_A	
ε	Grad	Fehlerwinkel durch nicht waagerechten Schuss	

3. Versuchsbedingungen

3.1 Auswahl und Beschreibung der Geschosse

3.1.1 Auswahl der Geschosse

Die Auswahl der Geschosse gestaltete sich bei den Versuchen mit Schrotten einfacher. Hier wurden die Materialien ausgewählt, die sich in jagdlicher Anwendung befinden. So stehen dem bleihaltigen Schrot 4 bleifreie Schrotmaterialien gegenüber, die wir von folgenden Herstellern bezogen:

Bleihaltiges Schrot: RWS Waidmannsheil - (RUAG Ammotec GmbH)

Bleifreie Schrote: Weicheisen (RUAG Ammotec GmbH) - RWS Steel Game
Zink (Lapua Schönebeck) - Hubertus Spezial
Wismut (Eley) - VIP
Wolfram (RUAG Ammotec GmbH) – RWS Ultimate

Die Geschosse kennzeichneten wir zur vereinfachten Darstellung der Beschriftung auf den Etiketten mit Buchstaben. Folgende Geschosse wurden untersucht:

- A) RWS Waidmannsheil
- B) RWS Steel Game
- C) Hubertus Spezial
- D) Eley VIP
- E) RWS Ultimate

3.1.2 Beschreibung der Schrote

3.1.2.1 Blei - RWS Waidmannsheil

Abbildung:



Material: Blei - 3,0 mm

Munitionshersteller: RUAG Ammotec GmbH, 90765 Fürth

Lieferant: RUAG Ammotec GmbH, 90765 Fürth

Aussagen des Herstellers/Lieferanten zur Patrone:

„Meisterhaft vollendet für anspruchsvolle Jäger. Extrem hochwertige, über Jahrzehnte immer wieder weiterentwickelte Schrotpatrone. Die Pappehülse ist zusätzlich abriebsicher und schlagunempfindlich lackiert. In den letzten Jahren mit der Zwischenmittel-Kombination Pappscheibe und Faserpfropfen verbessert, ist sie durch die Konstruktion mit der Pappeinlage im Boden extrem stabil. Das Schussbild der Waidmannsheil Pappe ist in jeder Hinsicht perfekt.“

3.1.2.2 Weicheisen - RWS Steel Game

Abbildung:



Material: Weicheisen - 3,0 mm

Munitionshersteller: RUAG Ammotec GmbH, 90765 Fürth

Lieferant: RUAG Ammotec GmbH, 90765 Fürth

Aussagen des Herstellers/Lieferanten zur Patrone:

„Die neue *Speed 28* ist eine leichte und schnelle Weicheisenschrotpatrone aus der Steel Game Reihe. Durch die hohe Mündungsgeschwindigkeit ($v_{2,5}$) von 425 m/s kann das Vorhaltemaß auf sich bewegende Ziele verringert werden.“

3.1.2.3 Zink – Hubertus Spezial

Abbildung:



Material: Zink - 3,0 mm
Munitionshersteller: LAPUA GmbH, Schönebeck
Lieferant: LAPUA GmbH, Schönebeck

Aussagen des Herstellers/Lieferanten zur Patrone:

- „Ideal für Auerhahn, Fasan, Wachtel, Hase, Ente und Taube,
- umweltfreundlich in Konstruktion und Aufbau,
- hervorragende Präzision der Trefferleistung,
- sehr gute Wirkung im Ziel,
- rauchloses Pulver, klimabeständig und wasserabweisend.“

3.1.2.4 Wismut - Eley VIP

Abbildung:



Material: Wismut - 3,1 mm

Munitionshersteller: Eley Hawk Limited, Selco Way, First Avenue,
Minworth Industrial Estate, Sutton Coldfield,
West Midlands. B76 1BA

Lieferant: AKAH, Albrecht Kind GmbH, 51654 Gummersbach

Aussagen des Herstellers/ Lieferanten zur Patrone:

„Wismut hat viele Eigenschaften, die denen von Blei ähnlich sind, besonders in Bezug auf Dichte und Härte. Das macht es zum idealen Ersatz, wo eine nichttoxische Patrone erforderlich ist. ELEY VIP Wismut ist in der Kombination von ELEY Pfropfen und des neuen Wismutschrots besonders umweltfreundlich. Es ist eine neue und sorgfältig legierte Mischung von Wismut und Zinn mit weniger als 0,2 % Verunreinigung aus nichttoxischem Silber und Kupfer. Das gibt diesem Schrot die Verformungsqualitäten von Blei, die sicherstellt, dass die Schrotkörner intakt beim Einschuss bleiben, sich aber auch soweit deformieren, um Energie freizusetzen und sauber zu töten.“

3.1.2.5 Wolfram - RWS Ultimate

Abbildung:



Material: Wolfram – 3,0mm
Munitionshersteller: RUAG Ammotec GmbH, 90765 Fürth
Lieferant: RUAG Ammotec GmbH, 90765 Fürth

Aussagen des Herstellers/ Lieferanten zur Patrone:

„Hochleistungspatrone mit Tungsten- Schrotten für stahlschrotgeprüfte Waffen. Die hohe Dichte der Schrote aus Tungsten ermöglichen eine höhere Reichweite und eine höhere Energieabgabe als vergleichbare Blei- und Stahlschrotpatronen. Für den Einsatz auch in sensiblen Landschaftsgebieten möglich, in denen kein Blei zugelassen ist.“

(„Tungsten“ ist eine Bezeichnung für Wolfram – Anm. d. V.)

3.2 Auswahl der Schrotkorngröße

Die Auswahl der Schrotkorngröße richtete sich danach, ob in den vorgegebenen Materialien auch die Durchmesser erhältlich sind. Es sollte weiterhin eine mittlere Schrotkorngröße berücksichtigt werden, so dass gemeinsam mit Dr. Kneubuehl entschieden wurde, 3-mm-Schrote für die Versuche einzusetzen. Beim Wismut-Schrot konnte kein Anbieter für eine 3,0 mm Schrotkorngröße gefunden werden, so dass wir auf 3,1 mm ausweichen mussten. Die Untersuchung einer weiteren Schrotkorngröße mit dem Durchmesser 4,5 mm wurde vom Auftraggeber nicht gewünscht.

3.3 Auswahl der Entfernung

In Abstimmung mit Dr. Kneubuehl wurde eine Prüferentfernung von:

25 m

festgelegt. Damit bewegen wir uns im mittleren Einsatzbereich beim Schrotschuss.

3.4 Auswahl der Beschussmedien

3.4.1 Gebüsch

Das Gebüsch wurde mittels Buchenstäben (6 mm im Durchmesser) dargestellt, die nebeneinander in einen Holzbalken steckten. Hier reichten maximal 3 Stäbe aus, weil durch die Schussentfernung unter Laborbedingungen ein sicheres Treffen möglich war. Die geplante Schusszahl für diesen Versuch betrug 5 Schüsse pro Trefferkategorie und Geschossmaterial. Dabei war zu berücksichtigen, dass diese Treffer auswertbar sind, das heißt, alle Daten (Ausgangsmasse des Schrotkorns, Zielgeschwindigkeit, Restmasse, Abgangsgeschwindigkeit und Ablagen sowie der Geschossrestkörper selbst) enthalten sein müssen.

3.4.2 Baumstamm

Als Material wurde die Fichte ausgewählt, weil sie die am häufigsten vertretene Baumart in Deutschland ist. Die Versuchsplanung sah vor, Abschnitte mit einer Länge von 50 cm und einem mittleren Durchmesser von 30 cm bis 35 cm zu verwenden. Die Abschnitte wurden drehbar befestigt, um sie je nach dem Grad der Zerstörung um 120° oder 180° zu drehen. Die Abschnitte wurden senkrecht aufgestellt. Durch eine seitliche Verschiebemöglichkeit konnte der Auftreffwinkel gegebenenfalls korrigiert werden. Die geplante Schusszahl betrug 5 Schüsse pro Geschossmaterial und Auftreffwinkel mit allen auswertbaren Daten.

3.4.3 Rückprallversuch

Dieser Versuch sollte klären, ob es bei dem senkrechten Beschuss eines Holzstammes oder einer Steinplatte zu Rückprallern kommt.

Die geplante Schusszahl betrug jeweils 5 Schüsse pro Geschossmaterial.

3.4.4 Harter Boden

Zur Simulation von Hartem Boden, der in der Praxis einem Naturweg mit wassergebundener Deckschicht entspricht, wurde eine Kiste mit den Abmessungen von 50 cm x 20 cm x 10 cm gebaut und mit Kalksandsteinschotter gefüllt, wie er im Straßenbau Verwendung findet. Zunächst wurde grobes Schottermaterial schichtweise eingebracht und mit Wasser bis zu einem Füllgrad von 8 cm immer wieder verfestigt. Die Deckschicht bildete feiner Schotter, der in gleicher Art und Weise behandelt wurde.

Die Kiste stand auf einer um den Auftreffwinkel geneigten Auflage. Der Auftreffpunkt wurde bei ausgerichteter Waffe mittels Laser auf dem Medium ermittelt. Er sollte im vorderen Kistendrittel liegen. Je nach Verwerfung des Bodens wurde dessen Ursprungszustand nach jedem Schuss wieder hergestellt und die Oberfläche mit definierter Masse verfestigt. Die geplante Schusszahl betrug 5 Schüsse pro Geschossmaterial und Auftreffwinkel.

3.4.5 Steinplatte

Der Versuch sollte klären, wie sich das von einer Natursteinplatte abprallende Schrotkorn verhält. Verwendet wurden einseitig geflammte Granitplatten mit den Maßen 60 cm x 30 cm x 3 cm. Die Platte wurde auf einer Unterkonstruktion um den Auftreffwinkel geneigt.

Die geplante Schusszahl betrug 5 Schüsse pro Material und Auftreffwinkel.

3.4.6 Weicher Boden

Zur Simulation von Waldboden wurde Mutterboden in eine Kiste mit den Abmessungen 50 cm x 20 cm x 10 cm gefüllt. Der restliche Versuchsaufbau ist wie beim dem Aufbau für den Harten Boden. Auch hier wurden beschädigte Stellen sofort ausgebessert. Die geplante Schusszahl betrug 5 Schüsse pro Material und Auftreffwinkel.

3.4.7 Wasser

Zur Simulation einer Wasserfläche wurde auf eine mit Wasser gefüllte, durchsichtige Kunststoffwanne (Maße 60 cm x 40 cm x 17 cm) geschossen. An der Abschlusseite wurde eine Prellplatte in die Wanne gestellt, um zu verhindern, dass Schrote den Kunststoff beschädigten. Da der Schusswinkel nicht über das Medium eingestellt

werden konnte, wurde die Waffe um den betreffenden Winkel geneigt. Die geplante Schusszahl betrug 5 Schüsse pro Kaliber und Auftreffwinkel.

3.5 Abbruchkriterium

Die Festlegung, wann ein Geschoss als Abpraller gilt, wurde von den vorangegangenen Versuchen mit Büchsenmunition und Flintenlaufgeschossen übernommen.

Definition eines Abprallers:

Ein Geschossrest wird als Abpraller bezeichnet, wenn er mehr als 50% der Masse des Ausgangsgeschosses besitzt.

Das heißt, dass die Versuche für einen Geschosstyp beendet wurden, wenn nach dem Aufprall und ab einem bestimmten Winkel eine Geschossrestmasse von weniger als die Hälfte seiner ursprünglichen Masse vorhanden ist.

3.6 Beschusskonzept

Der Beschuss der Medien erfolgte in einem Laborraum der DEVA mittels eines druckregulierbaren Luftgewehrs auf eine Entfernung von ca. 1,0 m. Über den Druck wurde eine Geschwindigkeit eingestellt, wie sie bei einer tatsächlichen Entfernung von 25 m vorhanden ist. Des Weiteren war vorgesehen, die ermittelten Geschwindigkeitswerte mit ± 10 m/s zu tolerieren, da der Aufwand für eine punktgenaue Geschwindigkeitseinstellung unverhältnismäßig hoch geworden wäre.

3.7 Vorrichtungen und Messmittel

Zur Durchführung der Versuche waren die Verwendung nachstehender Messmittel und der Bau folgender Vorrichtungen geplant:

1. Gasdruckmesseinrichtung und Messlauf 12/70
2. Lichtschranken
3. Schusswestenmaterial zum Auffangen der Geschosse
4. Laserentfernungsmesser (Auflösung 1 mm)
5. Aufnahme der Buchenstäbe
6. Holzkiste für Harten Boden
7. Holzkiste für Weichen Boden
8. Durchsichtige Kunststoffwanne für Wasser
9. Unterbau für Aufnahme der Holzkisten sowie der Steinplatte zur Einstellung der Beschusswinkel
10. Schraubstock zur Aufnahme des Luftgewehrs
11. Pumpe zum Befüllen des Luftgewehrs und Manometer
12. Rahmen für Indikatorwand

4. Messeinrichtung

Für die Auswertung ist die Erfassung folgender Versuchsparameter notwendig:

- Auftreffwinkel
- Ausgangsmasse des Geschosses
- Restmasse des Geschosses
- Auftreffgeschwindigkeit
- Abgangsgeschwindigkeit
- Abgangswinkel zur Seite und zur Höhe
- Raumwinkel

Die Ermittlung der oben genannten Parameter wurde bereits in den Berichten zum Abprallverhalten der Büchsenmunition und der Flintenlaufgeschosse beschrieben, soll aber der Vollständigkeit halber hier wieder aufgeführt werden.

4.1 Ermittlung des Auftreffwinkels

4.1.1 Gebüsch

Durch den senkrechten Beschuss der Buchenstäbe war eine Bestimmung des Auftreffwinkels nicht erforderlich.

Am Gebüsch wurden folgende Trefferkategorien analog der Versuchsreihe Büchsenmunition festgelegt:

Kategorie 1:

Am Buchenstab beschädigte das Geschoss 0 % bis 25 % des Durchmessers.



Kategorie 2:

Am Buchenstab beschädigte das Geschoss 25 % bis 50 % des Durchmessers.



Kategorie 3:

Am Buchenstab beschädigte das Geschoss über 50 % des Durchmessers oder durchschlug im mittleren Bereich den Stab.



Zur Auswertung wurden Kategorie 1 und Kategorie 2 herangezogen.

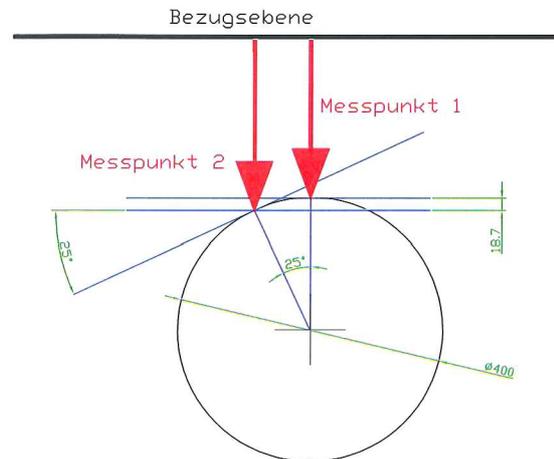
Die Erfassung erfolgte mittels digitalen Messschiebers.

4.1.2 Baumstamm

Die Ermittlung des Auftreffwinkels erfolgte analog der Versuchsreihe mit den Büch-sengeschossen.

„Der mittig angebohrte Baumstamm wird drehbar auf einer Vorrichtung gelagert. Der Abstand von der Bezugsebene zur Mitte des Baumstammes ist mit 300 mm immer konstant.

Am zukünftigen Auftreffpunkt des Schrotkorns wird der Radius des Baumstammes am Messpunkt 1 (siehe Zeichnung auf folgender Seite) ermittelt. Nach dem Schuss kann der Auftreffpunkt von selbiger Bezugsebene ebenfalls bestimmt werden (Messpunkt 2). Die sich daraus ergebende Differenz ist die Spurtiefe. Mit Hilfe einer mathematischen Operation kann nun der exakte Auftreffwinkel bestimmt werden.“



4.1.3 Rückpraller

Der Versuchsaufbau sah vor, immer senkrecht (im Winkel von 90°) auf den Baumstamm und die Steinplatte zu schießen. Um die Geschwindigkeit des rückprallenden Schrotetes messen zu können, durfte nach Absprache mit Dr. Kneubuehl die Steinplatte bis zu einem Winkel von 10° geneigt werden, da bis zu diesem Winkel der Fehler unter 5 % liegt.

4.1.4. Harter Boden

Um den Auftreffwinkel zu realisieren, wurde die Kiste um den betreffenden Winkel gedreht und mit der Unterlage fixiert.

Der Harte Boden stellte hinsichtlich der Erfassung der Spurlänge bei Verwendung eines Einzelschrotetes eine große Herausforderung dar. Geplant war eine Erfassung wie bei den vorangegangenen Projekten. Allerdings hatten wir zu diesem Zeitpunkt schon in Betracht gezogen, dass das 3-mm-Schrot keine erkennbare Spurlänge am Medium hinterlässt. Wir entschlossen uns deshalb, immer den Auftreffpunkt in den Drehpunkt der Kiste zu legen, damit die aufwändige Berechnung des tatsächlichen Auftreffwinkels entfällt.

4.1.5 Steinplatte

Für den Versuch Steinplatte wurde die Platte selbst gedreht und an einem Anschlag fixiert, um so den notwendigen Auftreffwinkel zu erzielen.

4.1.6 Weicher Boden

Der Auftreffwinkel wurde mittels voreingestellter Kistenlage realisiert. Ebenso wie beim Harten Boden haben wir immer in den Bereich des Drehpunktes geschossen. Die Berechnung des tatsächlichen Auftreffwinkels konnte somit entfallen. Nach jedem Schuss wurde der Ausgangszustand des Bodens wieder hergestellt.

4.1.7 Wasser

Der Auftreffwinkel wurde über das auf den Winkel voreingestellte Luftgewehr realisiert, das selbst in einem Schraubstock fixiert war. Damit ergab sich, bis auf vernachlässigbar kleine Abweichungen auf Grund der Streuung der Mündungsgeschwindigkeit, eine konstante Treffpunktlage.

4.2 Ermittlung der Auftreffgeschwindigkeit

Die Auftreffgeschwindigkeit wurde bei allen Versuchen mittels Lichtschrankentechnik (Messstrecke: 0,50 m) vorgenommen. Die kleine Lichtschranke von der Firma Mehl Kurzzeittechnik wurde so modifiziert, dass auch Geschosse bis zu einem Durchmesser von kleinstens 2 mm erfasst werden konnten. Üblicherweise beginnt die messtechnische Erfassung bei einem Durchmesser von ca. 4 mm.

4.3 Ermittlung der Abgangsgeschwindigkeit

Die Abgangsgeschwindigkeit wurde bei allen Versuchen mittels Lichtschrankentechnik mit großem Messbereich (Messweite: 1,00 m bzw. 0,25 m) vorgenommen. Auch hier konnten wir Schrote bis zu einem minimalen Durchmesser von 2 mm messtechnisch erfassen.

Da der Durchgang der Geschossreste nicht senkrecht zur Lichtschranke verlief, wurde zur genauen Ermittlung der Abgangsgeschwindigkeit der Abgangswinkel berücksichtigt. Das geschah automatisiert im Auswertebblatt.

4.4. Ermittlung der Abgangswinkel zur Seite und zur Höhe

Die Abgangswinkel der Geschosse wurden in vertikaler und horizontaler Richtung über eine Indikatorwand erfasst. Zuerst haben wir ohne das Beschussmedium mit 5 Schüssen einen Nullpunkt auf der Indikatorwand geschossen. Der mittlere Treffpunkt

bildete den Nullpunkt unseres Koordinatensystems für die weitere Untersuchung. Nach jedem Umrüsten ist das Schießen des Nullpunktes durchgeführt worden.

Erst danach konnte das Beschussmedium wieder in Position gebracht werden. Jeder nachfolgende Schuss auf das Prellmedium erzeugte eine auf der Indikatorwand nachvollziehbare Ablenkung.

Die Abstände wurden mit dem Messschieber, einem 2-m-Gliedermaßstab oder mittels 1-m-Schullineal vermessen. Für den senkrechten Abstand wurde ein Dreieck benutzt, das wir an der waagerechten Nulllinie anlegten.

Die ermittelten Koordinaten sind im angelegten Excel-Datenblatt sofort in entsprechende Winkel umgerechnet worden. Die Maßeinheit des Winkels sind Promille (prom.).

- Umrechnung der Einheiten: 360° entsprechen 6400 prom.
- Die Ablage in der Höhe (in y-Richtung) ergab über die Winkelfunktion „Tangens“ den Höhenwinkel β .
- Die Ablage zur Seite (in z-Richtung) ergab ebenfalls über den „Tangens“ den Seitenwinkel γ .

4.5 Ermittlung des Raumwinkels

Aus dem Höhen- und dem Seitenwinkel kann mathematisch der Raumwinkel λ berechnet werden. Die Funktion lautet wie folgt:

$$\lambda = \arccos(\cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma - \sin \alpha \cdot \sin \beta)$$

Auch diese Funktion war im Excel-Datenblatt integriert.

4.6 Rückpraller

Für den Rückprallversuch wurde die Eingangslightschranke so positioniert, dass wir nach dem Durchgang des Projektils zwar auch durch die zweite Lichtschranke geschossen haben, aber unterhalb des Lichtbandes. Durch eine leichte Schrägstellung des Rückprallmediums von ca. 8° können nun die Rückpraller das Lichtband der zweiten Lichtschranke durchqueren, um so ein Ausgangssignal zu erzeugen. So war es möglich, dass die Rückprallgeschwindigkeit erfasst werden konnte. Zwischen erster und zweiter Lichtschranke war eine Pappe mit einer Größe von ca. 1 m^2 angebracht. Sie besaß ein kleines Loch für den Geschossdurchgang vor dem Aufprall und fing die zurückgeprallten Projektile zuverlässig auf.

Die Ermittlung der Trefferkoordinaten nach erfolgtem Rückprall wurde auf der Steinplatte nicht vorgenommen.

4.7 Geschossrestmasse

Um ein Geschoss ohne weitere Beschädigungen auffangen zu können, musste die gesamte, noch zur Verfügung stehende Bewegungsenergie in andere Energieformen umgewandelt werden. Da die Restenergien beim Schrotversuch sehr gering sind, haben wir an einem Ständer „Twaron“-Gewebe der Firma „TEIJIN ARAMID GmbH“ verwendet. Dieses war nur am oberen Rand befestigt, so dass beim Auftreffen des Schrotkornes das Gewebe nach hinten nachgeben konnte. In einer darunter liegenden Schale wurden die Projektile aufgefangen bzw. steckten im ARAMID.

4.8 Die Messeinrichtung der DEVA

Der Einsatz der Messtechnik wurde schon vor Beginn der Versuche mit Büchsen- geschossen dem Projektrat vorgestellt. Dabei bestätigten uns die Mitglieder des Projektrates, dass diese Technik ausreichend für die Ermittlung aller erforderlichen Daten ist. Im Einzelnen sind das:

- Gasdruckmesseinrichtung
- Lichtschranken
- Waage (digital)
- Richtlaser
- Laserentfernungsmesser
- Messschieber (digital)
- Schullineal (1,00 m)
- Anschlagwinkel
- Gliedermaßstab (2,00 m)

4.8.1 Gasdruckmesseinrichtung

Für Gasdruckmessungen haben wir dieselbe Technik verwendet, wie im Abschlussbericht Büchsen- geschosse vom 15. Februar 2011 unter Punkt 5.8.1 beschrieben.

4.8.2 Lichtschranken

Unsere verwendeten Lichtschranken sind von der Firma „Mehl-Kurzzeittechnik“ aus Diebach. Sie können mit unterschiedlichen Messbasen ausgestattet werden. Die Eingangslichtschranke ist standardmäßig mit einer Messbasis von 0,50 m ausgerüstet, die Ausgangslichtschranke mit einer Messbasis von 1,00 m, die wir aber im Verlauf der Versuche auf 0,25 m verkürzten. Das war notwendig geworden, um für schräg durch die Messrahmen fliegende Geschosse die Erfassung der Abgangsgeschwindigkeit gewährleisten zu können. Bei Notwendigkeit verhinderte ein zusätzlicher Splitterschutz zuverlässig die Beschädigung der Messrahmen.

Sowohl Eingangs- wie auch Ausgangslichtschranke waren auf die neuen Versuchserfordernisse von Herrn Mehl eingestellt worden. Sie waren in der Lage, ein sehr kleines Projektil bis zu einer Größe von mindestens 2 mm aufzulösen.

4.8.3 Digitale Waage

Für die Ermittlung der Geschoss- und Geschossrestmassen wurde eine digitale Waage eingesetzt. Die Ausgabe der Werte kann, je nach Wahl, in Gramm oder Grain erfolgen.

4.8.4 Richtlaser

Der Richtlaser wurde bei diesen Versuchen nicht eingesetzt.

4.8.5 Laserentfernungsmesser

Zur Bestimmung aller Distanzen setzten wir einen Laserentfernungsmesser ein, der mit einer Auflösung von 1 mm ausgestattet ist. Alle Entfernungangaben waren so millimetergenau möglich. Er diente ebenfalls zur Kontrolle von Winkeleinstellungen am Medium oder an der Waffe.

4.8.6 Andere Messmittel

Im nahezu täglichen Einsatz, insbesondere um die Ablagen der Projektile zur Seite und zur Höhe festzustellen, wurden digitale Messschieber, ein Schullineal mit einer Länge von 1,00 m, ein Anschlagwinkel und Gliedermaßstäbe verwendet.

4.9 Die Kalibrierung der Messeinrichtung

Die Waage stand stets auf ebener und sauberer Fläche und wurde täglich vor Beginn der Versuche mittels Vergleichsmasse kalibriert.

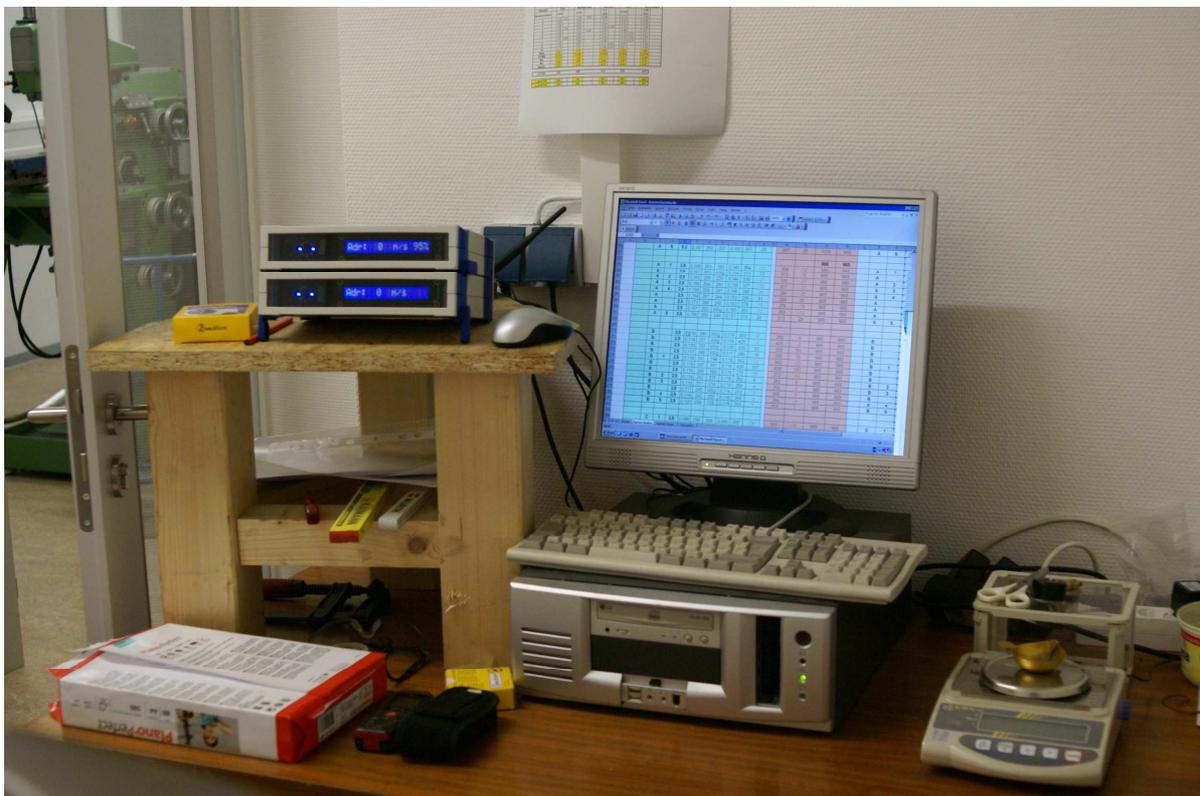
5. Datenerfassung und -übertragung

Um eine fehlerfreie Datensicherung ohne lange Zwischenwege zu erreichen, wurde im Laborraum ein Computer platziert.

Der PC stand direkt neben dem Versuchsaufbau. Hier wurden alle Geschwindigkeitsmesswerte erfasst und die ermittelten Ablagen in Höhe und Seite an der Indikatorwand sofort eingegeben.

Der Computer war nicht in das Netzwerk eingebunden. Die Datensicherung erfolgte manuell an jedem Tag.

Datenverluste traten während des Forschungsvorhabens nicht auf.



Das Bild zeigt den Bereich der Datenerfassung mit PC, Anzeigeeinheiten der Geschwindigkeitsmesseinrichtungen und Waage.

6. Laborierungsdaten

Ein Umlaborieren von Patronen war während der gesamten Versuche nicht notwendig.

Bei allen Versuchsteilen ist im Laborraum nur auf eine Entfernung von ca. 1,0 m mit dem Einzelschrot geschossen worden. Nach dem Delaborieren der Patronen konnten die Einzelschrote mittels Präzisionsstahlröhrchen (Länge jeweils 8 cm) im Durchmesser steigend von 3,0 mm – 3,1 mm – 3,2 mm und 3,3 mm vorsortiert werden.

Während der Versuche wurden die Durchmesser 3,0 mm (Blei, Zink, Stahl, Wolfram) und 3,1 mm (Wismut) verwendet, da bei Wismutschroten kein Anbieter von 3,0 mm Schrotkorngröße gefunden werden konnte.

Code	Hersteller	Typ	Kaliber	Hülsenlänge	Fertigungszeichen
A	RUAG	Waidmannsheil	12	70	13G447L0268
B	RUAG	Steel Game	12	70	02GZ48L0520
C	LAPUA	Spezial Zink	12	70	14746/01/147
D	ELEY	VIP	12	70	000E.124.2407
E	RUAG	Ultimate	12	70	51 SB 9 FG

Während des Sortierens fiel uns die starke Streuung im Durchmesser der Schrote einer Patrone auf. In folgender Tabelle ist dieser Punkt an einer Stickprobe von jeweils 10 Schroten messtechnisch erfasst worden.

Name	Schrot Durchmesser									
	Hubertus Spezial Zink		RWS Ultimate		Eley VIP		RWS Waidmannsheil		Steel Game	
	Zink		Wolfram		Wismut		Blei		Weicheisen	
Werkstoff	3 mm		3 mm		3,1 mm		3 mm		3,00 mm	
Nenndurchmesser	3 mm		3 mm		3,1 mm		3 mm		3,00 mm	
1	3,16	3,21	2,95	2,87	2,98		3,13		3,06	
2	2,85		2,95		3,01		3,09		3,06	
3	2,98		2,93		3,04		3,01		3,06	
4	2,66	2,88	2,99		2,96	2,94	3,14		3,06	
5	2,99		2,92	2,97	3,00		3,08		3,07	
6	3,02		3,08		3,03		3,10	3,01	3,07	
7	2,81	2,96	2,94		2,99		3,16	3,23	3,06	
8	3,05		2,88		2,99		3,11	3,10	3,01	
9	3,09		2,96		3,17	2,81	2,87		3,08	
10	3,13		3,05		2,80	3,07	3,21		3,06	
Mittel	2,97		2,97		3,00		3,09		3,06	
STABW	0,157		0,060		0,090		0,094		0,019	
Max	3,16		3,08		3,17		3,21		3,08	
Min	2,66		2,88		2,80		2,87		3,01	
Spanne	0,50		0,20		0,37		0,34		0,07	

(STABW=Standardabweichung)

Die jeweils zweite Spalte kennzeichnet die unrunde Form des Einzelschrots über einen weiteren Durchmesser.

Die Masse des Einzelschrotes wurde vor jedem Versuch erfasst. Die durchschnittliche Masse über alle Versuche hinweg beträgt:

	Blei	Weicheisen	Zink	Wismut	Wolfram
Masse	0,162 g	0,117 g	0,095 g	0,133 g	0,165 g

7. Versuchsaufbau

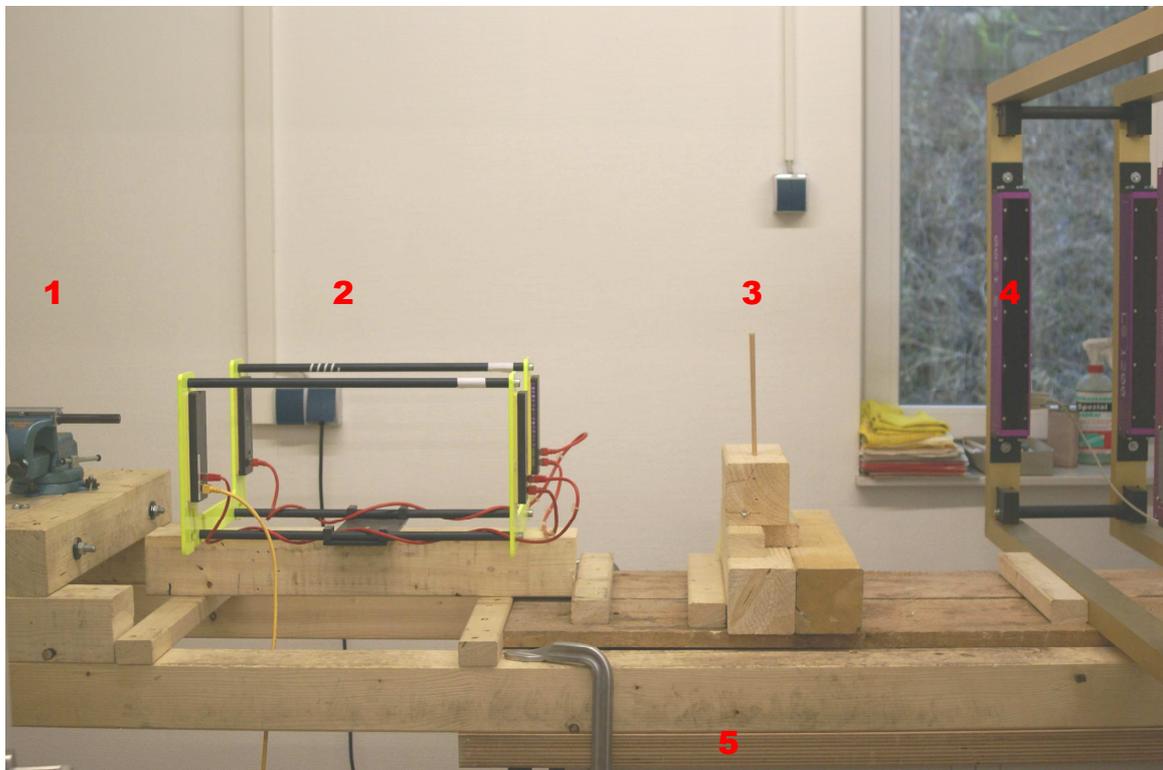
7.1 Gebüsch

Das Gebüsch wurde mittels Buchenstäben (\varnothing 6 mm) dargestellt. Die Stäbe wurden nebeneinander in einen Balken gesteckt. Als Abstand zwischen den einzelnen Buchenstäben sind 3 mm gewählt worden, damit ein problemloses Treffen der Stäbe gewährleistet werden konnte.

Um eine größtmögliche Präzision der Bohrungen zu bekommen, wurden diese auf einer mit digitaler Anzeige ausgestatteten Universalfräsmaschine eingearbeitet.



Der gebohrte und mit Buchenstäben versehene Balken ist auf einer stabilen Unterlage so befestigt worden, dass eine seitliche Verschiebung möglich war, damit bei notwendigen Korrekturen der Treffpunktlage schnell reagiert werden konnte. Die Höhe des Aufnahmebalkens gewährleistete eine senkrechte Schussabgabe (im Winkel von 90°) auf die Stäbe.



Im Bild: 1 = Luftgewehr 2 = Eingangslightschranke,
3 = Gebüsch 4 = Ausgangslightschranke,
5 = Unterkonstruktion aus Balken und Werkbank)



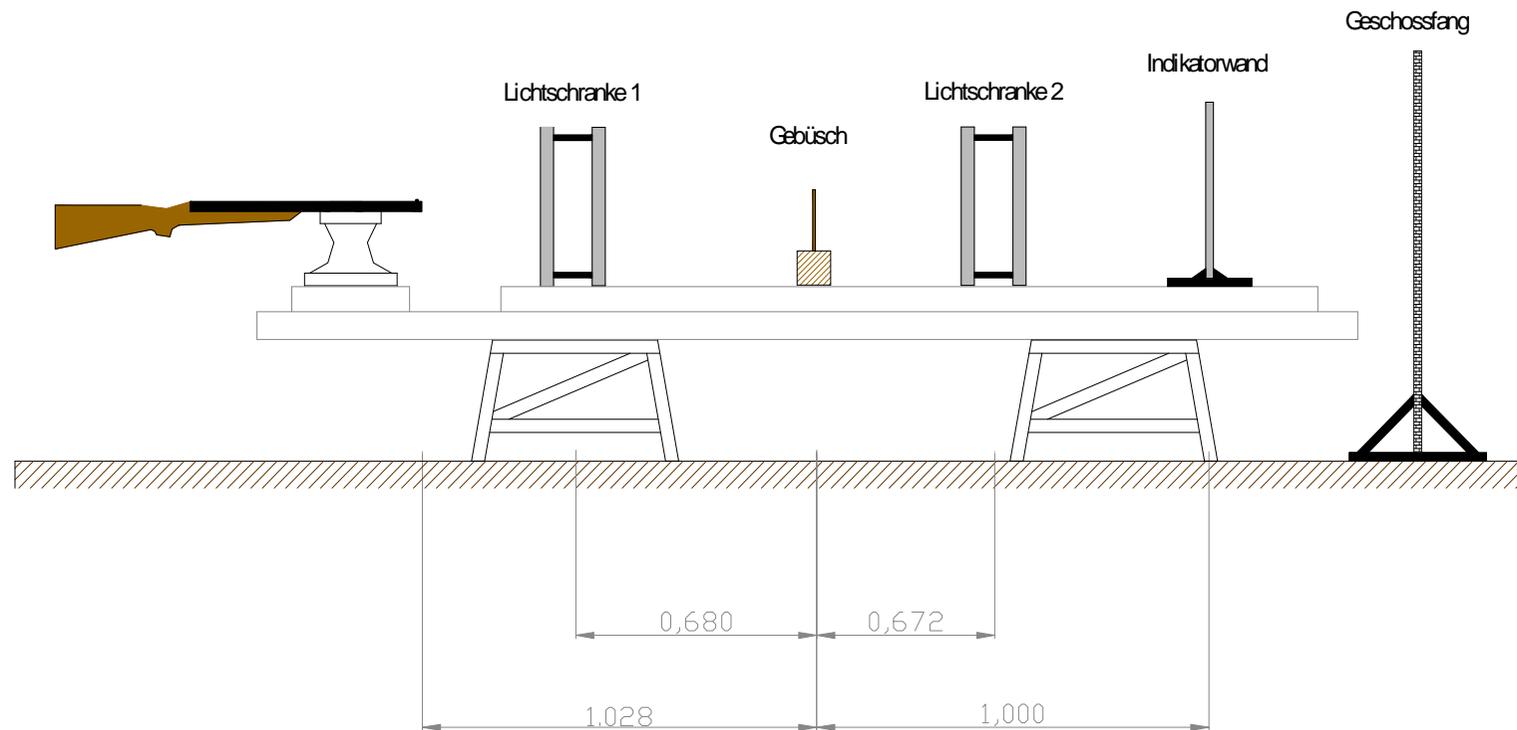
**Im Bild: 6 = Indikatorwand
 7 = Twaron-Gewebematte als Geschossfang – nur der obere Teil sichtbar)**

Für die Indikatorwand und den Geschossfang haben wir eine Kiste aus den vorangegangenen Projekten genutzt und diese auf beiden Seiten mit der jeweiligen Funktion versehen.

Die einzelnen Abstände des Messaufbaus sind der CAD-Zeichnung auf der nächsten Seite zu entnehmen.

Wie schon beschrieben, wurden die Geschosse mittels Twaron-Gewebe mit einer Größe von ca. 1,0 m x 1,0 m aufgefangen.

Versuchsaufbau Gebüsch - Schrote



7.2 Baumstamm

Als Holzart für das Beschussmedium Baumstamm wurde analog der Versuche mit den Büchsen geschossen und Flintenlaufgeschossen die Fichte ausgewählt. Die benötigte Menge wurde für die Flintenlaufgeschoss- und Schrotversuche gemeinsam bei einem ortsansässigen Waldeigentümer bestellt. Die Stämme hatten einen Durchmesser von ca. 30 cm. Sie wurden zum gleichen Zeitpunkt geschlagen. Nach Anlieferung sind die Stämme auf eine Länge von 50 cm geschnitten worden, um sie auch handhaben zu können. Danach wurden sie aufgeschichtet.



Im obigen Bild ist die benötigte Holzmenge für beide Versuche zu sehen. Bei der Verwendung zu den Schrotversuchen wurden die Stämme nochmals geteilt, so dass Stammstücke mit einer Länge von lediglich ca. 25 cm verwendet wurden. Eine Mehrfachnutzung ist durch den Einzelschrotbeschuss in allen Fällen möglich gewesen, so dass der Materialeinsatz gering war.

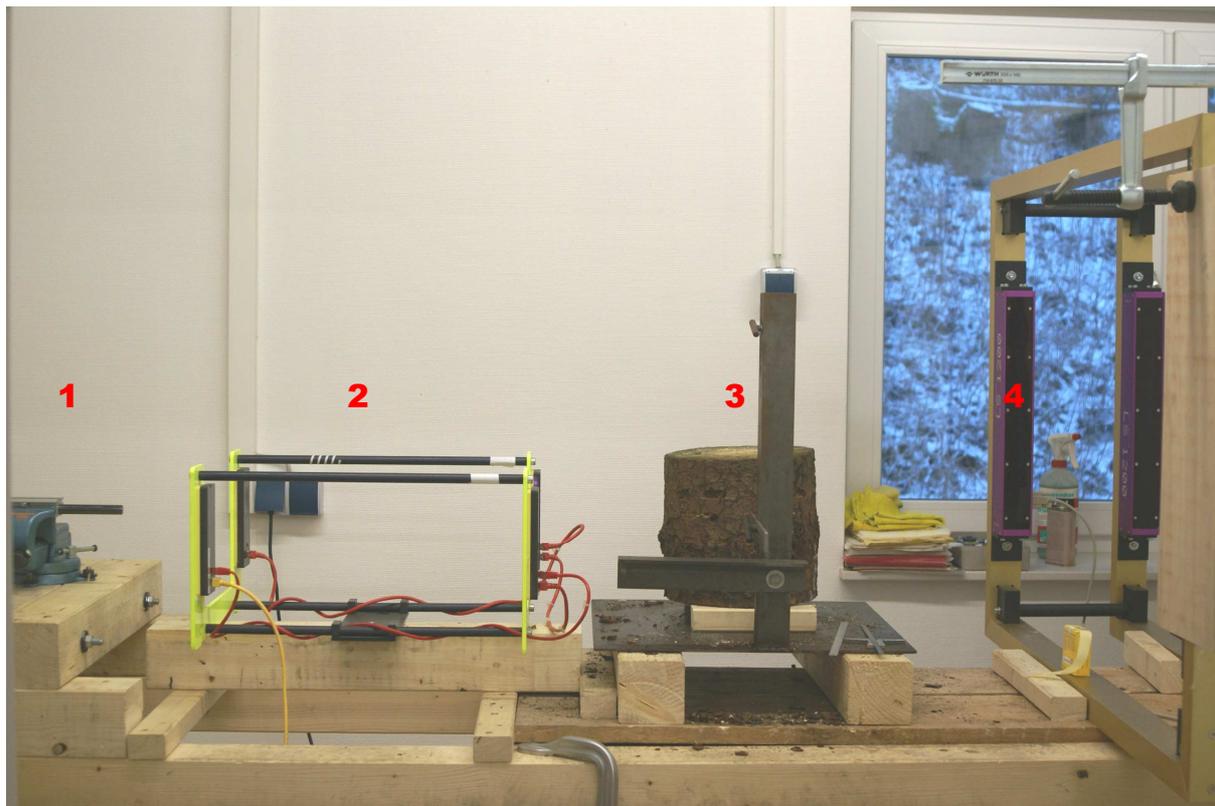
Die Stämme sind mittig angebohrt und über einen Bolzen drehbar aufgenommen worden. Im Bild rechts und auf der nächsten Seite ist der Aufbau zu erkennen.





Über den Anschlag (Pfeil) wurden die Abstandsmaße ermittelt.

Auf dem folgenden Bild ist der gesamte Versuchsaufbau zu erkennen.

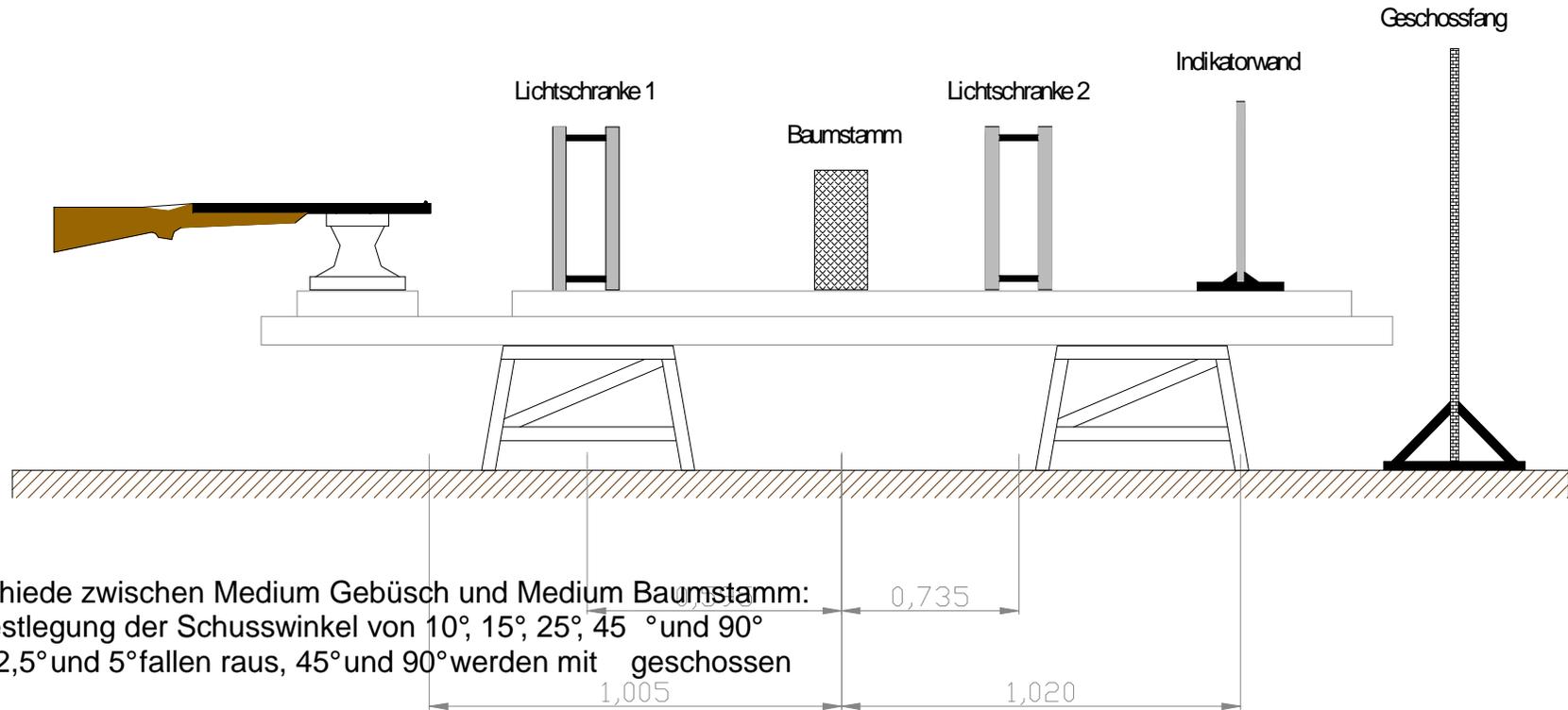


Im Bild:

- 1 = Luftgewehr
- 2 = Eingangslightschranke
- 3 = Baumstamm mit Aufnahme
- 4 = Ausgangslightschranke – alle Komponenten sind auf einer Werkbank mit Balkenlage befestigt)

Auf der nächsten Seite ist der Versuchsaufbau mit den entsprechenden Abstandsmaßen mittels CAD-Zeichnung dargestellt.

Versuchsaufbau Baumstamm - Schrote

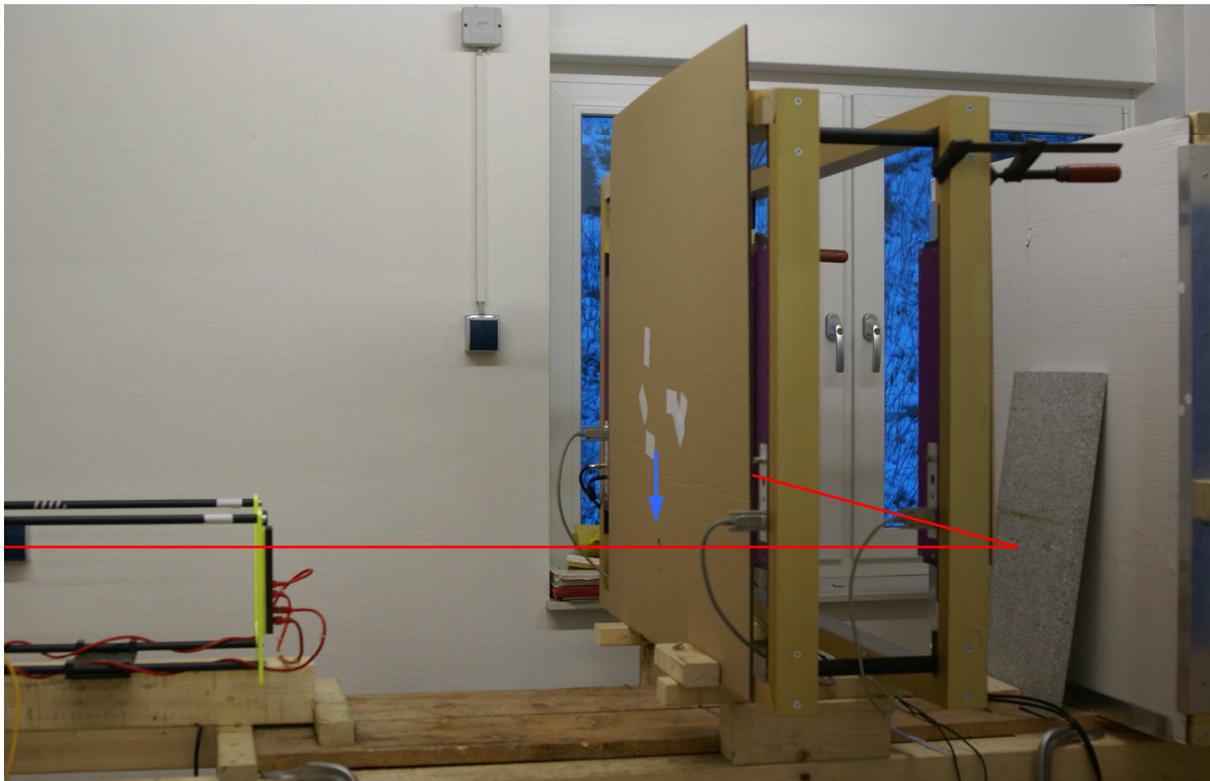


Unterschiede zwischen Medium Gebüsch und Medium Baumstamm:
 - Festlegung der Schusswinkel von 10°, 15°, 25°, 45° und 90°
 (2,5° und 5° fallen raus, 45° und 90° werden mit geschossen

7.3 Rückpraller

Im Rückprallversuch musste untersucht werden, ob und mit welcher Geschwindigkeit Schrote nach dem senkrechten Beschuss von Steinplatten zurückprallen. Die Abmaße der Steinplatte waren: 60 cm x 30 cm x 3 cm.

Die Geschwindigkeit konnte dadurch ermittelt werden, dass nach dem Durchfliegen der Eingangslightschranke die Schrote die zweite Lightschranke unterhalb des Lichtbandes passierten und erst durch das leicht schräg stehende Rückprallmedium beim Rückweg ein Signal an der zweiten Lightschranke erzeugten.

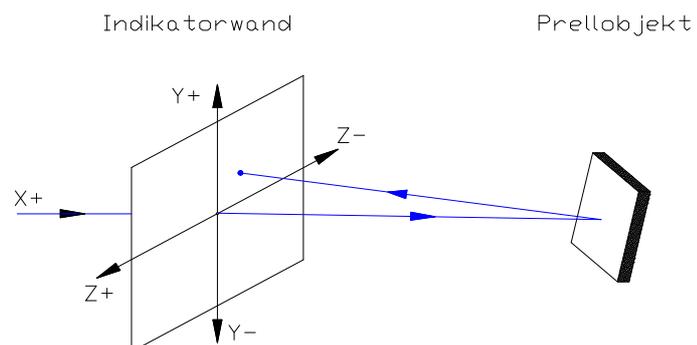


Die rote Linie kennzeichnet den Geschossweg. Der blaue Pfeil das vorgesehene Loch für den ersten Geschossdurchgang unterhalb des Lichtbandes der zweiten Lightschranke.

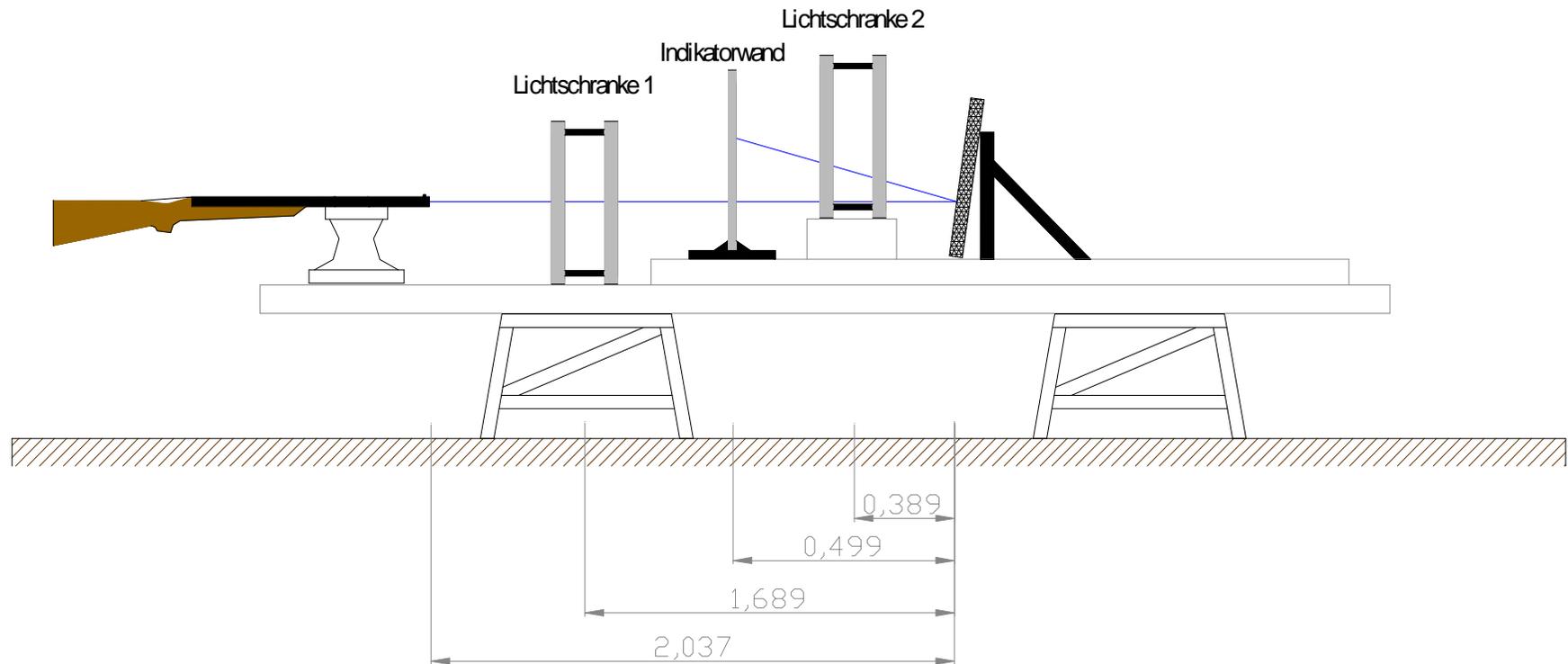
Um die Koordinaten der rückprallenden Geschosse zu ermitteln, ist die Rückseite der Pappe (vor zweiter Lightschranke) mit einem Hilfskoordinatensystem versehen worden. Alle wurden tabellarisch erfasst.

Im Bild rechts ist die technische Umsetzung dargestellt.

Alle Abstandsmaße sind der Zeichnung auf folgender Seite zu entnehmen.



Versuchsaufbau Rückpraller - Schrote



Der Neigungswinkel der Platte betrug 8° .

7.4 Harter Boden

Da die Verwendung von Einzelschroten mit deutlich geringeren Geschossenergien verbunden ist, konnte die Aufnahmekiste für das Beschussmedium wesentlich kleiner gestaltet werden.

Deren Innenmaße sind:

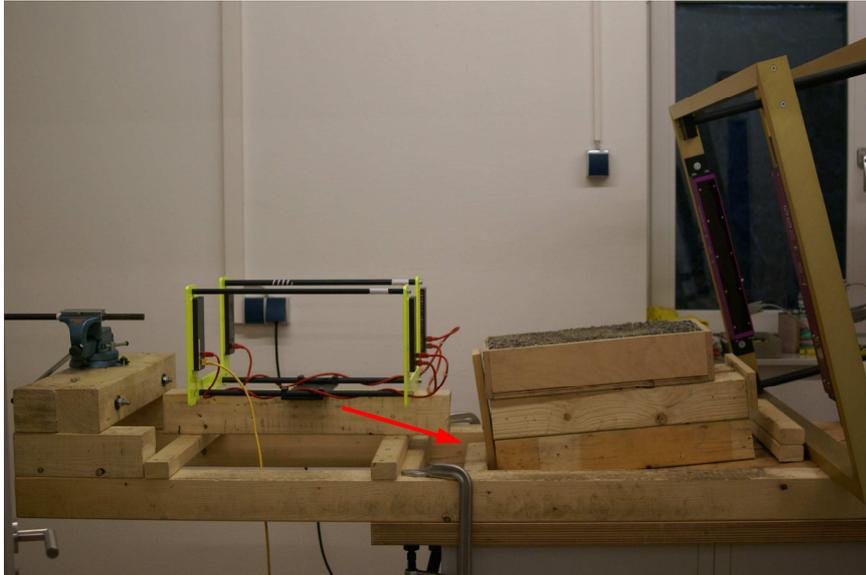
Länge	-	0,50 m
Breite	-	0,20 m
Höhe	-	0,10 m.

Die Kiste wurde mit einer starken Kunststoffolie ausgekleidet, damit die Verwendung von Wasser zur Befestigung des Materials möglich wird und die Kiste keinen Schaden nimmt. Dann wurde sie bis zu Höhe von ca. 8 cm mit groben Schotter befüllt. Unter Zuhilfenahme von Wasser ist das Material schichtweise verfestigt worden. Die restlichen 2 cm wurden mit feinerem Kies bis zur Kistenoberkante aufgefüllt und ebenfalls verfestigt. Durch diese Maßnahmen konnten wir einen Weg mit „wassergebundener Deckschicht“ herstellen.



Kiste nach dem Einbringen und Verfestigen der letzten Schicht mit feinem Kies.

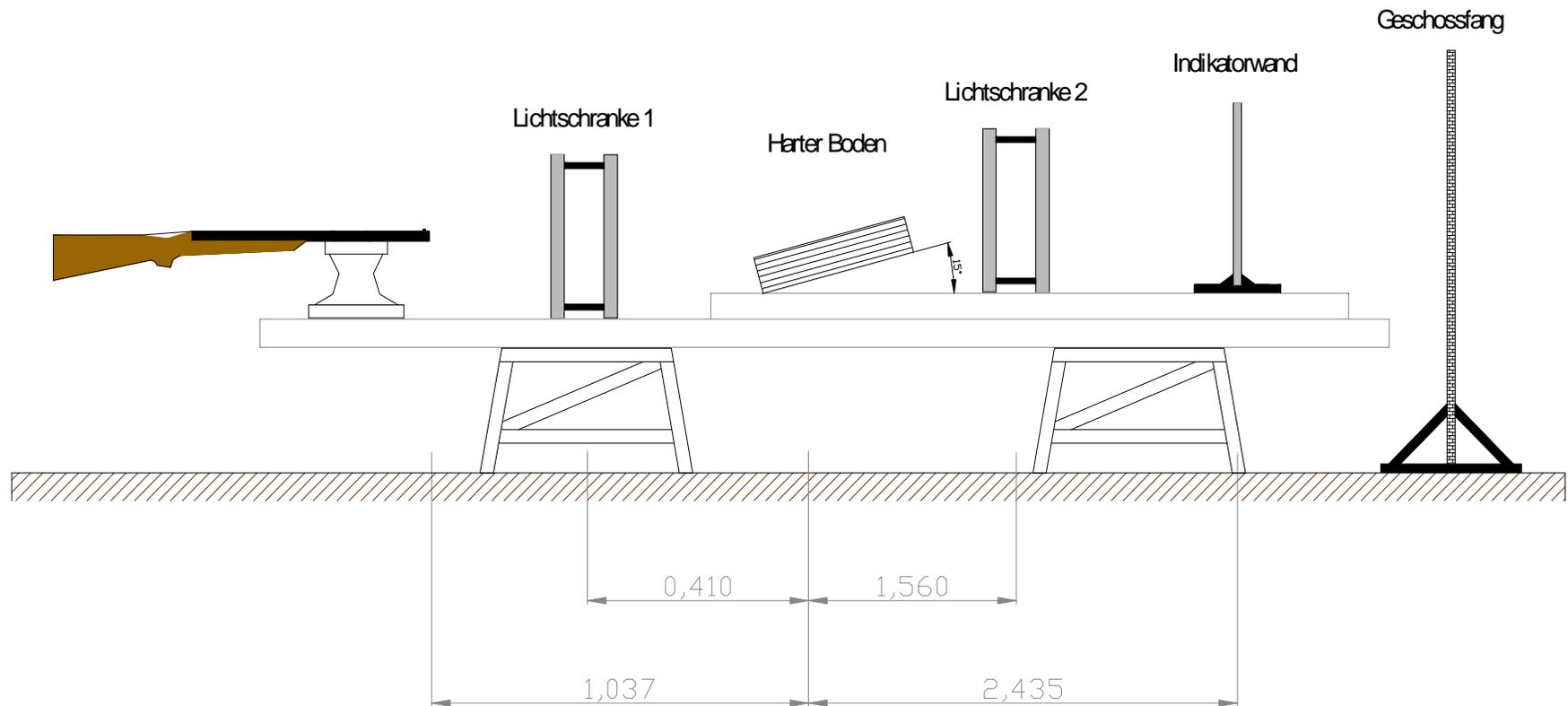
Die Einstellung des Auftreffwinkels wurde über die Neigung der gesamten Kiste bei konstanter Schussentfernung realisiert. Dazu bauten wir eine verstellbare Unterkonstruktion, die im Bild unten dargestellt ist (Pfeil).



Über die waagerechte Ausrichtung der Waffe und dem voreingestellten Kistenwinkel wurde ein konstanter Auftreffwinkel erreicht.

In der folgenden CAD-Zeichnung sind alle Abstandsmaße für den Versuch dargestellt.

Versuchsaufbau Harter Boden - Schrote



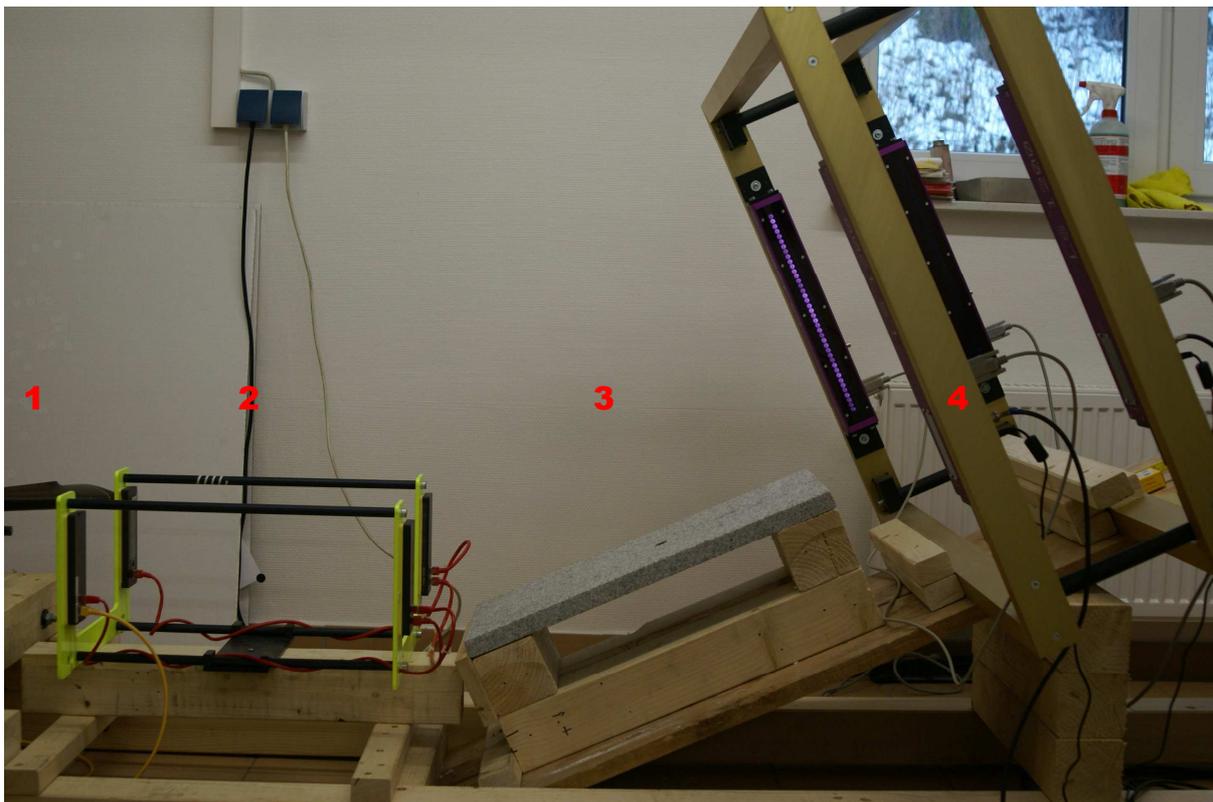
Je nach Auftreffwinkel wurden der Neigungswinkel der Kiste verändert und die Höhe der Ausgangslichtschranke, der Indikatorwand und des Geschossfanges angepasst.

7.5 Steinplatte

Im bereits durchgeführten Versuch mit Büchsenmunition und FLG wählten wir für den Beschuss dieses Mediums Granitplatten aus, die auf einer Seite geschliffen und auf der anderen Seite „geflammt“ sind (raue Oberfläche). Die raue Seite wurde dann im Versuch beschossen. Die Plattengröße ist mit 60 cm x 30 cm x 3 cm ausreichend.

In der Versuchsanordnung für Büchsenpatrone und FLG hatten wir uns für eine senkrechte Lage der Platte entschieden. Diese wurde beim Versuch mit den Schrotten auf Grund geringer Energien und kurzer Strecken verändert.

Die Platte befindet sich während der Beschüsse mit Schrot in waagerechter (natürlicher) Lage. Lediglich zur Sicherstellung eines konstanten Auftreffwinkels wurde nicht das Luftgewehr, sondern die Platte um den erforderlichen Winkel geschwenkt. Als Zielpunkt diente der Drehpunkt der Platte. Allerdings ist dieser je nach Auftreffwinkel variabel. Die Strecken vor und nach dem Auftreffpunkt wurden jeweils für den entsprechenden Winkel neu vermessen und im Datenblatt vermerkt.



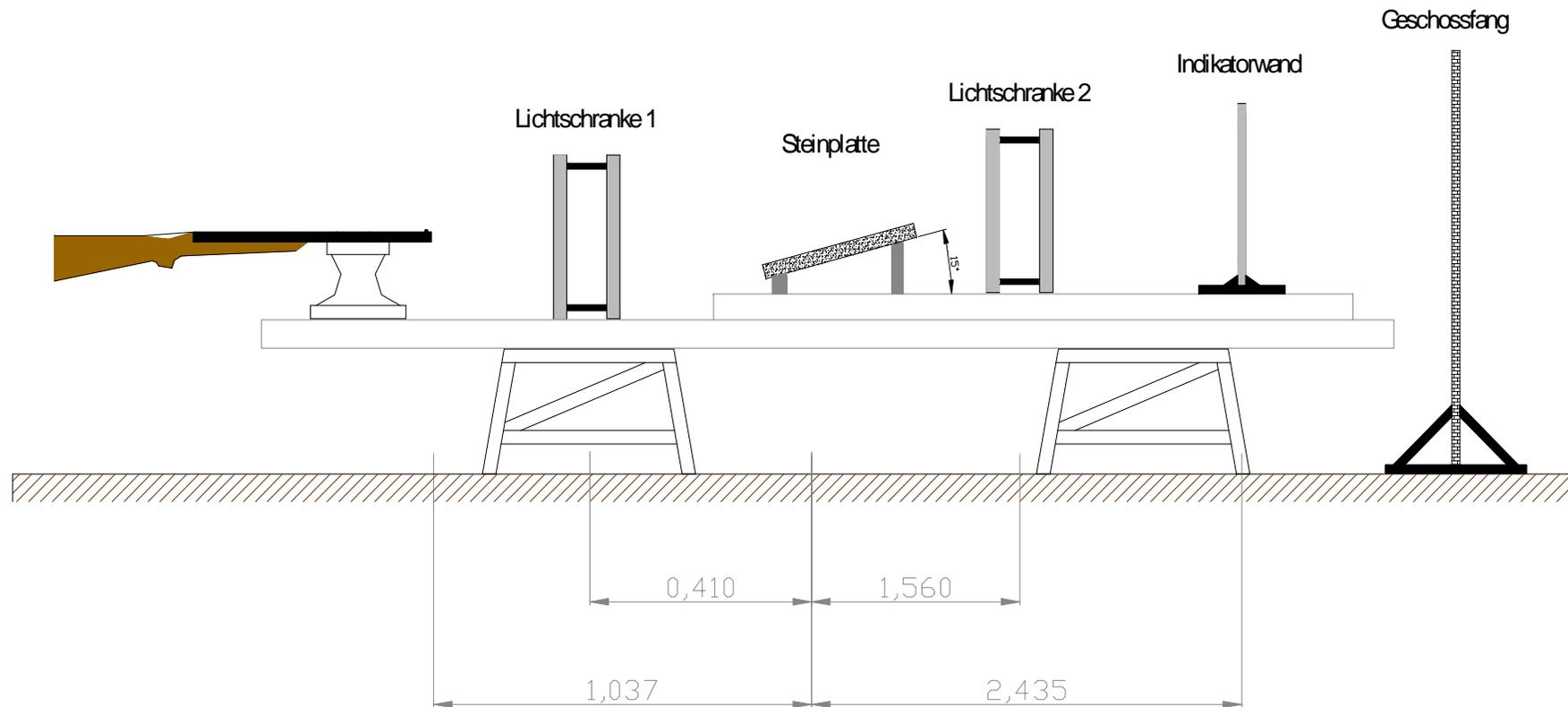
Im Bild:

- 1 = Luftgewehr**
- 2 = Einganglichtschranke**
- 3 = Steinplatte mit im Auftreffwinkel 25°**
- 4 = Ausganglichtschranke**

Da wir mit größeren Ablenkungen rechnen mussten, wurden die Indikatorwand und der Geschossfang höhenverstellbar aufgebaut und den jeweiligen Winkeln/Ablagen angepasst.

Nachfolgend ist der Versuchsaufbau Steinplatte dargestellt.

Versuchsaufbau Steinplatte - Schrote



Lichtschranke und Indikatorwand waren um den Auftreffwinkel geneigt!

7.6 Weicher Boden

Der Versuchsaufbau Weicher Boden gleicht grundsätzlich dem Versuchsaufbau Harter Boden. Die Aufnahmekiste für das Beschussmedium hat folgende Innenmaße:

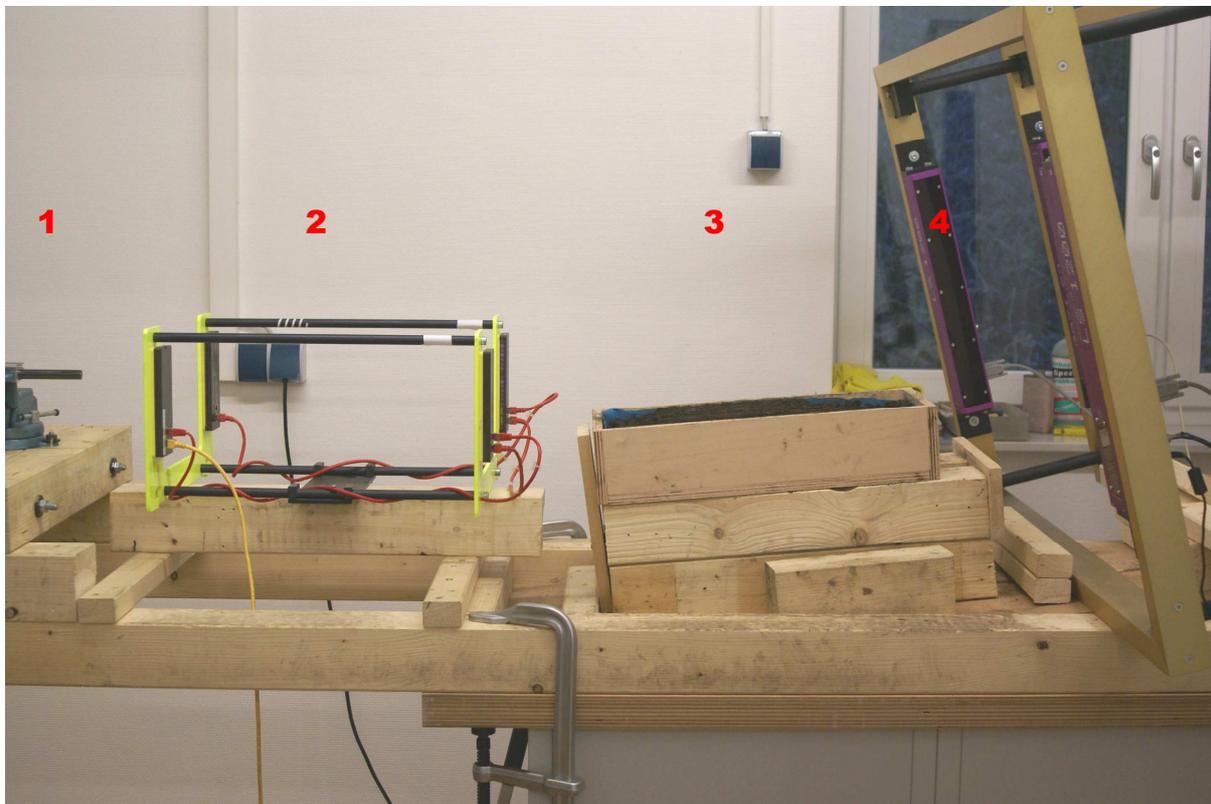
Länge	-	0,50 m
Breite	-	0,20 m
Höhe	-	0,10 m.

Die Kiste haben wir mit einer starken Kunststoffolie ausgekleidet, damit die Verwendung von Wasser zur Befestigung des Materials möglich wird und die Kiste keinen Schaden nimmt. Dann wurde schichtweise Waldboden eingefüllt und unter Zuhilfenahme von Wasser verfestigt.



Eingefüllter Waldboden vor dem Verfestigen.

Die beiden nachfolgenden Bilder verdeutlichen den Aufbau.



Im Bild: 1 = Luftgewehr 2 = Eingangslightschranke
3 = Weicher Boden im Auftreffwinkel 5° 4 = Ausgangslightschranke



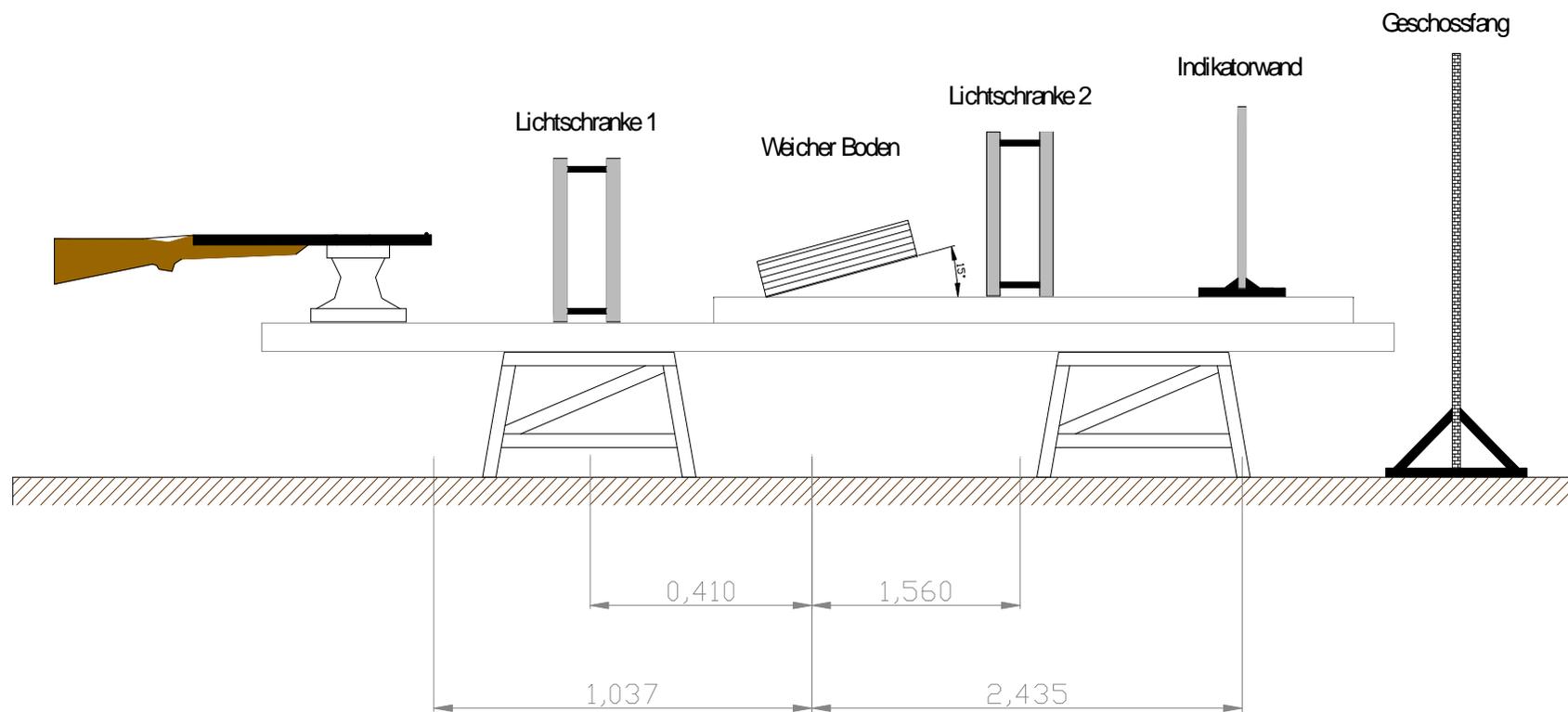
**Im Bild: 5= Indikatorwand
6= Geschossfang auf der Rückseite der Kiste (nicht sichtbar)**

Die Schrote wurden entweder auf dem Kistenboden oder in der ersten Schicht des Twaron-Gewebes gefunden.

Auf die Laubschicht war schon in den Versuchen mit den Büchsen geschossen und FLG verzichtet worden

In der folgenden CAD-Zeichnung sind alle Abstandsmaße für den Versuch dargestellt.

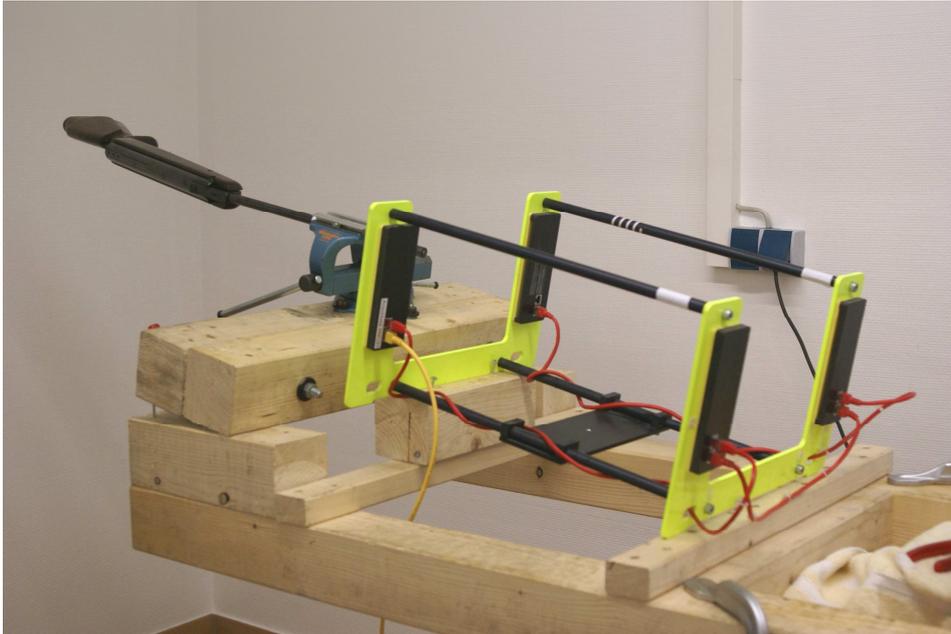
Versuchsaufbau Weicher Boden - Schrote



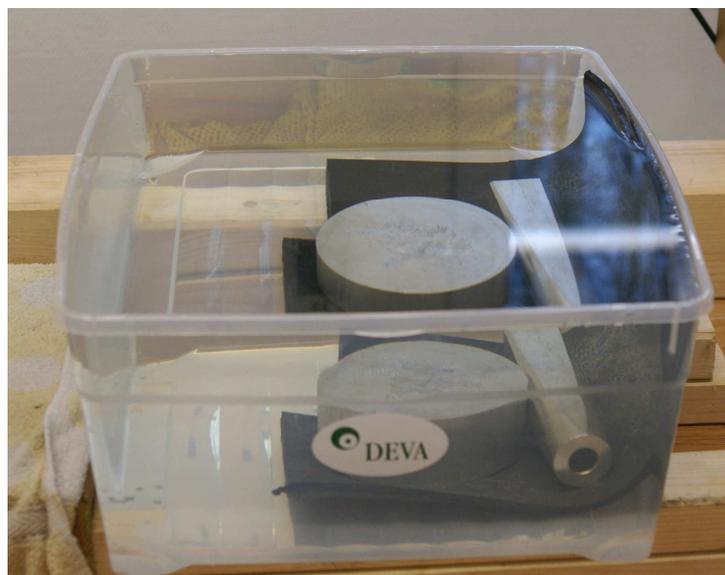
Je nach Auftreffwinkel wurde der Neigungswinkel der Kiste verändert und die Höhe und Neigung der Ausgangslichtschranke, der Indikatorwand und des Geschossfanges angepasst.

7.7 Wasser

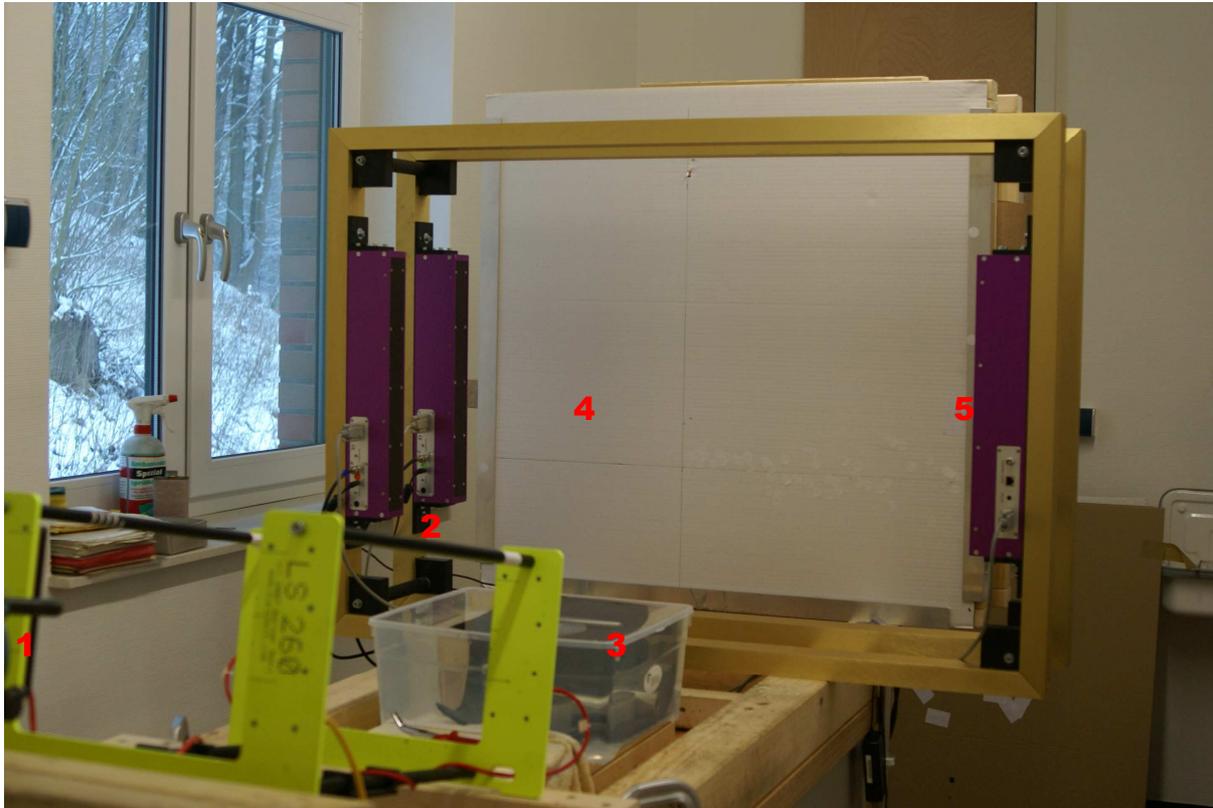
Bei diesem Medium musste der Auftreffwinkel über die Neigung der Waffe realisiert werden. Durch einen Umbau des Schraubstockes zu einer geneigten Ebene haben wir den Auftreffwinkel voreingestellt. In gleichem Winkel ist die Eingangslichtschanke aufgebaut worden. Damit waren zusätzliche Berechnungen zur tatsächlichen Eingangsgeschwindigkeit nicht notwendig. Im Bild unten ist die beschriebene Lösung dargestellt



In eine durchsichtige Wanne, die auch zu Aufnahmen mit der Hochgeschwindigkeitskamera genutzt werden sollte, wurde an der Rückseite zusätzlich eine Gummimatte eingelegt, die verhindern sollte, dass Schrote die Wanne beschädigen. In einer ersten Versuchsreihe haben wir mit der im Bild unten dargestellten kleinen Wanne experimentiert, die aber dann durch eine längere ersetzt wurde.



Im folgenden Bild ist der Versuchsaufbau dargestellt.



Im Bild:

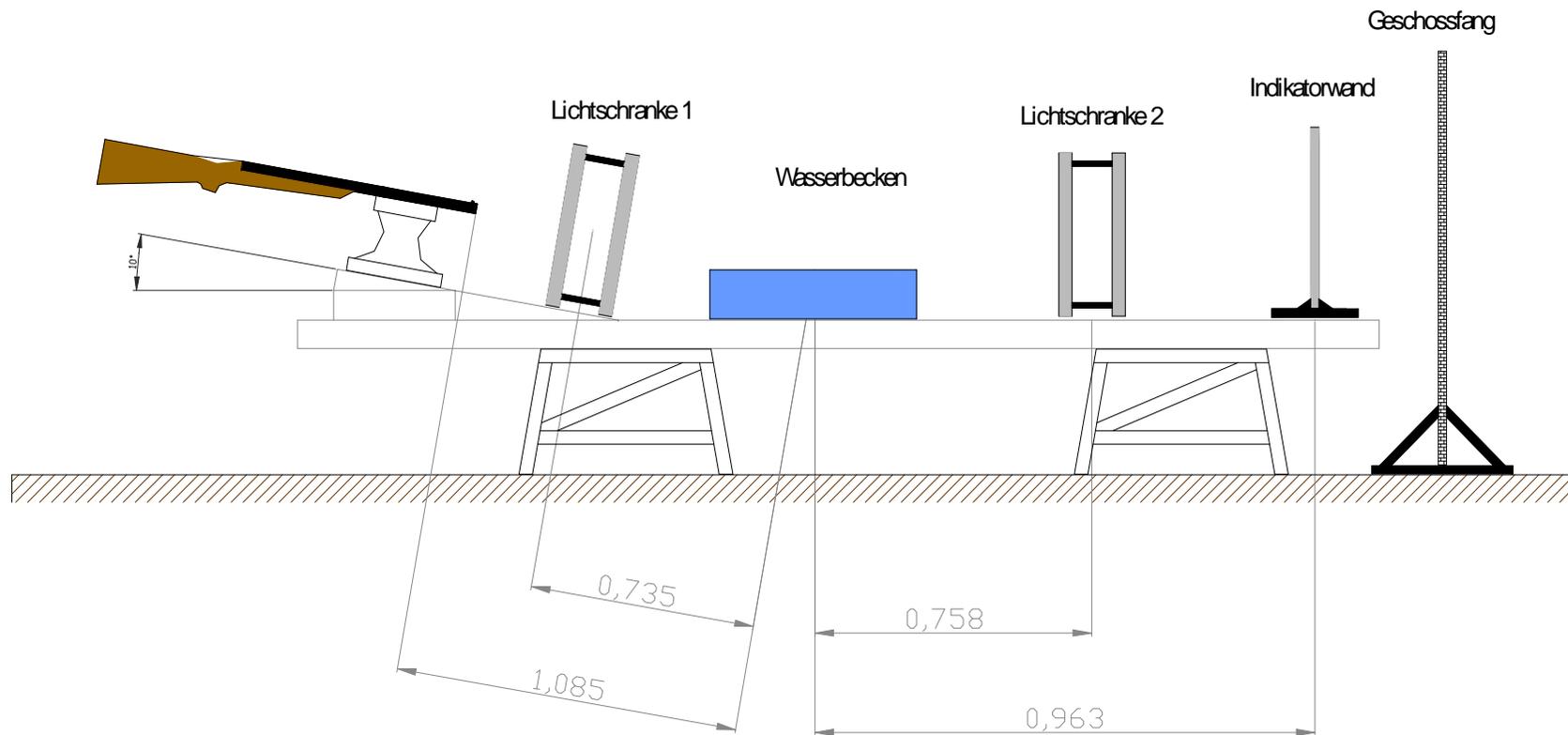
- 1 = Luftgewehr im Neigungswinkel von 5°
- 2 = Eingangslichtschanke
- 3= Beschussmedium Wasser
- 4= Ausgangslichtschanke
- 5= Indikatorwand mit sichtbarem Koordinatensystem und dahinter liegendem Geschossfang (nicht sichtbar – integriert an der Kistenrückwand)

Mit dem Einsatz der längeren Wanne wollten wir zusätzlich den Abprallgrenzwinkel bei Schroten mit entsprechender Zielgeschwindigkeit bestimmen. Zu diesem Zweck wurde auch die Hochgeschwindigkeitskamera eingesetzt, die bei durchsichtiger Wanne den Vorgang sichtbar und nachvollziehbar macht.

Je nach Auftreffwinkel sind die Höhe der Lichtschanke, der Indikatorwand mit Geschossfang angepasst worden.

In der folgenden CAD-Zeichnung sind alle Abstandsmaße für diesen Versuch aufgeführt.

Versuchsaufbau Wasser - Schrote



8. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, die die DEVA während der Untersuchung in Text-, Tabellen- und Bildform festgehalten hat. Sie stellen die vorbereitenden Bausteine für die Auswertung des Forschungsvorhabens durch den wissenschaftlichen Gutachter Dr. Beat Kneubuehl dar.

In einer ersten Versuchsreihe haben wir die Mündungsgeschwindigkeiten (v_3) und die Geschwindigkeit in Zielentfernung (v_{25}) mittels Lichtschrankentechnik real ermittelt.



In der Raumschießanlage haben wir 25 m vor dem Sandfang den Verschlussbock mit Lauf positioniert, um die v_{25} zu ermitteln

Zum Schutz der Lichtschranken wurden davor Stahlbleche montiert. Das Garbenzentrum passierte den Messbereich. Einige Randschrote wurden von den Blechen, wie im Bild sichtbar abgefangen.



Auf Basis dieser Messungen hat Dr. Kneubuehl die v_{25} mit Hilfe des Ballistikprogramms „k-ballistics“ nachgerechnet und für jedes Geschossmaterial die am Luftgewehr für das Einzelschrot einzustellende Zielgeschwindigkeit festgelegt. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

	Bleischrot	Weicheisen	Zink	Wismut	Wolfram
	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Messung v_3	376	410	415	397	386
Messung v_{25}	254	235	232	286	267
v_{25} festgelegt	255	235	230	280	265

Der Toleranzbereich für die Zielgeschwindigkeit betrug $\pm 10\text{m/s}$.

Diese Zielgeschwindigkeit musste am Luftgewehr eingestellt werden. Dazu dienten uns eine Handpumpe und ein Manometer. Durch Befüllen des Zylinders und einer anschließenden Geschwindigkeitsmessung wurde die druckabhängige Geschwindigkeit eingestellt. Mit dem Wissen um die Höhe des Drucks war immer eine relativ exakte Einstellung der Zielgeschwindigkeit möglich, wobei nach jeder Druckänderung immer zuerst zwei Schüsse gemacht wurden, um den erforderlichen Geschwindigkeitsbereich konstant zu erreichen.



Im Bild oben ist die angeschlossene Pumpe am Luftgewehr zu erkennen.

Mittels Manometer wurde der
Für die jeweilige Geschwindig-
keit ermittelte Druck eingestellt.



8.1 Gebüsch

Das Gebüsch wurde durch Buchenstäbe im Durchmesser von 6 mm dargestellt und beschossen. Die Ablenkungen sind auf Grund der Stoßgesetze groß.

Alle Werte wurden mit Kategorie 1 und 2 erzielt.

In folgender Tabelle sind die größten seitlichen Ablenkwinkel erfasst.

	A	B	C	D	E
Trefferart 1 [prom] [°]	262,0 14,74	-174,5 -9,82	-373,5 -21,01	-124,7 -7,01	-117,6 -6,62
Trefferart 2 [prom] [°]	309,0 17,38	385,8 21,70	397,2 22,34	-189,3 -10,65	175,7 9,88

Da eine seitliche Ablenkung nach rechts oder links im Koordinatensystem erfolgen kann, sind einige der Maximalwerte mit negativem Vorzeichen versehen. Dies bedeutet eine Ablenkung nach links.

Der Unterschied zwischen maximal erreichter Ablenkung bei bleihaltigen und bleifreien Schrotten ist sehr gering und beträgt annähernd 5°.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei unseren Versuchen die Schrote mit Trefferart 2 (bis zu 50 % des Stabquerschnittes wurden getroffen) die größten seitlichen Ablenkwinkel erreichten.

Die Spannweite über alle Trefferarten bewegt sich von $-21,01^\circ$ bis $22,34^\circ$. Der gesamte Ablenkbereich umfasst somit $43,35^\circ$.

Im Bereich der seitlichen Ablenkung ist eine sehr große Bandbreite bei allen Geschossen zu verzeichnen. Eine gleichmäßige Ausrichtung selbst innerhalb einer Geschoss-Trefferart-Konstellation kann nicht festgestellt werden.

Damit kann konstatiert werden, dass die Schrote sich in Bezug auf die seitliche Ablenkung wesentlich von den Büchsen- und Flintenlaufgeschossen unterscheiden.

Im Versuch mit den Büchsen- und Flintenlaufgeschossen war zu beobachten, dass die Geschosse, die den Stab links berührten, zumeist nach rechts oben ablenkten und die Geschosse, die den Stab rechts streiften, nach links unten abgelenkt wurden. So lagen die meisten Treffer im ersten und dritten Quadranten. Während des Versuches mit den Schrotten konnte dieses Verhalten nicht beobachtet werden. Bei Treffern an der rechten Stabseite wurden alle Schrote auch nach rechts abgelenkt. Als Erklärung sind hier die fehlende Drallstabilisierung und die geringe Geschossmasse im Vergleich zur Zielmasse anzuführen.

Die Auswertung der Geschossrestmassen in Abhängigkeit der Trefferart ergab, dass es zwischen bleihaltigen und bleifreien Einzelschrotten im Mittel keine nennenswerten

Unterschiede beim Beschuss des Mediums Gebüsch gibt. Allerdings ist in der Beschaffenheit des Mediums und in der geringen Geschossmasse die Ursache dafür zu finden.

In der folgenden Tabelle finden sich die entsprechenden Angaben zur den mittleren Restmassen (in %):

	A	B	C	D	E
Trefferart 1 [%]	99,9	100,0	99,2	99,0	100,0
Trefferart 2 [%]	98,9	99,5	99,8	99,7	99,9

Alle Geschosse verhielten sich am Gebüsch massestabil. Die Deformationen am Geschosskörper waren sehr gering. Beispielhaft werden nachfolgend von jedem Material aus Trefferkategorie 2 die Schrote aufgeführt.



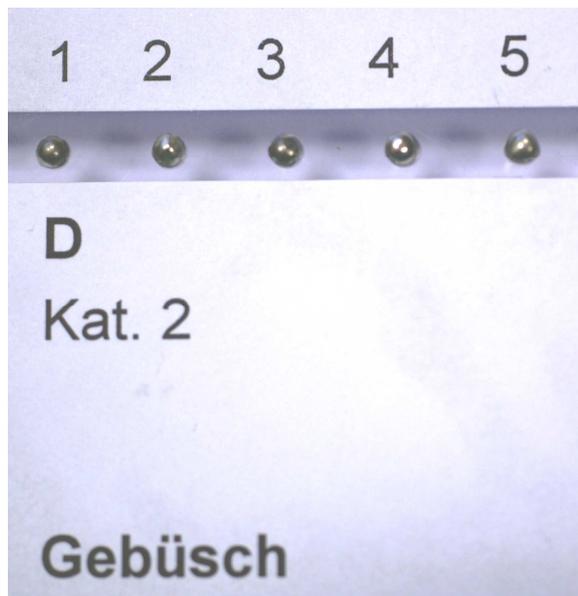
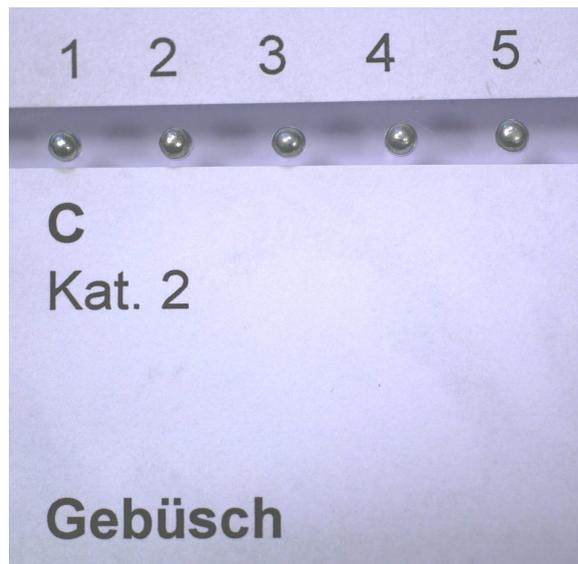
A
Kat. 2

Gebüsch



B
Kat. 2

Gebüsch



8.2 Baumstamm

Das Medium Baumstamm war im Vergleich zu den Untersuchungen zum Büchsen- geschoss und Flintenlaufgeschoss mit dem Einzelschrot einfacher zu beschießen. Alle bisherigen Feststellungen zur Ermittlung des Auftreffwinkels und des Toleranz- feldes wurden wieder berücksichtigt. Diese sind:

- die Änderung der zu schießenden Winkel – Streichung von 2,5° und 5° und Hin- zunahme von 45° und 90° und
- die Schaffung eines Toleranzfeldes von $\pm 2,5^\circ$ um den Auftreffwinkel.

Der kurze Abstand zum Baumstamm ermöglichte ein einfacheres Treffen unter ei- nem definierten Auftreffwinkel. Lediglich die natürlich gewachsene Oberfläche (Rinde) des Baumes sorgte für Wiederholungen.

Spuren/Aufrisse am Baumstamm

Die am Baumstamm verursachten Beschädigungen lassen einen Rückschluss auf den möglichen Auftreffwinkel zu, wobei das verwendete Material eine untergeordnete Rolle spielt. Anhand folgender Beispiele sollen Schrotspuren unter den geschosse- nen Winkeln dargestellt werden.



Auftreffwinkel: 10°

Die Geschossspur des Bleischrotes ist gut zu erkennen (Pfeil).



Auftreffwinkel: 15°
Spur eines Zinkschrotes



Auftreffwinkel: 25°
Bild oben: Bleischrot
Bild rechts: Zinkschrot





Auftreffwinkel: 45°

Wolframschrot

Die Geschosse verhielten sich bei einem Auftreffwinkel von 25 ° wie folgt:

Geschoss A: bei 8 von 8 Schüssen - Steckschuss

Geschoss B: bei 5 von 5 Schüssen - Steckschuss

Geschoss C: bei 5 von 5 Schüssen - Steckschuss

Geschoss D: bei 8 von 8 Schüssen - Steckschuss

Geschoss E: bei 6 von 8 Schüssen - Steckschuss

Beim Wolframschrot wurden bei einem Auftreffwinkel von 25° Abpraller registriert.

Bei einem Auftreffwinkel von 45° und 90° verblieben alle Schrote, wie erwartet, im Baumstamm.

Geschossmassen

Die Festlegung aus den ersten beiden Versuchsteilen (Büchsen- und FLG), dass ein Versuch beendet wird, wenn die Geschossmasse dauerhaft unter 50 % der Ausgangsmasse sinkt, wurde auch für die Versuchsreihe mit den Schrotten beibehalten.

Es ergaben sich folgende auftreffwinkelbezogene mittlere Geschossrestmassen (in %):

Auftreffwinkel	A	B	C	D	E
10°	98,7	99,7	99,6	99,3	100,0
15°	99,1	99,3	99,6	99,2	99,8
25°	-	-	-	-	99,4*
45°	-	-	-	-	-
90°	-	-	-	-	-

* Die Minimalanzahl von 5 auswertbaren Schüssen wurde nicht erreicht.

Diese Tabelle zeigt, dass alle Geschossmaterialien sich massestabil verhielten.

Maximale seitliche Ablenkwinkel

Die folgende Tabelle zeigt die während der Versuche am Baumstamm festgestellten maximalen Ablenkwinkel (in °) zur Seite.

Auftreffwinkel	A	B	C	D	E
10°	5,1	18,5	23,8	27,7	27,5
15°	26,5	21,2	35,6	25,2	14,5
25°	-	-	-	-	24,2*
45°	-	-	-	-	-
90°	-	-	-	-	-

* Die Minimalanzahl von 5 auswertbaren Schüssen wurde nicht erreicht.

Der Unterschied zwischen maximal erreichter Ablenkung bei bleihaltigen und bleifreien Schrotten mit einem Auftreffwinkel von 15° beträgt 9,1°.

Deformationen am Schrot

Die Geschossdeformationen ließen bei den bisherigen Untersuchungen in vielen Fällen Rückschlüsse auf einen möglichen Auftreffwinkel zu. Für die Schrote ist das bei den von uns durchgeführten Versuchen nicht zutreffend.

Beim Versuch Baumstamm übte das Prellmedium auf Grund seiner Natürlichkeit spürbaren Einfluss (z. B. auf die Ablage in Höhen- und Seitenrichtung) auf die auftreffenden Geschosse aus. Eindeutige Schlussfolgerungen/Zuordnungen sind hinsichtlich bleihaltiger bzw. bleifreier Geschossmaterialien nicht möglich.

Alle Messwerte und die dazu gehörigen Bilder der Schrote finden sich im Anhang.

8.3 Rückpraller

8.3.1 Rückpraller am Baumstamm

Rückpraller beim senkrechten Beschuss des Baumstammes wurden über alle Geschossmaterialien nicht registriert

8.3.2 Rückpraller an der Steinplatte

Die Rückprallversuche wurden durch einen fast senkrechten Beschuss (effektiver Beschusswinkel 82°) einer Granitplatte realisiert.

In Abhängigkeit der verwendeten Geschossmaterialien wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

Bleischrot (A)

Das Bleischrot zerlegte sich an der Granitplatte und erzeugte so keine messbaren Rückpraller.

Weicheisenschrot (B)

Beim Weicheisenschrot wurden bei allen Versuchen Abpraller registriert.

Die mittlere Geschossrestmasse betrug 98,5 %.

Die mittlere Restenergie betrug 0,10 J.

Die für eine Gefährdungsbeurteilung wichtige maximale Restenergie betrug 0,11 J.

Zinkschrot (C)

Beim Zinkschrot konnten Abpraller registriert werden.

Die mittlere Geschossrestmasse betrug 52,6 %.

Die mittlere Restenergie konnte auf Grund fehlender Restgeschwindigkeit nicht ermittelt werden.

Wismutschrot (D)

Das Wismutschrot zerlegte sich an der Granitplatte und erzeugte so keine messbaren Rückpraller.

Wolframschrot (E)

Beim Wolframschrot wurden bei allen Versuchen Abpraller registriert.

Die mittlere Geschossrestmasse betrug 28,4 %.

Die mittlere Restenergie betrug 0,06 J.

Die für eine Gefährdungsbeurteilung wichtige maximale Restenergie betrug 0,11 J.

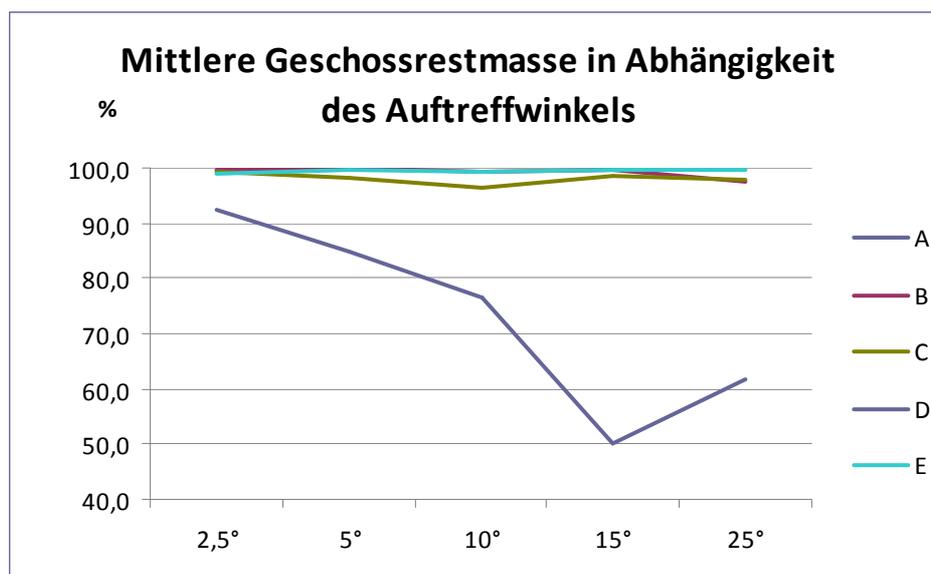
Die Ergebnisse zeigen, dass die bleifreien Schrote eine signifikant höhere Rückprallneigung im Vergleich zu bleihaltigem Schrot aufweisen.

8.4 Harter Boden

Beim Beschießen des Harten Bodens rechneten wir mit sehr großen Abprallwinkeln. Durch eine höhenverstellbare Indikatorwand mit integriertem Geschosfang konnten wir im Labor alle Geschosse zuverlässig auffangen.

In einer ersten Betrachtung haben wir die mittlere Geschossrestmasse in Abhängigkeit des Auftreffwinkels betrachtet. Die Ergebnisse sind tabellarisch und grafisch im folgenden Text dargestellt.

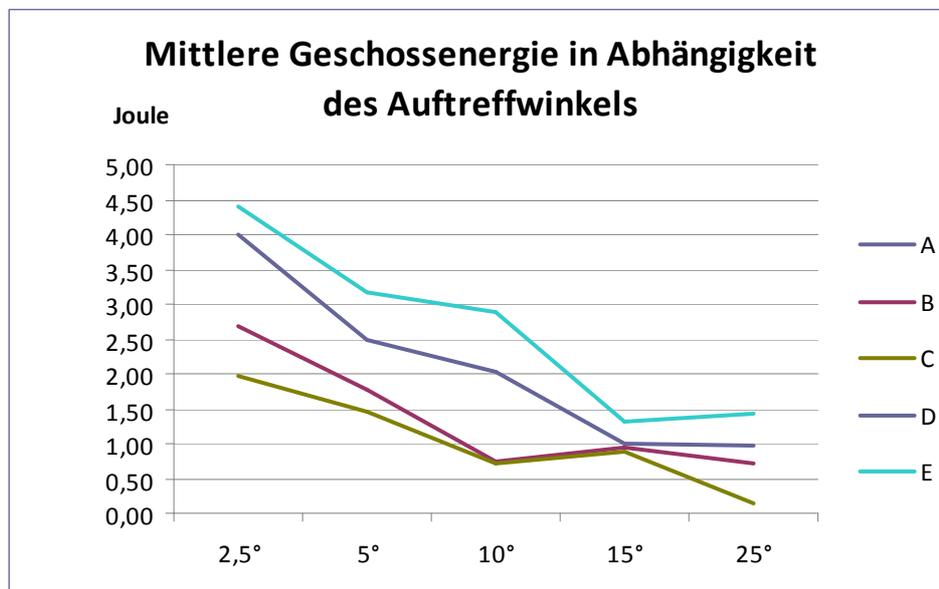
	A [%]	B [%]	C [%]	D [%]	E [%]
2,5°	92,4	99,7	99,4	92,9	99,0
5°	84,9	100,0	98,3		99,6
10°	76,5	99,3	96,3		99,2
15°	50,1	99,5	98,7		99,5
25°	61,8	97,5	98,0		99,8



Lediglich das Bleischrot verliert mit zunehmendem Auftreffwinkel an Masse. Die bleifreien Schrote sind massestabil. Eine Ausnahme bildet das Wismutschrot (D), welches schon bei einem Auftreffwinkel von 5° sich unterhalb der 50 % Massengrenze befand.

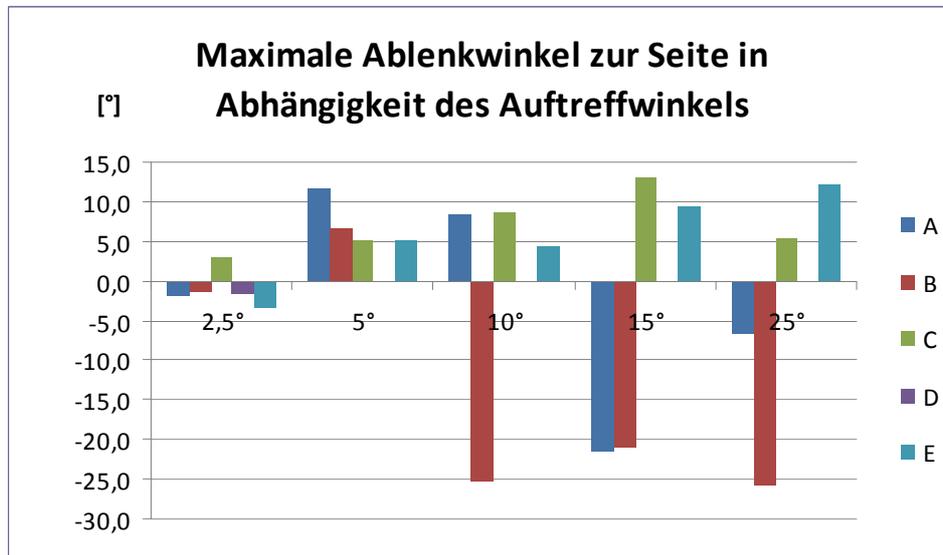
Eine weitere Betrachtung ist dem Energieverlauf in Abhängigkeit des Auftreffwinkels gewidmet, der im nachfolgenden Diagramm dargestellt ist.

	A (J)	B (J)	C (J)	D (J)	E (J)
2,5°	4,00	2,69	1,96	4,42	4,39
5°	2,49	1,78	1,45		3,17
10°	2,03	0,73	0,72		2,90
15°	0,99	0,94	0,90		1,32
25°	0,96	0,72	0,14		1,43

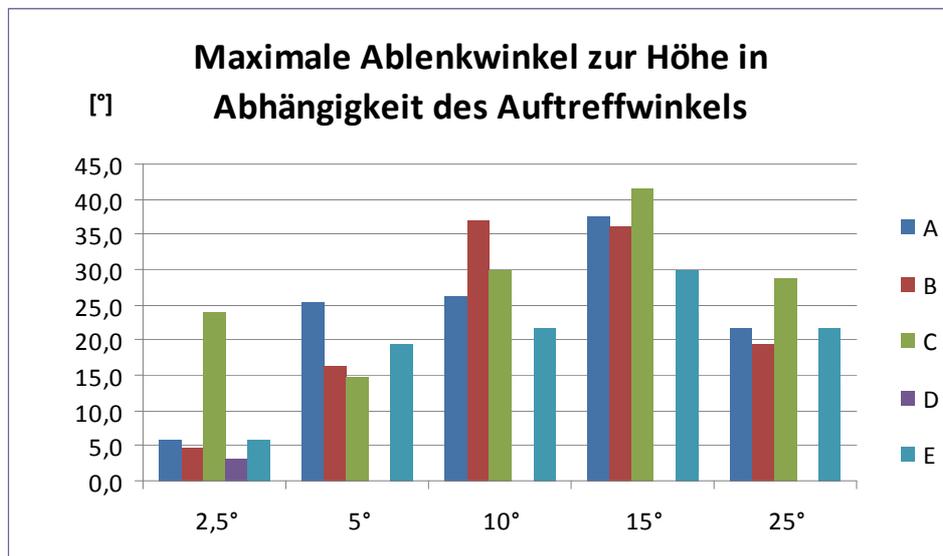


Auffällig sind hier die eng beieinander liegenden Restenergien beim Auftreffwinkel von 15°. Die Verlaufskurven der Energieabgabe sind ähnlich.

In einem weiteren Diagramm sind die maximalen Ablenkwinkel zur Seite in Abhängigkeit des Auftreffwinkels dargestellt. Da eine Ablenkung zur Seite sowohl nach rechts oder nach links erfolgen kann, sind die Ablenkungen nach links mit negativem Vorzeichen versehen.



Folgendes Diagramm zeigt die Ablenkung in der Höhe in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel.



Über alle Geschossarten und Auftreffwinkelkombinationen hinweg werden durchschnittlich steigende Ablenkungen in der Höhe bis zu einem Auftreffwinkel von 15° registriert. Auffällig ist die nachfolgende Abnahme, die auf die vermehrte Abgabe von Bewegungsenergie an das Medium selbst zurückzuführen ist.

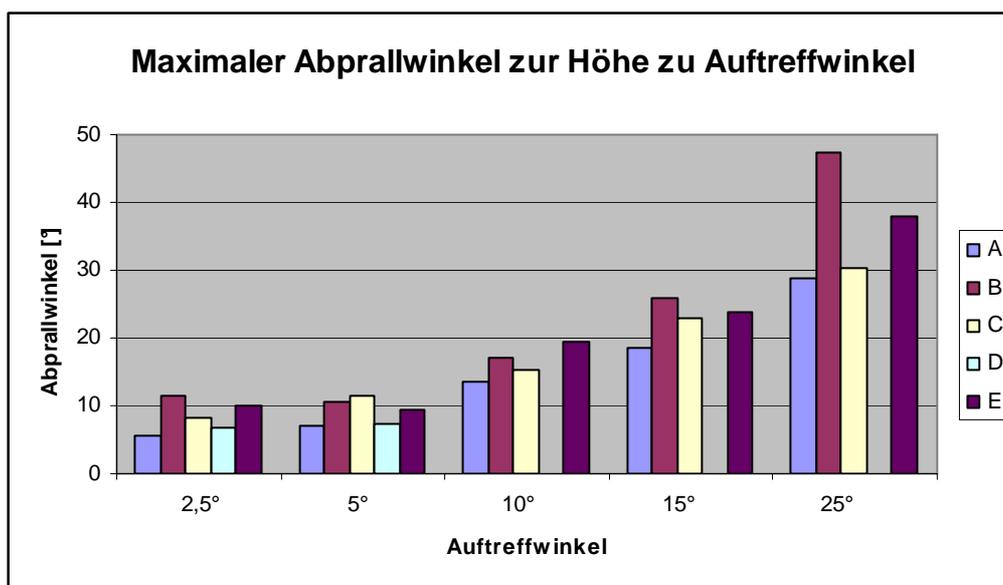
Alle Tabellen und Geschossbilder befinden sich im Anhang.

8.5 Steinplatte

Die Steinplatte ist bei den Schrotversuchen in natürlicher Lage (liegend) beschossen worden. Die damit erzeugten Ablenkungen in der Höhe waren demzufolge groß.

Die maximalen Abprallwinkel (in °) zur Höhe sind in der Tabelle und im Diagramm unten dargestellt.

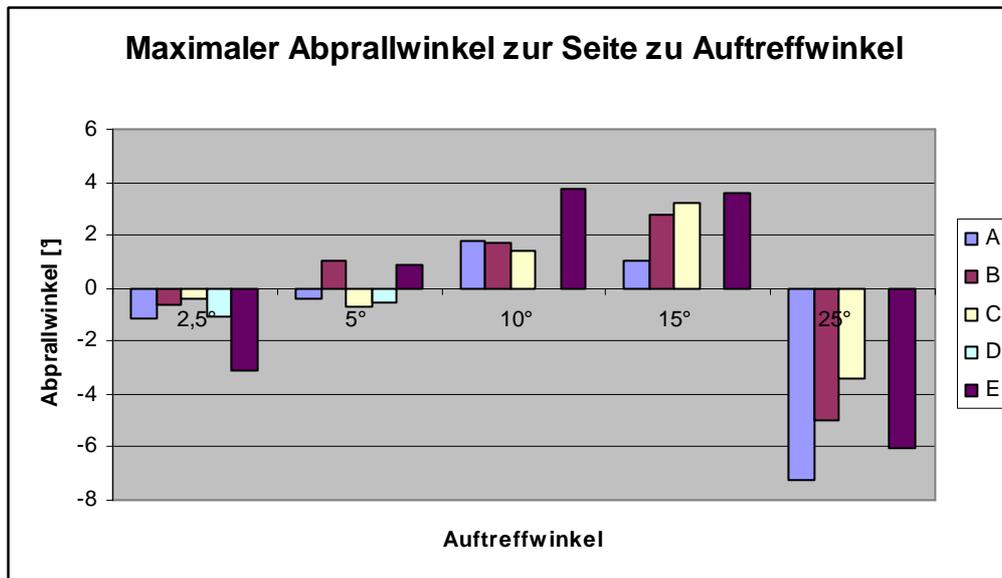
	A	B	C	D	E
2,5°	5,66	11,45	8,09	6,82	9,96
5°	7,17	10,55	11,61	7,40	9,47
10°	13,40	16,94	15,26		19,27
15°	18,46	25,89	22,82		23,69
25°	28,76	47,50	30,38		38,01



Die maximalen Abprallwinkel (in °) zur Seite ergaben sich wie folgt:

	A	B	C	D	E
2,5°	-1,17	-0,62	-0,43	-1,11	-3,14
5°	-0,39	1,02	-0,69	-0,58	0,91
10°	1,82	1,72	1,43		3,71
15°	1,07	2,77	3,19		3,56
25°	-7,21	-4,96	-3,39		-6,01

(siehe auch Diagramm auf nächster Seite!)



Seitliche Ablenkungen nach links werden im Koordinatensystem mit einem Minus vor dem Zahlenwert gekennzeichnet.

Damit lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- **Mit steigendem Auftreffwinkel nehmen auch die maximalen Abprallwinkel zur Höhe und zur Seite am Medium Steinplatte zu.**
- **Das Wismutschrot (D) zerlegte sich schon bei einem Auftreffwinkel von 10° vollständig. Dieser Sachverhalt wurde mittels Hochgeschwindigkeitskamera überprüft und bestätigt.**
- **Auffällig ist, dass die Maximalwerte (Abprall zur Seite) aller Materialien, außer beim Auftreffwinkel von 5°, in eine Richtung tendieren.**

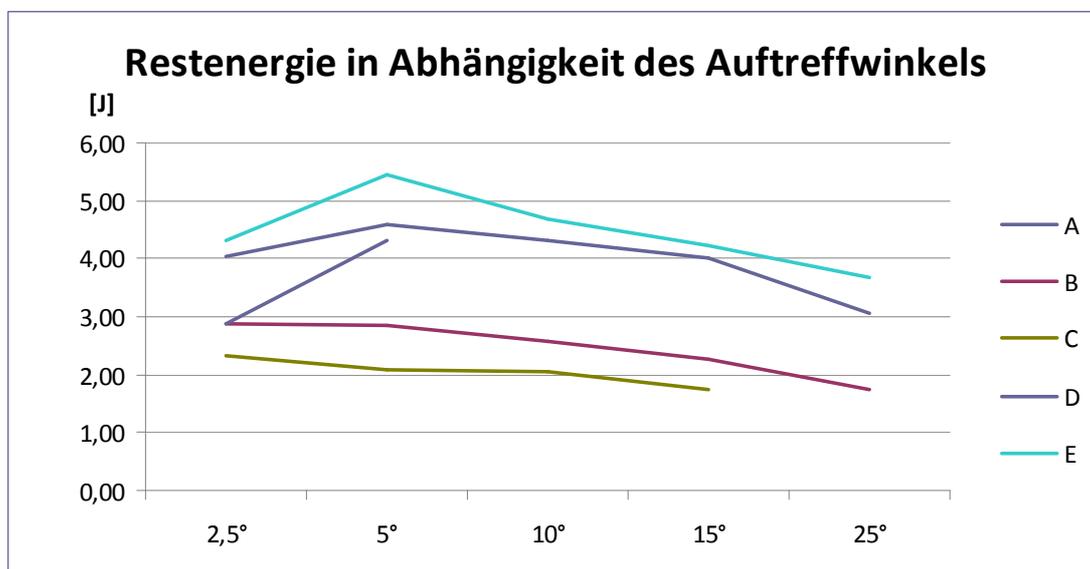
Die Geschossrestmassen wurden einer Auswertung zur Bildung des Mittelwertes unterzogen. Das Verhältnis (in %) zur Ausgangsmasse zeigt die folgende Tabelle:

	A	B	C	D	E
2,5°	98,4	99,1	99,8	96,3	99,6
5°	97,8	99,1	97,4	91,7	99,4
10°	97,3	99,5	99,2	44,0	98,9
15°	96,4	99,3	99,4		95,2
25°	93,8	99,7	98,4		98,9

Somit kann festgestellt werden, dass alle Geschossmaterialien bis zu einem Auftreffwinkel von 5° über 90 % ihrer Masse nach dem Aufprall behielten. Ab einem Auftreffwinkel von 10° sank beim Wismutschrot die Restmasse unter 50 % der Ausgangsmasse, so dass hier der Versuch mit diesem Material beendet wurde. Alle übrigen Materialien sind als massestabil zu bezeichnen, da deren Restmasse über 90 % betrug.

Interessant ist auch die Entwicklung der gemittelten Energiewerte (in J) der einzelnen Geschosse bezogen auf den Auftreffwinkel. Diese ist in der folgenden Tabelle und im Diagramm dargestellt.

	A	B	C	D	E
2,5°	4,03	2,89	2,32	2,89	4,32
5°	4,58	2,84	2,07	4,31	5,45
10°	4,32	2,57	2,04		4,67
15°	4,00	2,26	1,75		4,22
25°	3,07	1,76	1,55		3,68



Die Energieabgabe in Bezug auf den Auftreffwinkel ist bei den getesteten Geschossmaterialien ähnlich. Besonders fällt allerdings der Kurvenverlauf bei 5° auf. Es konnte noch nicht geklärt werden, warum es sowohl beim bleihaltigen als auch bei bleifreien Schrotten zu einem Anstieg der mittleren Restenergie im Laufe dieser Versuche kam.

Zusammenfassend kann angemerkt werden, dass sich an der Steinplatte die Schrotmaterialien mit Ausnahme des Wismutschrotes relativ massestabil verhielten. Über den mittleren Energieerhalt (relativ in %) und die damit verbundene Einschätzung des Gefährdungsbereiches kann hier noch keine Aussage getroffen werden. Sie ist dem wissenschaftlichen Gutachter Dr. Kneubuehl vorbehalten.

8.6 Weicher Boden

Bei dem Medium Weicher Boden wurde zu Beginn der verfestigte Boden mit einer geringen Menge Wasser angefeuchtet, um eine natürliche Erdfeuchte zu gewährleisten. Nach jedem Beschuss füllten wir das fehlende Material wieder auf. Durch Verfestigung mittels Glattscheibe konnte anschließend der Ausgangszustand wieder hergestellt werden.

Das Medium selbst war nicht homogen, da im Erdreich, wie auch in der Natur, kleinere Steine vorhanden sind. Allerdings überschritt deren Größe nie den Durchmesser von 1 cm, da wir bei der geringen benötigten Menge das Erdreich zusätzlich gesiebt haben.

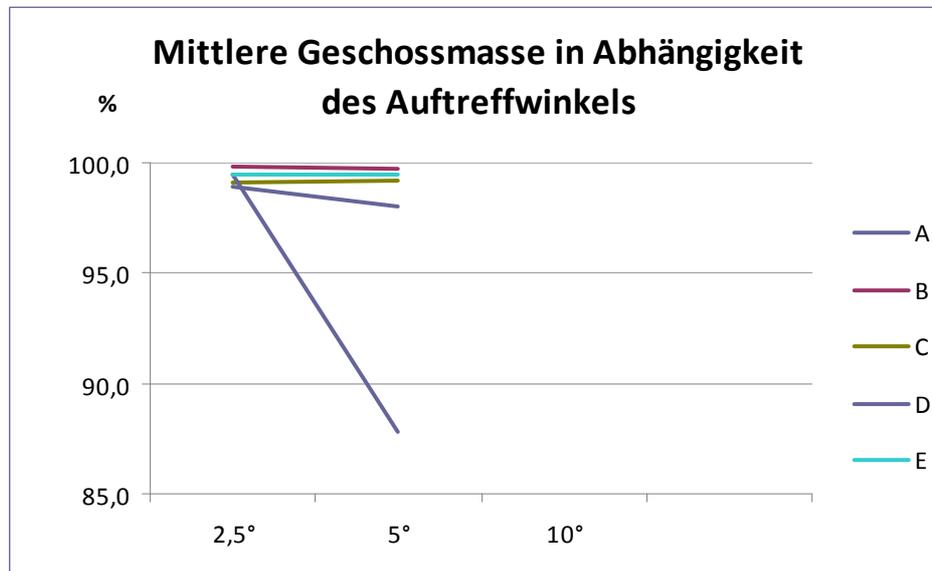
Alle Materialien verschwanden ab einem Auftreffwinkel von 10° im Erdreich, ohne das eine Messung mittels Ausgangslichtschranke vorgenommen werden konnte. Trotzdem haben wir die Versuche bis zum Winkel von 25° stichprobenartig weitergeführt. Bis auf einen Abpraller bei einem Auftreffwinkel von 25° mit dem Wolframschrot konnten wir keine Abpraller mehr feststellen. Nach näherer Kontrolle war die Ursache für dieses Verhalten erklärbar. Am Auftreffpunkt konnte ein Steinchen lokalisiert werden, das mit großer Wahrscheinlichkeit für diese Reaktion verantwortlich war. Auswertbare Ergebnisse sind demzufolge nur für die Winkel von 2,5° und 5° vorhanden.

Die Versuche mit Büchsenmunition waren bei einem Auftreffwinkel von 5° beendet, das Beschießen des Weichen Bodens mit Flintenlaufgeschossen erst bei 10°. Die Schrote reagieren hinsichtlich des Abprallens am Weichen Boden ähnlich wie Büchsengeschosse.

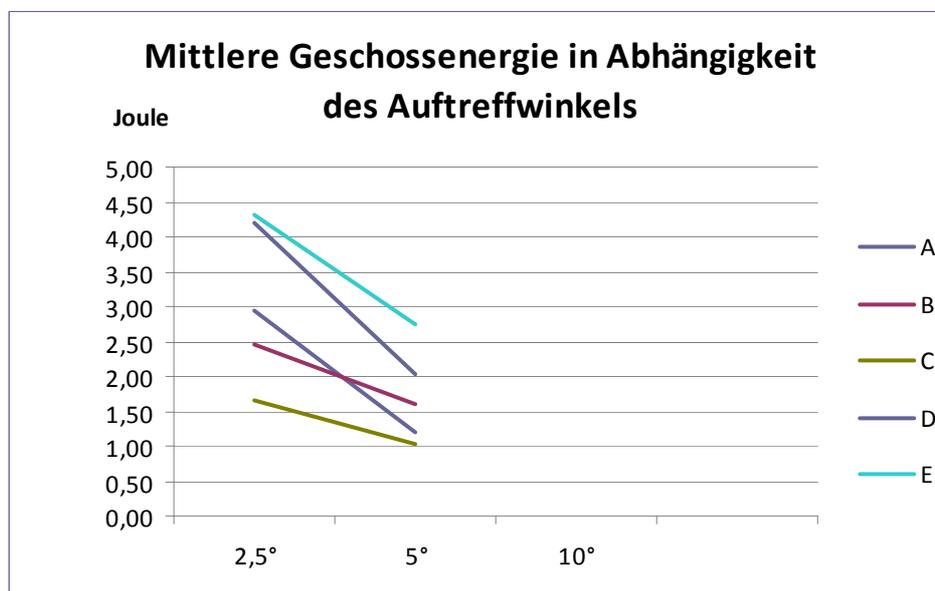
Die Auswertung der mittleren Geschossrestmassen im Verhältnis zur Ausgangsmasse (in %) und in Abhängigkeit des Auftreffwinkels zeigt, dass außer dem Wismutschrot bei einem Auftreffwinkel von 5° alle Materialien in hohem Maße massestabil sind (s. nachfolgende Tabelle).

	A	B	C	D	E
2,5°	98,9	99,8	99,1	99,5	99,5
5°	98,0	99,7	99,2	87,8	99,5
10°					

Grafisch stellt sich dieser Sachverhalt so dar:
(siehe nächste Seite)

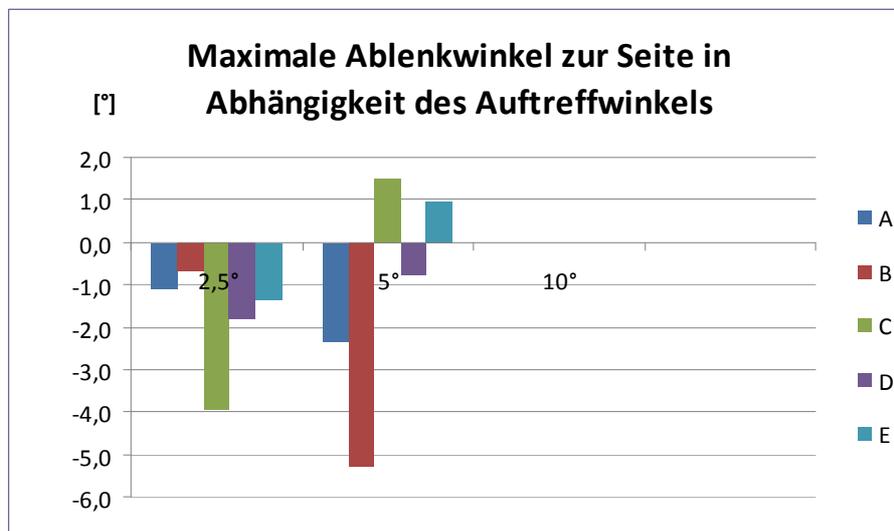


Im folgenden Diagramm sind analog zur Auswertung des harten Bodens, die mittleren Restenergien nach dem Aufprall auf dem weichen Boden dargestellt.



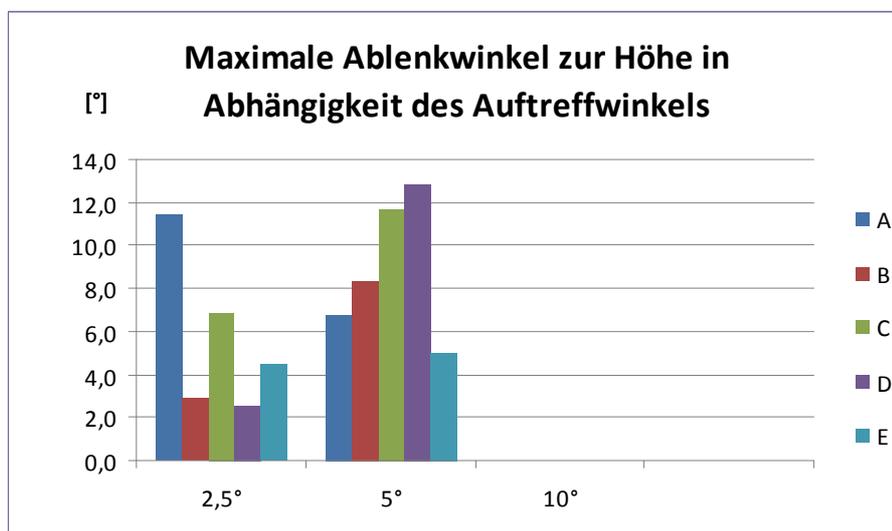
Tendenziell kann hier zwischen dem bleihaltigen Schrot und bleifreien Schrotten von ähnlichen Verhältnissen ausgegangen werden, da die Energie absolut und nicht relativ (über % der Ausgangsmasse) betrachtet wurde.

Die Auswertung der maximalen Seitenabprallwinkel in Abhängigkeit zu den Aufprallwinkeln stellt sich wie folgt dar:



In der Gesamtheit sind die maximalen seitlichen Abprallwinkel klein, tendieren aber meist zu einer Ablenkung nach links (negatives Vorzeichen). Die Spannweite bewegt sich von $-5,3^\circ$ bis $1,5^\circ$ und damit bei insgesamt $6,8^\circ$.

Die Auswertung der maximalen Höhenabprallwinkel in Abhängigkeit zu den Aufprallwinkeln stellt sich wie folgt dar:



Die Gesamtheit aller maximalen Ablenkwinkel zur Höhe zeigt, dass das bleihaltige Schrot (A) bei einem Auftreffwinkel von $2,5^\circ$ den größten Ablenkwinkel aufweist. Bei einem Auftreffwinkel von 5° sind es Zink- (C) und Wismutschrote (D). Im Mittel stiegen bei unseren Versuchen die Abprallwinkel der bleifreien Geschosse mit zunehmendem Aufprallwinkel an.

Die Ergebnisse zeigen trotz allem, dass die Unterschiede im Ablenkverhalten unabhängig vom Geschossmaterial bei kleinen Winkeln gering sind.

Alle Messwerte und die dazu gehörigen Bilder der Schrote finden sich im Anhang.

8.7 Wasser

Beim Medium Wasser wussten wir aus der Literatur (vgl. Kneubuehl, Thèse de doctorat, Thun, 1999), dass es bei einem Auftreffwinkel im Bereich von 6° zu keinen Abprallern mehr kommt. Somit wären nur die Winkel $2,5^\circ$ und 5° zu schießen.

Die Ergebnisse zeigen, dass diese Grenzwerte aus der Literatur zutreffend sind.

Bis zum Auftreffwinkel von 5° haben wir Abpraller über alle Materialien hinweg registriert. Bei 10° Auftreffwinkel sind alle Schrote nicht mehr aus dem Wasser ausgetreten.

Um noch genauere Werte zu bekommen, haben wir die Versuchsreihe ab dem Winkel 5° mit einer Erhöhung des Auftreffwinkels von jeweils $0,1^\circ$ fortgeführt. Zur besseren Beobachtung wurde die neu angeschaffte Hochgeschwindigkeitskamera eingesetzt. So können wir zweifelsfrei belegen,

dass bei einem Winkel von $5,5^\circ$ und einer Auftreffgeschwindigkeit im Bereich von 250 m/s die Schrote noch von der Wasseroberfläche abprallen und bei einem Winkel von $5,6^\circ$ das Wasser nicht mehr verlassen haben.

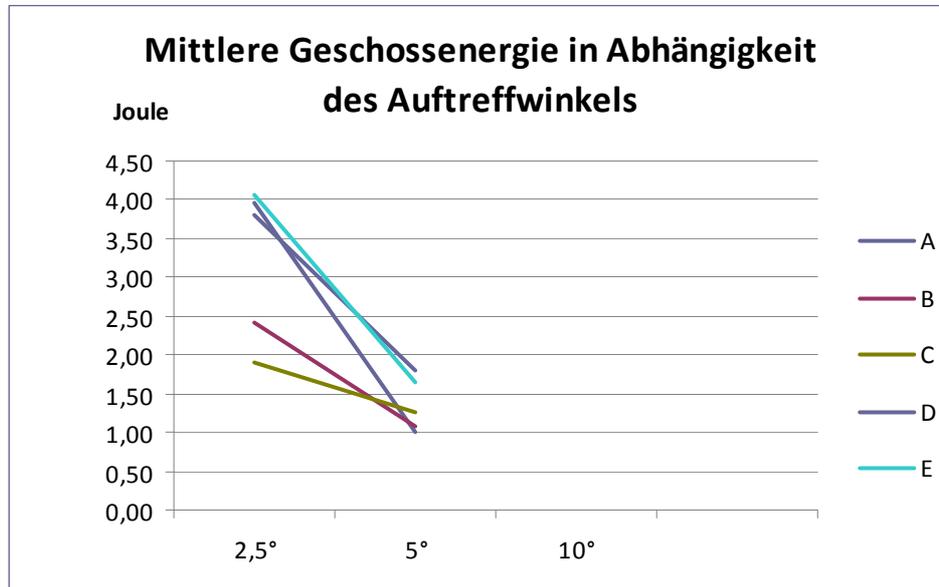
Ebenso war festzustellen, dass die Schrote bei einem Winkel von $5,5^\circ$ und $5,6^\circ$ eine sehr lange Strecke parallel zur Wasseroberfläche zurücklegen, bis sie dann entweder wieder austreten oder im Wasser verbleiben.

Eine Auswertung der mittleren Geschossmassen (in %) in Abhängigkeit des Auftreffwinkels zeigt, dass alle eingesetzten Schrotmaterialien massestabil sind (siehe nachfolgende Tabelle).

	A	B	C	D	E
$2,5^\circ$	99,8	99,8	99,4	100,0	99,6
5°	99,9	99,5	99,6	100,0	99,9
10°					

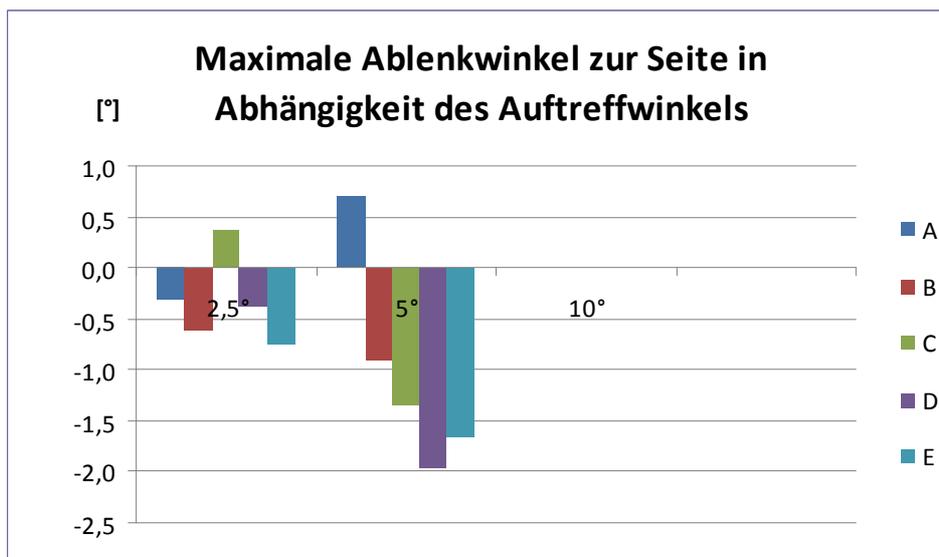
Auf eine grafische Darstellung wurde auf Grund der eng beieinander liegenden Werte verzichtet.

Im folgenden Diagramm sind die mittleren Restenergien nach dem Aufprall auf das Wasser dargestellt.



Tendenziell kann auch beim Medium Wasser bei bleihaltigen und bleifreien Schrotten von ähnlichen Verhältnissen ausgegangen werden, da die Energie absolut und nicht relativ (in % der Ausgangsmasse) betrachtet wurde.

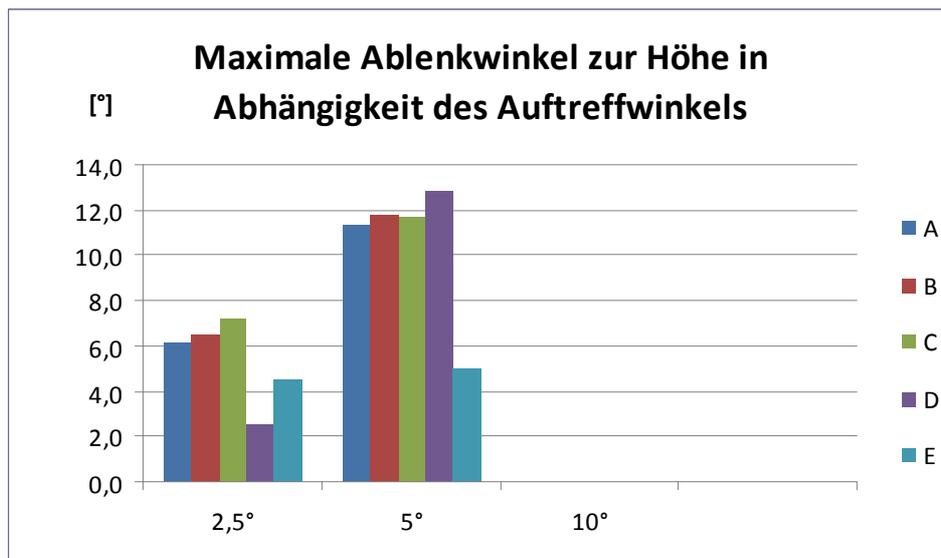
Die Auswertung der maximalen Seitenabprallwinkel in Abhängigkeit zu den Aufprallwinkeln stellt sich wie folgt dar:



In der Gesamtheit sind die maximalen seitlichen Abprallwinkel sehr klein, tendieren aber meist zu einer Ablenkung nach links (negatives Vorzeichen). Die Spannweite bewegt sich von -1,9° bis 0,7° und damit bei insgesamt 2,6°.

Im homogenen Medium Wasser sind Schrote demzufolge in ihrer Abprallcharakteristik sehr richtungsstabil.

Die Auswertung der maximalen Höhenabprallwinkel in Abhängigkeit zu den Auftreffwinkeln stellt sich wie folgt dar:



Die Gesamtheit aller maximalen Ablenkungswinkel zur Höhe lässt erkennen, dass bei allen verwendeten Materialien und zunehmendem Auftreffwinkel auch die maximal erreichbare Ablenkung in Höhenrichtung steigt. Auffällig sind die deutliche Zunahme beim Wismutschrot (D) und die nur geringe beim Wolframschrot (E).

Alle Messwerte und die dazu gehörigen Bilder der Schrote finden sich im Anhang.

9. Auswertung der Daten durch Dr. Kneubuehl

Die Auswertung der von uns übermittelten Daten wird Dr. Kneubuehl in einem eigenen Bericht vornehmen und dem Auftraggeber zur Verfügung stellen. Sein Bericht ist Bestandteil der Gesamtberichterstattung.

10. Zusammenfassung

Nach dreieinhalb Jahren konnten nun die Untersuchungen zum Abprallverhalten von Jagdmunition abgeschlossen werden. Mit dem letzten Teil, dem Beschuss von naturnahen Medien mit Schrot, ist diesem Projekt ein letzter Baustein zur wissenschaftlichen Entscheidungsfindung zum Einsatz bleihaltiger und bleifreier Geschosse im jagdlichen Betrieb hinzugefügt worden.

In das Versuchsprogramm wurden fünf Schrotmaterialien aufgenommen, die die weiteste Verbreitung am Markt und bei den Anwendern besitzen.

Während des Versuchszeitraumes wurden 1.094 Schuss auf naturnahe Medien abgegeben. Eine direkte Gegenüberstellung von Schrot unterschiedlicher Materialien ist nun hinsichtlich des Ab- und Rückprallverhaltens möglich.

Es zeigte sich, dass sich in vielen Versuchsteilen das bleihaltige Schrot und bleifreie Schrote ähnlich verhalten. Jedoch ließen sich auch gravierende Unterschiede feststellen. Erwähnenswert sind die Rückpralleigenschaften von Stahl- und Wolframschrot. Hier ist darüber nachzudenken, wie insbesondere auf Schießständen damit umgegangen wird.

Ebenfalls ist die große Zerlegungsbereitschaft von Wismutschrote hervorzuheben. Hier scheint nicht die Frage des Abprallverhaltens im Vordergrund zu stehen, sondern deren Wirkung auf Ziele im jagdlichen Einsatz.

Alle Versuche wurden mit Akribie und hohem Aufwand vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet.

Alle Ergebnisse, Tabellen und die dazugehörige Fotodokumentation sind dem wissenschaftlichen Gutachter Herrn Dr. Kneubuehl zur weiteren Beurteilung übergeben worden.

11. Literaturverzeichnis

- BIALONSKI H. G., *Geschoßablenkung in homogenen Medien*, I. D., Bonn, [1974]
- DEVA, *Ablenkungsverhalten von Stahl und Bleischroten an unterschiedlichen Hindernissen*, Altenbeken, 39 S., [1992]
- HAAG L. C., *Bullet Ricochet: An Imperical Study and a Device for Measuring Ricochet Angle*, AFTE Journal, 21, 2, 182-188 [1987₁]
- HUTCHINGS I. M., *The Ricochet of Spheres and Cylinders from the Surface of Water*, Int. J. Mech. Sci., 18, 243-247, [1976]
- JOHNSON W., REID S. R., *Ricochet of Spheres Off Water*, J. Mech. Eng. Sci., 17, 2, 71-81, [1975]
- KNEUBUEHL B. P., *Vergleich der Gefährdung durch abgeprallte bleihaltige und bleifreie Jagdgeschosse*, 19 S., [2011]
- KNEUBUEHL B. P., *Rikoschettversuche mit Colt Kal. .38 spez., GRD, TA 7, Thun, 7 S., [1980]*
- KNEUBUEHL B. P., MAISSEN E., *Das Problem der Geschoßabpraller an Kanten und Prellschienen in 300 m Schiessständen*, GRD, TA 7, Thun, 15 S., [1984]
- KNEUBUEHL B. P., *Untersuchung über den Rikoschettwinkel an Asphalt und Beton mit 7.62x39 mm Kalaschnikow Weichkern- und Hartkernmunition*, GRD, FA 27, 3 S., [1991]
- KNEUBUEHL B. P., *Geschosse Bd. 1, Ballistik, Treffsicherheit, Wirkungsweise*, 2. Aufl. Verlag Stocker-Schmid, Dietikon, 1998
- KNEUBUEHL B. P., *Das Abprallverhalten von Geschossen aus forensischer Sicht*, Thèse de doctorat, Thun, 1999
- KNEUBUEHL B. P., *Geschosse Bd. 2, Ballistik, Wirksamkeit, Messtechnik*, Verlag Stocker-Schmid, Dietikon, 2004
- KNEUBUEHL B. P., *Untersuchungen zum Abprallverhalten von Kurzwaffengeschossen*, Bericht Nr. 1484, GR, FA 26, XX S., [1999]
- KNEUBUEHL B. P. (Hsg), *Wundballistik, Grundlagen und Anwendungen*, Springer-Verlag, Berlin, 3. Auflage, 2008
- NUSSBAUMER N., *Der Kugelschuß ins Gras und in Feldfrüchte*, DWJ, 957-959, [1980]
- ROTTENBERGER, I., *Abschlussbericht vom 15.02.2011 zum Forschungsvorhaben „Abprallverhalten von Jagdmunition“*, DEVA, Deutsche Versuchs- und Prüfanstalt für Jagd- und Sportwaffen e. V., Altenbeken
- SOLIMAN A. S., REID S. R., JOHNSON W., *The Effect of Spherical Projectile Speed in Ricochet off Water and Sand*, Int. J. Mech. Sci., 18, 279-284, [1976]
- VENTURINO M., *Ein „High-Speed-Blick“ auf die Durchschlagskraft eines Geschosses im Unterholz* (Übersetzung: R. Hermann), *Waffen Digest* 91, Verlag Stocker-Schmid, Dietikon, 5 S., [1990]

12. Anhang

Zusammenfassung der Schusszahlen nach Beschussmedium

Ergebnisprotokolle und dazugehörige Bildseiten

- Gebüsch
- Baumstamm
- Rückpraller
- Harter Boden
- Steinplatte
- Weicher Boden
- Wasser