



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

Schlussbericht

vom 15. Februar 2011

zum Forschungsvorhaben

„Abprallverhalten von Jagdmunition“

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

1. Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis	2
2.	Aufgabenstellung	4
3.	Verzeichnis verwendeter Formelzeichen	5
4.	Versuchsbedingungen.....	7
4.1	Auswahl und Beschreibung der ausgewählten Geschosse....	7
4.1.1	Auswahl der Geschosse.....	7
4.1.2	Beschreibung der Geschosse	9
4.1.2.1	Das Kegelspitz-Geschoss (KS).....	9
4.1.2.2	Das Nosler Partition-Geschoss (NP)	10
4.1.2.3	Das Torpedo-Optimal-Geschoss (TOG).....	11
4.1.2.4	Das Barnes TSX-Geschoss.....	12
4.1.2.5	Das Reichenberg Geschoss (HDBoH)	13
4.1.2.6	Das Lapua Naturalis-Geschoss	14
4.2	Auswahl der Kaliber	15
4.3	Auswahl der Entfernungen.....	15
4.4	Auswahl der Beschussmedien.....	15
4.4.1	Gebüsch.....	15
4.4.2	Baumstamm	15
4.4.3	Rückprallversuch.....	16
4.4.4	Harter Boden	16
4.4.5	Steinplatte	16
4.4.6	Weicher Boden.....	16
4.5	Abbruchkriterium	17
4.6	Beschusskonzept.....	17
4.7	Vorrichtungen und Messmittel	17
5.	Messeinrichtung.....	18
5.1	Ermittlung des Auftreffwinkels.....	18
5.1.1	Gebüsch.....	18
5.1.2	Baumstamm	19
5.1.3	Rückpraller	20
5.1.4	Harter Boden	21
5.1.5	Steinplatte	22
5.1.6	Weicher Boden.....	22
5.2	Ermittlung der Auftreffgeschwindigkeit	22
5.3	Ermittlung der Abgangsgeschwindigkeit.....	22
5.4	Ermittlung der Abgangswinkel zur Seite und zur Höhe	23
5.5	Ermittlung des Raumwinkels.....	24
5.6	Rückpraller	24
5.7	Geschossrestmasse.....	24

5.8	Die Messeinrichtung der DEVA	25
5.8.1	Gasdruckmesseinrichtung.....	26
5.8.2	Lichtschranken.....	27
5.8.3	Digitale Waage.....	28
5.8.4	Richtlaser.....	28
5.8.5	Laserentfernungsmesser.....	29
5.8.6	Andere Messmittel.....	29
5.9	Die Kalibrierung der Messeinrichtung	29
5.9.1	Mechanisch elektrischer Wandler zur Ermittlung des Gasdruckes (Piezo-Quarze).....	29
5.9.2	Messanlage zur Ermittlung der Geschossgeschwindigkeiten.....	29
5.9.3	Waage.....	29
5.10	Die Messeinrichtung in Meppen	30
6.	Datenerfassung und -übertragung	31
7.	Laborierungsdaten	33
7.1	Laborierungsdaten für das Kaliber .243 Win.....	33
7.2	Laborierungsdaten für das Kaliber .308 Win.....	33
7.3	Laborierungsdaten für das Kaliber 9,3x74 R.....	34
8.	Versuchsaufbau	35
8.1	Gebüsch.....	35
8.2	Baumstamm.....	38
8.3	Rückpraller.....	42
8.4	Harter Boden.....	45
8.5	Steinplatte.....	52
8.6	Weicher Boden.....	55
9.	Ergebnisse	58
9.1	Gebüsch.....	58
9.2	Baumstamm.....	60
9.3	Rückpraller.....	73
9.3.1	Rückpraller am Baumstamm.....	76
9.3.2	Rückpraller am Stein.....	76
9.4	Harter Boden.....	82
9.5	Steinplatte.....	88
9.6	Weicher Boden.....	96
10.	Auswertung und Beurteilung Dr. Kneubuehl	102
11.	Zusammenfassung	103
12.	Literaturverzeichnis	104

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 Jagdmunition 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.

3. 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	

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 Ge- schossrestkörpers	
P_A	ohne	Beginn der Spur	
P_B	ohne	Ende der Spur	
E	mm	Strecke U nach P_A	
ε	Grad	Fehlerwinkel durch nicht waage- rechten Schuss	

4. Versuchsbedingungen

4.1 Auswahl und Beschreibung der Geschosse

4.1.1 Auswahl der Geschosse

Um in einem Vergleich bleifreier und bleihaltiger Jagdbüchsen- und Jagdgewehr-Geschosse Erkenntnisse über deren Abprallverhalten zu gewinnen, ist es von Bedeutung, die richtige Auswahl zu treffen, vor allem dann, wenn aus Zeitgründen nur insgesamt 6 Geschosse geprüft werden können.

Die Auswahlkriterien müssen folgende Punkte berücksichtigen:

- zu erwartendes Aufprallverhalten, das vom Geschossaufbau abhängig ist,
- Verfügbarkeit in den zu prüfenden Kalibern,
- Häufigkeit der Verwendung.

In enger Zusammenarbeit mit dem wissenschaftlichen Betreuer des Projektes Dr. Beat Kneubuehl wurden folgende Kriterien zur Geschossauswahl festgelegt:

Bleikern mit dünnem Mantel	-	Kegelspitz-Geschoss
Bleikern mit dickem Mantel	-	Torpedo-Optimal-Geschoss
Geschossmantel mit Steg und 2 Bleikernen	-	Nosler Partition-Geschoss
bleifreies, form- und massestabiles Geschoss	-	Impala-Geschoss
bleifreies, deformierendes Geschoss	-	Barnes TSX-Geschoss

Dieser Vorschlag wurde dem Projektrat unterbreitet. Nach eingehender Diskussion einigten sich alle Teilnehmer darauf, aus paritätischen Gründen ein zweites, bleifreies und deformierendes Geschoss mit in die Untersuchung einzufügen. Es handelt sich um das

bleifreie, deformierende Geschoss	-	Lapua Naturalis-Geschoss.
-----------------------------------	---	---------------------------

Des Weiteren hat der Projektbeirat empfohlen, keine Herstellerangaben zu verwenden. Die Geschosse sollen stattdessen eine Geschossbeschreibung und zur Kennzeichnung einen fortlaufenden Buchstaben aus dem Alphabet erhalten. Es zeigte sich jedoch sehr bald, dass diese Vorgehensweise nicht zu halten ist.

Bei der notwendigen Beschreibung der zu prüfenden Geschosse war es erforderlich, Abbildungen geschnittener Geschosse zu zeigen, um den Aufbau deutlich zu machen. Des Weiteren sind alle abgelenkten und zurückgeprallten Geschosse fotografiert und der Anlage des Schlussberichtes beigefügt worden. Durch diese Abbildungen ist nicht sichergestellt, dass die Identität der Geschosse verborgen bleibt. Der Projektträger hat deshalb entschieden, die charakteristischen Daten der Geschosse zu nennen. Die gewählte Buchstabenkennzeichnung wird beibehalten und im Text für das jeweilige Geschoss verwendet.

Zusammen mit dem Auftraggeber und dem Projektrat wurden die zu prüfenden Geschosse endgültig festgelegt:

- Geschoss „A“ - Kegelspitz-Geschoss (KS)
Zerlegungsgeschoss mit dünnem Mantel
- Geschoss „B“ - Nosler Partition-Geschoss (NP)
Teilerlegungsgeschoss mit Steg und 2 Bleikernen
- Geschoss „C“ - Torpedo-Optimal-Geschoss (TOG)
Deformationsgeschoss mit dickem Mantel
- Geschoss „D“ - Barnes TSX-Geschoss
Bleifreies Deformationsgeschoss
- Geschoss „E“ - Reichenberg Geschoss (HDBoH)
Bleifreies Teilerlegungsgeschoss
- Geschoss „F“ - Lapua Naturalis-Geschoss
Bleifreies Deformationsgeschoss

Bei den bleihaltigen Geschossen wurden die Bleianteile (Herstellerangaben bis auf das Nosler-Geschoss) an der Gesamtgeschossmasse ermittelt. Sie betragen:

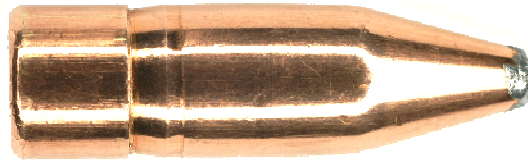
Kegelspitz-Geschoss (laut Angaben der Firma RUAG Ammotec GmbH)							
	Nennmasse		Bleianteil in %	Mantelmasse		Kernmasse	
Kaliber	Gramm	Grain	%	Gramm	Grain	Gramm	Grain
.243 Win.	6,20	<i>95,68</i>	63,55	<i>2,26</i>	<i>34,88</i>	3,94	<i>60,80</i>
.308 Win.	10,70	<i>165,12</i>	74,11	<i>2,77</i>	<i>42,75</i>	7,93	<i>122,38</i>
9,3x74 R	16,00	<i>246,91</i>	69,69	<i>4,85</i>	<i>74,85</i>	11,15	<i>172,07</i>
Torpedo-Optimal-Geschoss (laut Angaben der Firma Brenneke GmbH)							
	Nennmasse		Bleianteil in %	Mantelmasse		Kernmasse	
	Gramm	Grain	%	Gramm	Grain	Gramm	Grain
.243 Win.	6,16	<i>95,00</i>	50,53	<i>3,05</i>	47,00	<i>3,11</i>	48,00
.308 Win.	10,70	<i>165,00</i>	44,21	<i>5,96</i>	92,00	<i>4,73</i>	73,00
9,3x74 R	16,00	<i>247,00</i>	51,44	<i>7,78</i>	120,00	<i>8,23</i>	127,00
Nosler Partition-Geschoss Kerne ausgeschmolzen und Mäntel gewogen (DEVA)							
	Nennmasse		Bleianteil in %	Mantelmasse		Kernmasse	
	Gramm	Grain	%	Gramm	Grain	Gramm	Grain
.243 Win.	5,51	<i>85,07</i>	55,64	<i>2,45</i>	<i>37,74</i>	<i>3,07</i>	<i>47,33</i>
.308 Win.	10,69	<i>165,01</i>	63,10	<i>3,95</i>	<i>60,88</i>	<i>6,75</i>	<i>104,20</i>
9,3x74 R	18,54	<i>286,17</i>	59,38	<i>7,53</i>	<i>116,24</i>	<i>11,01</i>	<i>169,93</i>

4.1.2 Beschreibung der Geschosse

Die bleifreien Geschosse sind aus Kupfer oder Kupferlegierungen.

4.1.2.1 Das Kegelspitz-Geschoss (KS)

Geschoss:



Halbschnitt:



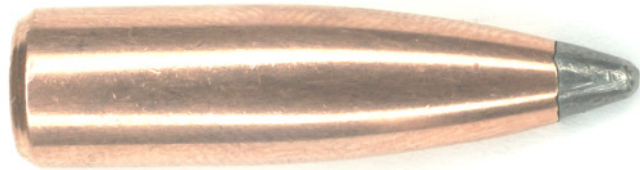
Geschosstyp:	Zerlegungsgeschoss mit Bleikern
Bleianteil:	74,1% im Kaliber .308 Win.
Geschosshersteller:	RUAG Ammotec Fürth
Munitionshersteller:	RUAG Ammotec Fürth, 90765 Fürth
Lieferant:	RUAG Ammotec Fürth, 90765 Fürth

Aussagen des Herstellers/Lieferanten zum Geschoss:

- außergewöhnliche Präzision durch langen Geschosszylinder
- kontrollierte Expansion
- hohe Energieabgabe
- geringe Splitterbildung
- Rille im hinteren Geschossbereich stoppt die Deformation und sorgt für einen kompakten Restkörper mit hoher Ausschusswahrscheinlichkeit.

4.1.2.2 Das Nosler Partition-Geschoss (NP)

Geschoss:



Halbschnitt:



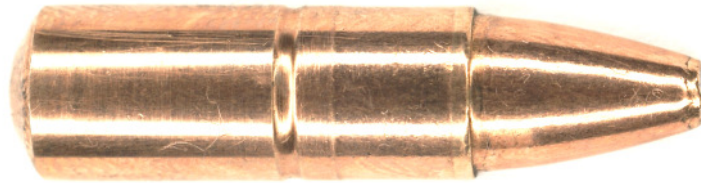
Geschosstyp:	Teilerlegungsgeschoss mit zwei Bleikernen
Bleianteil:	63,2% im Kaliber .308 Win.
Geschosshersteller:	NORMA PRECISION AB – Schweden
Munitionshersteller:	NORMA PRECISION AB – Schweden
Lieferant:	Firma Reimer Johannsen, Haart 49, 24534 Neumünster

Aussagen des Herstellers/Lieferanten zum Geschoss:

„Das Nosler Partition hat zwei separate Bleikerne und eine solide Mittelwand. Der vordere Teil expandiert unter gleichzeitig hoher Energieabgabe sehr rasch. Der hintere Teil bleibt auch bei Knochentreffern intakt und stellt die gewünschte Tiefenwirkung sicher.“

4.1.2.3 Das Torpedo-Optimal-Geschoss (TOG)

Geschoss:



Halbschnitt:



Geschosstyp:	Deformationsgeschoss
Bleianteil:	44,2 % im Kaliber .308 Win.
Geschosshersteller:	Brenneke GmbH, 30837 Langenhagen
Munitionshersteller:	Brenneke GmbH, 30837 Langenhagen
Lieferant:	Brenneke GmbH, 30837 Langenhagen

Aussagen des Herstellers/Lieferanten zum Geschoss:

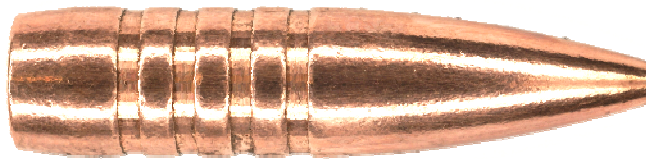
„Jäger, die ein Deformationsgeschoss mit hohem Restgewicht, guter Präzision und Wirkung sowie universelle Verwendbarkeit schätzen, sind mit dem TOG hervorragend ausgerüstet.“

Leistungsmerkmale:

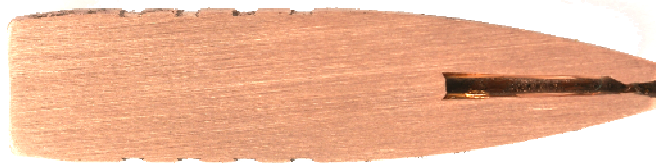
- hervorragende Präzision, sehr gute Weitschusseigenschaften
- Starkmantel/Verbundkern
- sehr hohe Durchschlags- und Tötungskraft
- fast immer Ausschuss und sichere Schweißfährte
- geringe Wildbretzerstörung und Hämatombildung
- universelle Verwendung auf alles Wild weltweit
- hohes Restgewicht (ca. 90 %).“

4.1.2.4 Das Barnes TSX-Geschoss

Geschoss:



Halbschnitt:



Geschosstyp:	bleifreies Deformationsgeschoss
Geschosshersteller:	Barnes
Munitionshersteller:	Firma Federal (USA)
Lieferant:	Firma Reimer Johannsen, Haart 49, 24534 Neumünster

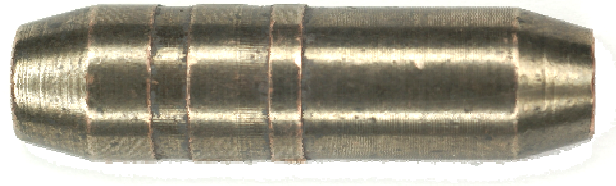
Aussagen des Herstellers/Lieferanten zum Geschoss:

„Dieses Geschoss ist die neueste Entwicklung aus dem Hause Barnes, welches die Vorzüge der Barnes X- Bullets übernahm, dessen Schwachpunkte jedoch ausmerzt.

- Hohe Eindringtiefe mit nahezu 100% Restgewicht
- Neues Design der Hohlspitze für effektivere Aufpilzung auch bei leichtem Schalenwild
- Vier präzise Ringnuten für die Reduzierung des Gasdruckes, der Auflagefläche im Lauf und damit Reduzierung der Ablagerungen (weniger häufiges Grundreinigen der Waffe) sowie eine signifikante Erhöhung der Präzision.“

4.1.2.5 Das Reichenberg-Geschoss (HDBoH)

Geschoss:



Halbschnitt:



Geschosstyp:	bleifreies Teilzerlegungsgeschoss
Geschosshersteller:	Reichenberg
Munitionshersteller:	Skadi - Helmut Hasl, 92439 Bodenwöhr (gewerblicher Wiederlader)
Lieferant:	Skadi - Helmut Hasl, 92439 Bodenwöhr (gewerblicher Wiederlader)

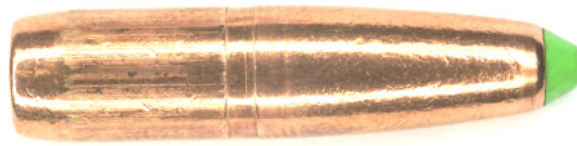
Aussagen des Herstellers/ Lieferanten zum Geschoss:

„HDB Drückjagd- Spezialgeschoss:

Bei der Drückjagd ist die Treffpunktlage, im Gegensatz zum sorgfältig gezielten Schuss, in der Regel ungewiss. Insofern muss der Schütze damit rechnen, dass unter Umständen keine vitalen Organe getroffen werden und das Wild nicht im Knall verendet. Das HDB- Drückjagdgeschoss liefert nachhaltige Abhilfe. Dank seiner besonderen Konstruktion transferiert es bereits auf einem kurzen Eindringweg (als Folge einer schnell verlaufenden Querschnittsvergrößerung) den größten Teil seiner Energie. Dies geschieht durch Zerlegen des vorderen Geschossteils in drei relativ schwere Sekundärgeschosse sowie durch einen maximalen Querschnitt des Geschossrestes. Bei hoher Zielgeschwindigkeit deformiert das Geschoss zu einem regelmäßig geformten „Pilz“ mit großem Querschnitt und entsprechend starker Zielwirkung und ausreichender Tiefenwirkung.“

4.1.2.6 Das Lapua Naturalis-Geschoss

Geschoss:



Halbschnitt:



Geschosstyp:	bleifreies Deformationsgeschoss
Geschosshersteller:	Lapua
Munitionshersteller:	Nammo Lapua OY – Lapua Finnland
Lieferant:	Firma Lapua GmbH, 39204 Schönebeck

Aussagen des Herstellers/ Lieferanten zum Geschoss:

„Das Geschoss Naturalis behält bis zu 100% seines Gewichts bei. Das Ventil oben am Geschoss öffnet sich beim Aufprall automatisch, wodurch sich das Geschoss symmetrisch und ohne zu streuen ausdehnen kann. Dies gewährleistet eine maximale Schockwirkung. Naturalis ist ein gutes Beispiel für die Weise, in der Lapua seine Produkte überdenkt – aus der Sichtweise des Jägers. Lapua reagiert auf die Bedürfnisse des Jägers mit der Entwicklung des weltbesten Kupfergeschosses.“

Die Naturalis Patronen haben schnell eine treue Fangemeinde unter Jägern aller möglichen Wildarten gefunden. Sie ist äußerst effektiv und begrenzen dennoch den Fleischverlust auf ein Minimum. Naturalis wurde für die Jagd auf eine Vielzahl von verschiedenen Wildarten verwendet. – auf allen Kontinenten und unter allen Wetterbedingungen.“

4.2 Auswahl der Kaliber

Die Auswahl der Kaliber richtete sich nach der zur Verfügung stehenden Energie in Zielentfernung. Hier sollte ein breites Spektrum in der jagdlichen Verwendung abgedeckt werden. Nach unseren Vorstellungen sind das die Kaliber:

- .243 Win. mit einer E_0 von ca. 2.500 J
- .308 Win. mit einer E_0 von ca. 3.600 J
- 9,4x74 R mit einer E_0 von ca. 4.500 J.

4.3 Auswahl der Entfernungen

Schalenwild wird in Deutschland bis zu mittleren Schussentfernungen zwischen 80 m und 100 m erlegt. Bei Gesellschaftsjagden sind die Schussentfernungen geringer. Aus diesen Gründen hat der Projektrat die Prüferentfernungen auf

25 m , 50 m und 100 m

festgelegt. Damit wurde den realen Bedingungen Rechnung getragen.

4.4 Auswahl der Beschussmedien

4.4.1 Gebüsch

Das Gebüsch wurde mittels Buchenstäben (Durchmesser 6 mm) dargestellt. Diese steckten nebeneinander in einem Holzbalken und zwar in einem Abstand, der sicherstellt, dass das Geschoss immer einen Stab trifft. Die Abstände sind geringfügig kleiner als der jeweilige Geschossdurchmesser.

Die geplante Schusszahl für diesen Versuch betrug 6 - 10 Schüsse pro Kaliber und Geschosstyp.

4.4.2 Baumstamm

Als Beschussmedium wurde die Fichte ausgewählt, weil sie die am häufigsten vertretene Baumart in Deutschland ist. Die Versuchsplanung sah vor, Fichtenabschnitte mit einer Länge von 1,00 m und einem mittleren Durchmesser von 30 cm bis 35 cm zu verwenden. Die Abschnitte werden drehbar befestigt, um sie je nach dem Grad der Zerstörung um 120° oder 180° zu drehen. Die Abschnitte wurden senkrecht und höhenverstellbar aufgestellt. Durch eine seitliche Verschiebbarkeit in einer engen Führung konnte so der Auftreffwinkel gegebenenfalls korrigiert werden. Die geplante Schusszahl beträgt 6 - 10 Schüsse pro Kaliber und Geschosstyp.

4.4.3 Rückprallversuch

Dieser Versuch sollte klären, ob Geschossreste, die aus dem beschossenen Wildkörper austreten und dann auf Baumstämme oder Steine auftreffen, zu Rückprallern führen. Zur Simulation des Wildkörpers werden Seifenblöcke mit den Abmessungen 25 cm x 25 cm x 40 cm nicht in Längsachse, sondern quer zum Block beschossen. Die geplante Schusszahl betrug 3 Schüsse pro Geschoss und Kombination Seife/ Baumstamm und Seife/ Granit auf eine Entfernung von 50 m.

4.4.4 Harter Boden

Zur Simulation von hartem Boden, der in der Praxis einem „Naturweg“ mit wassergebundener Deckschicht entspricht, wurde eine Kiste mit den Abmessungen von 250 cm x 100 cm x 30 cm gebaut und mit Kalksandsteinschotter, wie er im Straßenbau Verwendung findet, gefüllt. Zuerst ist grobes Schottermaterial schichtweise eingebracht und mit Wasser bis zu einem Füllgrad von 20 cm bis 25 cm immer wieder verfestigt worden. Die Deckschicht bildete feiner Schotter, der in gleicher Art und Weise behandelt wurde.

Die Kiste war in ein Gestell eingehangen, um sie bis zu einem Auftreffwinkel von 25° schwenken zu können. Der Auftreffpunkt des Geschosse liegt in der Ebene des Drehpunktes, 100 cm von der dem Schützen zugewandten Kistenbegrenzungswand entfernt. Das hintere Ende der Kiste wurde entsprechend des Auftreffwinkels abgestützt. Je nach Verwerfung des Bodens ist dessen Ursprungszustand nach dem Schuss wieder hergestellt und die Oberfläche mit definierter Masse verfestigt worden. Die geplante Schusszahl betrug 6 - 10 Schüsse pro Kaliber und Geschosstyp.

4.4.5 Steinplatte

Der Versuch sollte klären, wie sich das von einer Natursteinplatte abprallende Geschoss verhält. Verwendet wurden Polygonalplatten aus Natursteinen, wie sie im Bauhandwerk zur Verblendung von Mauerwerk oder im Gartenbau zur Wegegestaltung genutzt werden. Sie besitzen eine wellig-raue Oberfläche. Zur Vereinfachung des Versuchsaufbaues war geplant, diese auf den in der Kiste befindlichen harten Boden aufzulegen und dann zu beschießen. Die geplante Schusszahl betrug 6 - 10 Schüsse pro Kaliber und Geschosstyp.

4.4.6 Weicher Boden

Zur Simulation von Waldboden wurde Mutterboden mit einer 5 cm dicken Humusschicht in eine Kiste mit den Abmessungen 300 cm x 100 cm x 30 cm gepackt. Der restliche Versuchsaufbau war wie beim „Harten Boden“. Auch hier wurden beschädigte Stellen sofort ausgebessert. Die geplante Schusszahl betrug 6 - 10 Schüsse pro Kaliber und Geschosstyp.

4.5 Abbruchkriterium

Dr. Kneubuehl regte an, folgendes Kriterium zum Abprall eines Geschosses für diesen Versuch festzuschreiben:

Definition eines Abprallers:

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

Die Versuche für einen Geschosstyp werden beendet, wenn nach dem Aufprall auf das Beschussmedium eine Geschossrestmasse von weniger als die Hälfte seiner ursprünglichen Masse vorhanden ist.

4.6 Beschusskonzept

Der Beschuss der Medien erfolgte in der 50-m-Raumschießanlage (im Folgenden RSA genannt) der DEVA mittels einer Schießmaschine auf eine Entfernung von ca. 40 m. Die Munition wurde so laboriert, dass bei dieser Entfernung die realen Geschossgeschwindigkeiten von 25 m, 50 m und 100 m erreicht wurden.

4.7 Vorrichtungen und Messmittel

Zur Durchführung der Versuche sind die Verwendung nachstehender Messmittel und der Bau folgender Vorrichtungen vorgesehen:

1. Wiederladeeinrichtung zur Herstellung der Munition
2. Gasdruckmesseinrichtung
3. Lichtschranken
4. Radargerät
5. Wattekästen zum Auffangen der Geschosse
6. Laserentfernungsmesser (Auflösung 1mm)
7. Richtlaser zum Justieren der Schießmaschine und Beschussmedien
8. Dreibein-Holzböcke für Baumstämme
9. Aufnahme für die Buchenstäbe
10. Holzkiste für die Beschussmedien „Harter Boden“ und „Steinplatte“
11. Holzkiste für Beschussmedium „Weicher Boden“
12. Schwenkvorrichtung(Wiege) für die Holzkisten zur Einstellung der Beschusswinkel
13. Scharniere für die Kisten
14. Stützen zur Einstellung des Auftreffwinkels
15. Indikatorwand für das Registrieren der abgelenkten Geschosse
16. Seifenblöcke zur Simulation eines Wildkörpers

5. Messeinrichtung

Für eine umfassend Auswertung war es erforderlich, dass folgende Daten erfasst wurden:

- Auftreffwinkel
- Auftreffgeschwindigkeit
- Abgangsgeschwindigkeit
- Abgangswinkel zur Seite und zur Höhe
- Raumwinkel
- Geschossrestmasse
- Rückpraller

5.1 Ermittlung des Auftreffwinkels

5.1.1 Gebüsch

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

Um messtechnisch erfassbare und nachvollziehbare Werte zu bekommen, haben wir am Gebüsch folgende Trefferkategorien 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.

**Kategorie 4:**

In diese Kategorie sind Geschosse eingereicht worden, die zwei Stäbe berührt haben.

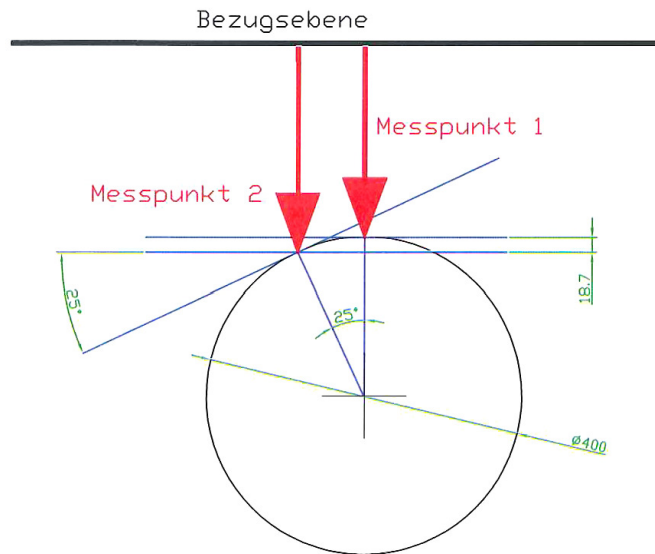
Zur Auswertung sind die Kategorien 1 und 2 herangezogen worden.

Die Tiefe der Beschädigung im Buchenstab ist mit einem digitalen Messschieber festgestellt worden.

5.1.2 Baumstamm

Trifft ein Geschoss auf eine kreisförmige Kontur auf, so kann der Auftreffwinkel über mehrere Möglichkeiten bestimmt werden. Wir haben uns für folgende Variante entschieden:

Der mittig angebohrte Baumstamm wurde drehbar auf einer Vorrichtung gelagert. Der Abstand von der Bezugsebene zur Mitte des Baumstammes war immer konstant mit 300 mm. Am zukünftigen Auftreffpunkt des Geschosses wurde der Radius des Baumstammes an diesem Punkt ermittelt (Messpunkt 1). Nach dem Schuss kann der Treffpunkt von der Bezugsebene aus ebenfalls bestimmt werden. Die sich daraus ergebende Differenz Messpunkt 1 zu Messpunkt 2 ist die Spurtiefe. Mit Hilfe einer mathematischen Operation kann nun der exakte Auftreffwinkel bestimmt werden.



Zum Beispiel:

- Messpunkt 1: 135 mm
- Messpunkt 2: 140 mm

Daraus ergab sich der Radius des Baumes:

Abstand Bezugsebene	./. Messpunkt 1	= Radius des Baumstammes
300 mm	./. 35 mm	= 165 mm

und die Spurtiefe:

Messpunkt 2	./. Messpunkt 1	= Spurtiefe
140 mm	./. 135 mm	= 5 mm

Da der Winkel im Zentrum des Baumstammes (siehe Skizze) gleich dem Auftreffwinkel ist, ergab sich:

$$\cos \alpha = \frac{\text{Radius} - \text{Spurtiefe}}{\text{Radius}}$$

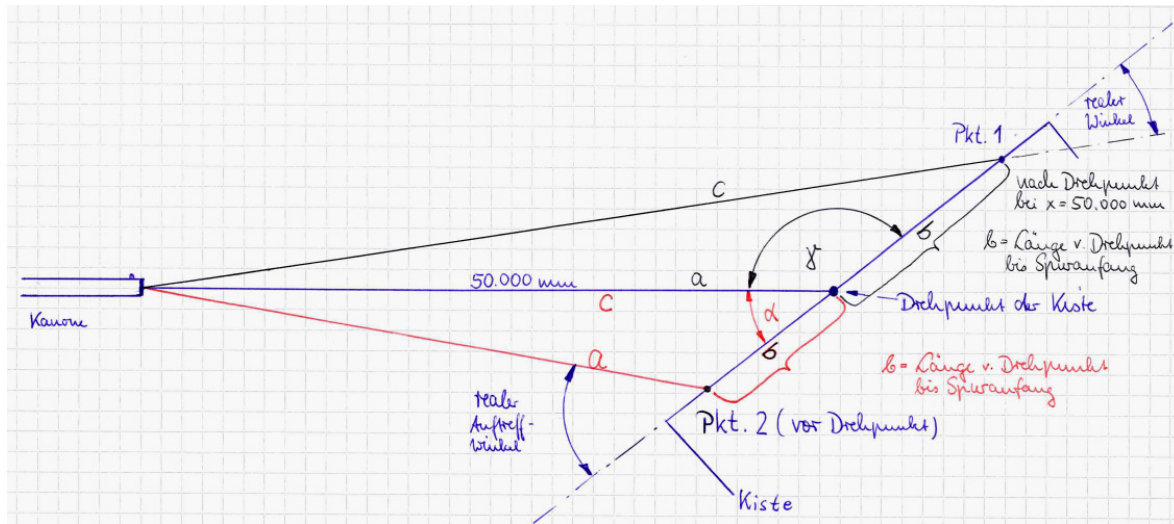
Für obiges Beispiel wären das 14,14°. Gemeinsam mit Dr. Kneubuehl haben wir für jeden Winkel eine zulässige Toleranz von $\pm 2,5^\circ$ definiert. Damit würde der Winkel von 14,14° in den Bereich der 15° fallen.

5.1.3 Rückpraller

Für die Versuche musste immer senkrecht (im Winkel von 90°) auf den Seifenblock geschossen werden.

5.1.4. Harter Boden

Beim Versuchsaufbau „Harter Boden“ stellte es sich heraus, dass wir aus Gründen der Effektivität nicht immer im Bereich des Drehpunktes schießen konnten. Damit nicht nach jedem dritten Schuss der Auftreffpunkt im Bereich der Drehachse der Kiste wiederhergestellt werden musste, entschlossen wir uns, auch oberhalb und unterhalb der Achse die Schüsse zu platzieren. Das machte eine andere Berechnungsvariante notwendig. Das folgende Bild verdeutlicht den mathematischen Hintergrund:



Für die Berechnung des tatsächlichen Auftreffwinkels α gilt das obere schiefwinklige Dreieck, wenn der Spuranfang oberhalb des Drehpunktes liegt:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \gamma} \quad \text{und}$$

$$\alpha_{\text{tats.}} = \arcsin \frac{a \cdot \sin \gamma}{c}$$

Für die Berechnung des tatsächlichen Auftreffwinkels α gilt das untere schiefwinklige Dreieck, wenn der Spuranfang unterhalb des Drehpunktes liegt:

$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha} \quad \text{und}$$

$$\alpha_{tats.} = \arcsin \frac{c \cdot \sin \alpha}{a}$$

5.1.5 Steinplatte

Für den Versuch Steinplatte wurde die Platte selbst gedreht, um so den notwendigen Auftreffwinkel zu erzielen.

5.1.6 Weicher Boden

Beim Schießen des Beschussmediums „Weicher Boden“ musste aus Platzgründen (Höhe der RSA) der Lauf der Schießmaschine um 1° nach unten geschwenkt werden. Die am Boden stehende Kiste wurde mit dem erforderlichen Auftreffwinkel (minus des voreingestellten Winkels von 1°) aufgestellt. Nach dem Schuss wurde der Boden wieder in den Ausgangszustand versetzt.

5.2 Ermittlung der Auftreffgeschwindigkeit

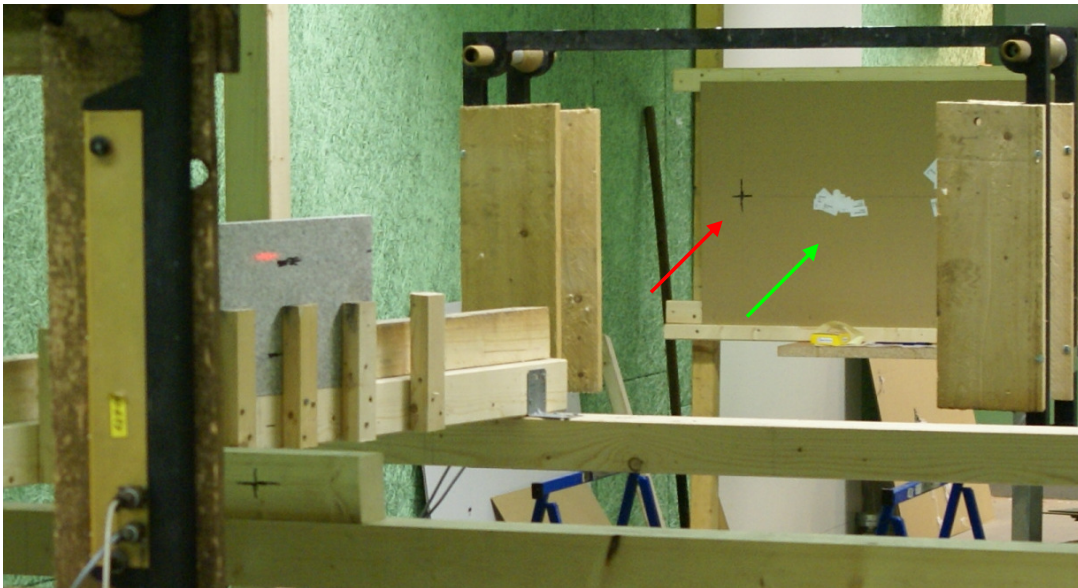
Die Auftreffgeschwindigkeit wurde bei allen Versuchen, außer beim „Harten Boden“ mittels Lichtschrankentechnik (Messstrecke: 1,00 m) vorgenommen. In Meppen stand Radartechnik zur Verfügung. Hier wäre ein zusätzlicher Aufbau der Lichtschranken für die Radarmessung hinderlich gewesen.

5.3 Ermittlung der Abgangsgeschwindigkeit

Die Abgangsgeschwindigkeit wurde bei allen Versuchen, außer beim „Harten Boden“ mittels Lichtschrankentechnik (Messstrecke: 0,25 m) ermittelt. In Meppen stand Radartechnik zur Verfügung. Hier wäre es auf Grund der Splitter und Gesteinsreste unmöglich gewesen, mit Lichtschranken Werte zu erfassen. Da der Durchgang der Geschossreste nicht senkrecht zur Lichtschranke verläuft, musste zur genauen Ermittlung der Abgangsgeschwindigkeit der Abgangswinkel berücksichtigt werden. Das geschah automatisiert im Auswertblatt.

5.4 Ermittlung der Abgangswinkel zur Seite und zur Höhe

Die Abgangswinkel der Geschosse wurden in beiden Richtungen über eine Indikatorwand erfasst. Zuerst haben wir ohne das Beschussmedium mit meistens drei 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 Beschussmedium erzeugte eine auf der Indikatorwand nachvollziehbare Ablenkung.



Der rote Pfeil zeigt den Nullpunkt an, der grüne die ersten Ablagen bei einem Winkel von $2,5^\circ$ beim Beschießen der Steinplatte.

Die Abstände wurden mit dem Messschieber, einem 2-m-Maß (Zollstock) 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 6.400 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 .

5.5 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.

5.6 Rückpraller

Für die Versuchsreihe „Rückpraller“ gingen wir zuerst davon aus, dass auch die Austrittsgeschwindigkeit des Geschosses aus der Seife zu ermitteln sei, um eine Aussage darüber treffen zu können, wie viel Energie das Geschoss im durch Seife simulierten Wildkörper abgibt und welche ihm noch am Rückprallobjekt zur Verfügung steht. Nachdem es bei einigen Geschossen offensichtlich war, die Rückprallobjekte nach dem Seifendurchgang nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu treffen, nahmen wir nach Rücksprache mit Dr. Kneubuehl die Lichtschranke zur Abgangsgeschwindigkeitsermittlung aus dem Versuchsaufbau heraus und verkürzten alle Abstände nach Seifendurchgang auf einen halben Meter.

Die Ermittlung der Trefferkoordinaten ist unter Punkt 9.3 beschrieben. Eine Ermittlung der Geschwindigkeit nach erfolgtem Rückprall am Beschussmedium war nicht möglich, weil die Lichtschranke nicht zuerst die Geschwindigkeit in Schussrichtung und gleich danach die Geschwindigkeit des zurückgeprallten Geschosses ermitteln kann.

5.7 Geschossrestmasse

In so hochdynamischen Prozessen wie der Ballistik, erfordert es großen gedanklichen und zeitlichen Aufwand, ein Geschoss ohne weitere Beschädigungen auffangen zu können. Die gesamte, noch zur Verfügung stehende Bewegungsenergie muss in andere Energieformen umgewandelt werden. Aus Erfahrungen von anderen Versuchen wussten wir, dass mindestens 6 Kisten mit den Abmaßen 60 cm x 60 cm x 30 cm dazu erforderlich sind. An den Seiten in Schussrichtung wurden Aluminiumwinkel aufgeschraubt und da hinein dünne Pappe gesteckt. Sie hat die Aufgabe anzuzeigen, ob das Geschoss die Kiste durchdrungen hat oder nicht. Beim Durchgang zieht das Geschoss in der Regel das locker eingefüllte Bremsmedium (Watte oder Polierwolle) in Fäden hinter sich her. Ebenso wandelt es dabei Bewegungsenergie in Wärmeenergie um. Für das Auffinden des Projektils sind das zwei Vorteile. Zum einen kann mit großer Sicherheit die Kiste ausfindig gemacht werden, bei der auf der Rückseite kein Austritt zu sehen ist. Andererseits ist es nach einiger Übung möglich, den angewärmten Teil der Polierwolle zu lokalisieren, indem das Geschoss steckt. Eine weitere Erleichterung war es, wenn wir, bevor die Pappe entfernt worden ist,

einen Stift in den Schusskanal gesteckt haben. Er hat uns nach Wegnahme der Pappe zuverlässig den Eintrittspunkt in der Watte angezeigt.



Für den Versuch wurden dann die Kisten in der möglichen Ablenkrichtung aufgestellt. Ab dem Beschussmedium „Baumstamm“ verfehlten die Geschossreste häufig die Kisten. Aus diesem Grund bauten wir mit zwei größeren Abmaßen (100 cm x 100 cm x 30 cm). Aber auch da kam es immer wieder zu „Ausreißen“, die dann nur in einem dicken Paket, manchmal bis zu 12 Stück doppelt aufgehängter Woldecken zu fangen waren. In besonders kritischen Situationen, insbesondere beim Beschuss des Naturweges, mussten sowohl die Kisten als auch die Woldecken gemeinsam das Projektil oder den Projektilrest auffangen. Nach jedem Beschussmedium wurden die Kisten entleert und die Polierwolle entsorgt, damit nicht eventuell noch vorhandene Kleinstsplitter das Geschoss deformieren. Alle zerschossenen Seitenwände und Böden mussten ebenfalls erneuert werden, damit nicht ungewollt Holzreste beim Suchen zu Handverletzungen führten.

5.8 Die Messeinrichtung der DEVA

Um belastbare Ergebnisse zu erzielen, ist eine störungsfrei arbeitende Messtechnik notwendig. In der ersten Sitzung des Projektrates ist nach der Vorstellung unserer Messgeräte von den Teilnehmern bestätigt worden, dass diese Technik ausreichend für die Ermittlung aller erforderlichen Daten sei. Im Einzelnen sind das:

- Gasdruckmesseinrichtung
- Lichtschranken
- Waage (digital)
- Richtlaser
- Laserentfernungsmesser
- Messschieber (digital)

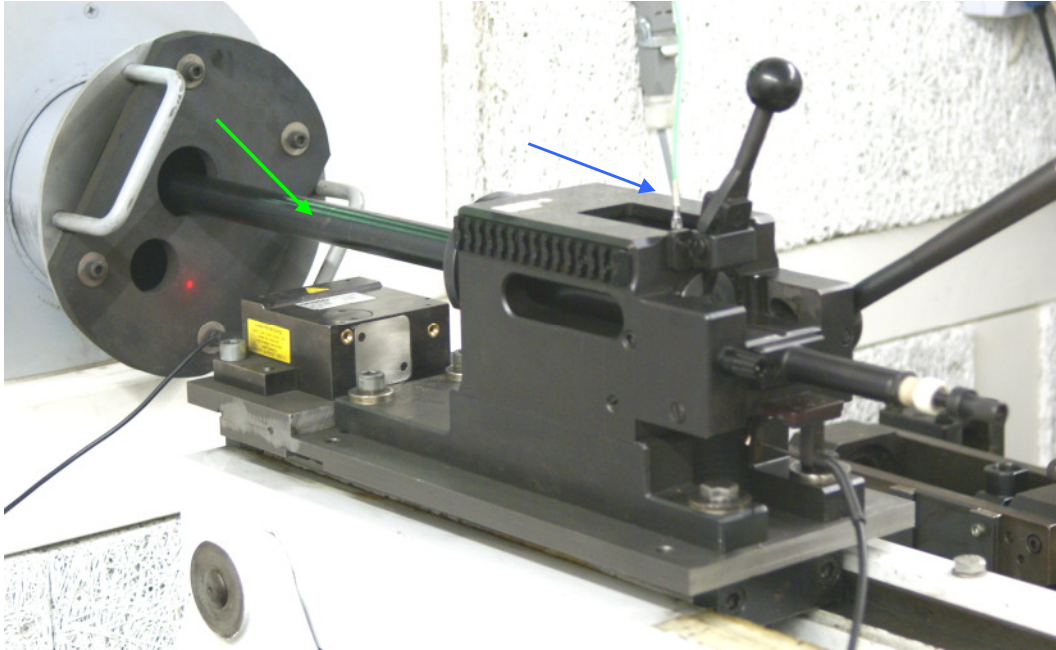
- Schullineal (1,00 m)
- Anschlagwinkel
- Gliedermaßstab (2,00 m)

5.8.1 Gasdruckmesseinrichtung

Unsere Gasdruckmesseinrichtung besteht aus dem Munitionsprüfgerät „AVL 292 UREP VAT“ von der Firma HPI GmbH (Österreich) und mechanisch-elektrischem Wandler (Piezo-Quarz) der Firma Kistler Instrumente GmbH, Ostfildern (Messbereich bis 6.000 bar). Für die vorgesehenen Kaliber sind die entsprechenden Messläufe vorhanden. Diese Gasdruckmesseinrichtung ist zur Ermittlung der Gasdrücke der Munition verwendet worden, die für die Versuche hergestellt worden ist, ebenso sind damit die Medien beschossen worden.

**Schießbock mit aufgesetztem Munitionsprüfgerät
(roter Pfeil)**



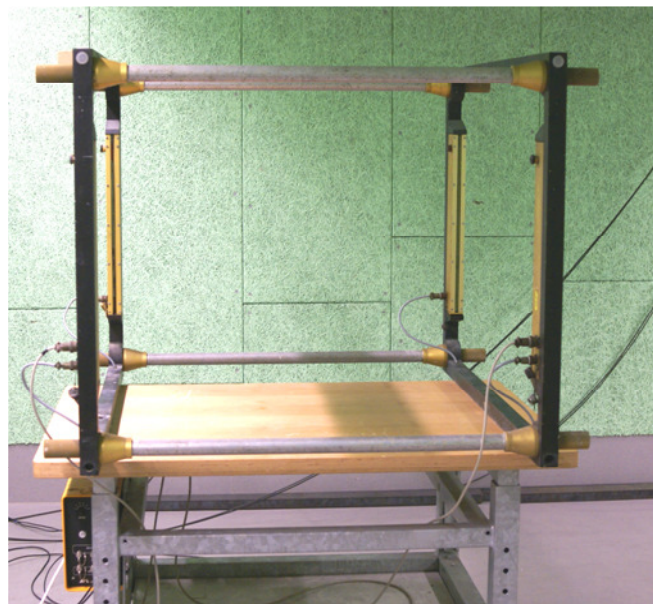


Der eingesetzte Quarz ist durch den blauen Pfeil gekennzeichnet, der Lauf mit dem grünen Pfeil.

Alle Läufe, die zu den Versuchen verwendet wurden, sind Gasdruckmessläufe. Alle Maße an den Läufen entsprechen den Vorgaben der C.I.P., da sie ansonsten nicht zur Messung des Gasdruckes eingesetzt werden dürften. Die Präzision der verwendeten Läufe ist sehr gut. Es wurden Streukreise von ca. 1 cm (5 Schüsse) auf 50 m erzielt.

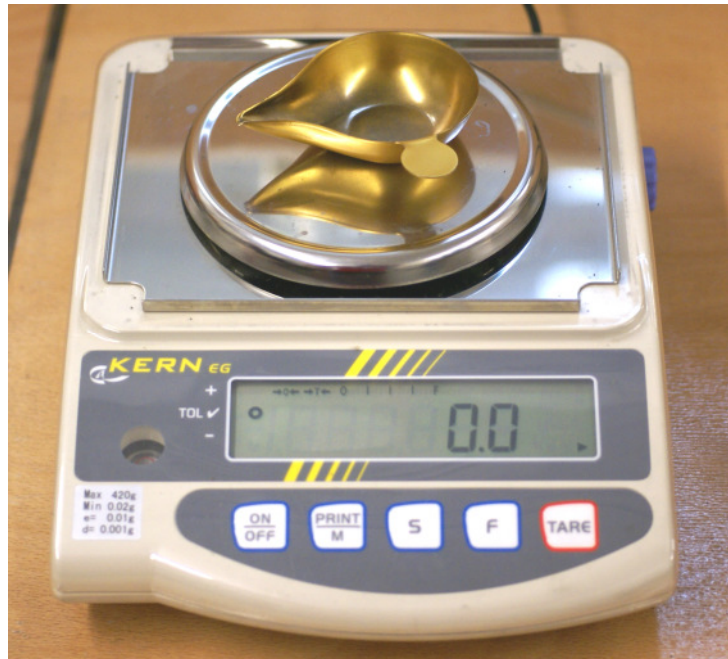
5.8.2 Lichtschranken

Die verwendeten Lichtschranken haben unterschiedliche Messbasen. Die Eingangslichtschranke weist eine Messbasis von 1,00 m und die Ausgangslichtschranke eine von 0,25 m auf. Die verkürzte Strecke wurde für die Ermittlung der Abgangsgeschwindigkeit gewählt, weil die Projektile häufig nicht in einem Winkel von 90° zur Messeinrichtung fliegen. Einerseits war es uns dadurch möglich, die meisten Geschosse messtechnisch zu erfassen und zum anderen wurde dadurch die Lichtschranke nicht selbst in Mitleidenschaft gezogen. Im Bild ist die Lichtschranke mit der Messbasis von 1,00 m. Zum Splitterschutz haben wir meist vor die Messtechnik noch einen Holzrahmen montiert.



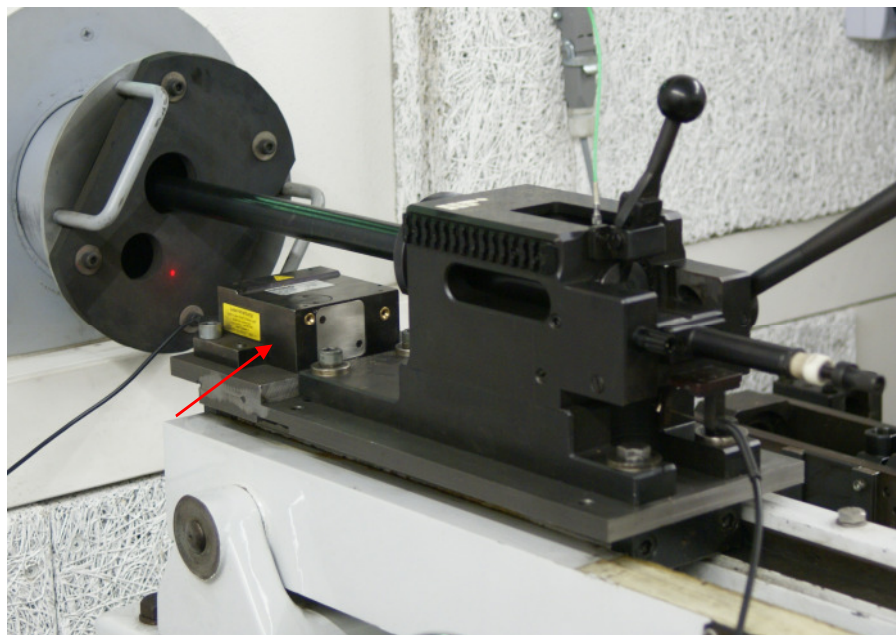
5.8.3 Digitale Waage

Für die Ermittlung der Geschoss- und Geschossrestmassen sowie zur Herstellung der Laborierungen wurde eine digitale Waage eingesetzt. Die Ausgabe der Werte kann, je nach Wahl, in Gramm oder Grain erfolgen. Die Auflösung in den Messbereichen beträgt 1/10 grain und 1/1000 Gramm.



5.8.4 Richtlaser

Der Richtlaser war am Schießbock unterhalb des Laufes montiert. Er ließ sich in Höhe und Seite so einstellen, dass der Laserpunkt mit der Treffpunktlage des Laufes in Übereinstimmung gebracht werden konnte. Damit war es uns auch beim schwierigen Baumstammgeschoss möglich, die äußere Randschicht des Stammes punktgenau zu treffen. Zur besseren Verdeutlichung ist im Bild die Öffnung in der Abdeckung zum Schusskanal nach links verdreht. Während der Versuche wurde er durch das untere Loch hindurch gelassen. Der Laser darf selbst bei einer Schussentfernung von 50 m möglichst wenig streuen. Nur damit war gewährleistet, dass der markierte Punkt am Zielmedium auch vom Geschoss getroffen werden konnte. Bei zu großer Fächerung des Lasers auf Zielentfernung wäre der Zielpunkt nur sehr schwer anzuvisieren.



5.8.5 Laserentfernungsmesser

Zur Bestimmung aller Distanzen setzten wir einen Laserentfernungsmesser ein, der mit einer Auflösung von 1 mm ausgestattet ist. Alle Angaben waren so millimetergenau möglich.

5.8.6 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.

5.9 Die Kalibrierung der Messeinrichtungen

5.9.1 Mechanisch elektrische Wandler zur Ermittlung des Gasdruckes (Piezo-Quarze)

Um sicher zu stellen, dass die Gasdruckmessungen nicht fehlerhaft sind, wurden zwei Quarze (Kistler Nr. 1333982 und Nr. 971377) zur Wehrtechnischen Dienststelle für Waffen und Munition - WTD 91 -500 (im Folgenden WTD 91 genannt) nach Meppen geschickt, um diese im zertifizierten Prüflabor kalibrieren zu lassen.

Es ist festgestellt worden, dass beide Druckaufnehmer den Anforderungen entsprechen. Die Protokolle befinden sich in der Anlage.

5.9.2 Messanlage zur Ermittlung der Geschossgeschwindigkeiten

Unsere Lichtschranken wurden ebenfalls in Meppen einer Prüfung unterzogen. Die festgestellten Differenzen zur Referenzanlage bewegen sich in einem Bereich von

+0,08% bis -0,09%

Diese Differenz bedeutet, dass die Geschwindigkeitswerte um nicht mal 0,7 m/s gegenüber der Referenzanlage abweichen. Die Prüfscheine befinden sich in der Anlage.

5.9.3 Waage

Es wurde stets darauf geachtet, dass die Waage auf ebener und sauberer Fläche stand und vor Beginn der Versuche wurde sie täglich mittels Vergleichsmasse kalibriert.

5.10 Die Messeinrichtung in Meppen

In Meppen wurde im Zuge eines Amtshilfeverfahrens der Versuch mit dem Beschussmedium „Harter Boden“ durchgeführt. Die WTD 91 stellte uns folgende Anlagen zur Verfügung.

Messgerät: Doppler- System Weibel W 700
Antenne: Weibel SL 3022 (Antennenfrequenz 10.525 GHz)
Mündungsblitzdetektor: FOT 2E

Das Auslösen der Messung wurde extern mit infrarot-sensiblen Fotodetektor über die erste Lichterscheinung an der Waffenmündung ausgelöst.
Das Protokoll befindet sich im Anhang.

6. Datenerfassung und -übertragung

Um alle ermittelten Daten fehlerfrei und ohne lange Zwischenwege speichern zu können, musste in den Bereichen, in denen Daten ermittelt werden, Computertechnik zur Verfügung stehen. Hauptsächlich waren das:

- der Schießraum und
- der Bereich mit dem Zielmedium.

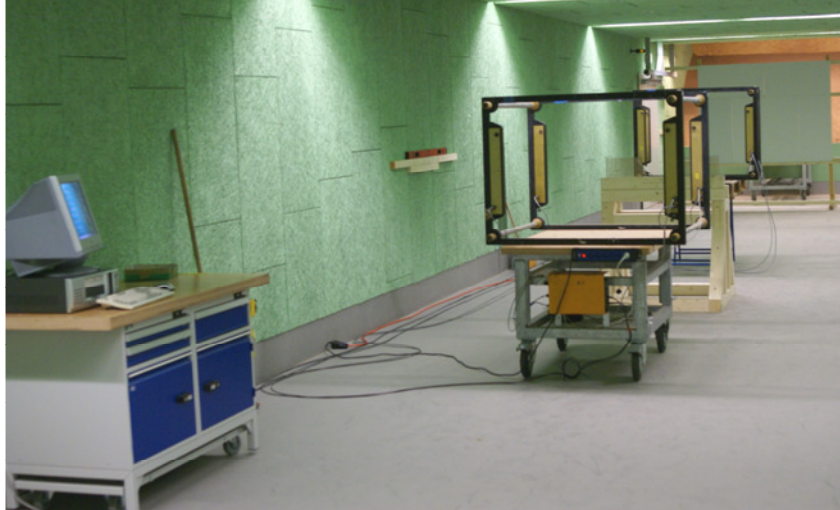
Im Schießraum war der Computer direkt neben dem Schießbock. Hier wurden alle Geschwindigkeitsmesswerte erfasst.



Gleich gegenüber befand sich die Wiederladeeinrichtung mit digitaler Waage, mit der die Geschossmassen vor und nach dem Schuss ermittelt werden konnten. Auch diese Daten gelangten ohne Umwege zur digitalen Speicherung.



Auch im Bereich des Beschussmediums war eine schnelle und verlustfreie Erfassung aller Daten notwendig. So befand sich ein PC in unmittelbarer Nähe der zu prüfenden Medien. Ein Mitarbeiter hat sofort das Geschoss gesucht. Ein anderer ermittelte die Ablagen in Höhe und Seite an der Indikatorwand sowie weiterer relevanter Daten und hat diese dann sofort in den daneben stehenden Computer eingegeben.



Alle Computer sind über ein Netzwerk miteinander verbunden. Eine Datensicherung erfolgte automatisch an jedem Tag.

Diese Vorgehensweise verhinderte über den gesamten Verlauf des Forschungsvorhabens einen Datenverlust.

7. Laborierungsdaten

7.1 Laborierungsdaten für das Kaliber .243 Win.

Im Kaliber .243 Win. wurde nur in ausgewählten Bereichen geschossen. So sind folgende Beschussmedien mit obigem Kaliber ausgewählt worden:

- Gebüsch
- Baumstamm
- Harter Boden
- Steinplatte
- Weicher Boden

In diesem Versuchsteil kam nur die Entfernung von 50 m zum Tragen. Alle vorliegenden Fabriklaborierungen wurden vorher mit ihrer Geschwindigkeit erfasst und original verwendet. Aus diesem Grund mussten keine zusätzlichen Laborierungsdaten ermittelt werden.

7.2 Laborierungsdaten für das Kaliber .308 Win.

Das Kaliber .308 Win. war das bestimmende in unseren Versuchen. Es musste immer bis zum Abbruchkriterium voll durchgeschossen werden. Das hieß, dass für alle Geschosse und alle Entfernungen die Laborierungen hinsichtlich der Geschwindigkeit für die nachfolgenden Medien angepasst wurden:

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

Soweit es möglich war, setzten wir bei der Entfernung 50 m die Originalpatronen für die Versuche ein.

Die ermittelten Ladedaten befinden sich im Anhang.

7.3 Laborierungsdaten für das Kaliber 9,3x74R

Im Kaliber 9,3x74 R wurde nur in ausgewählten Bereichen geschossen. So sind folgende Beschussmedien mit obigem Kaliber ausgewählt worden:

- Gebüsch
- Baumstamm
- Harter Boden
- Steinplatte
- Weicher Boden

In diesem Versuchsteil kam nur die Entfernung von 50 m zum Tragen. Alle vorliegenden Fabriklaborierungen wurden vorher mit ihrer Geschwindigkeit erfasst und original verwendet. Aus diesem Grund mussten keine zusätzlichen Laborierungsdaten ermittelt werden.

8. Versuchsaufbau

8.1 Gebüsch

Das Gebüsch wurde mittels Buchenstäben (\varnothing 6 mm) dargestellt. Diese steckten nebeneinander in Balken. Die Abstände zwischen den einzelnen Buchenstäben waren so gewählt, dass immer gewährleistet werden konnte, dass die Geschosse der unterschiedlichen Kaliber mindestens einen Stab trafen.

Um eine größtmögliche Präzision der Bohrungen zu bekommen, wurden die Bohrungen auf einer mit digitaler Anzeige ausgestatteten Universalfräsmaschine eingearbeitet. Folgende Abstände der Mittelpunkte der Bohrungen ergaben sich in den einzelnen Kalibern:

- Kaliber .243 Win. - 12 mm
- Kaliber .308 Win. - 14 mm
- Kaliber 9,3x74 R - 18 mm

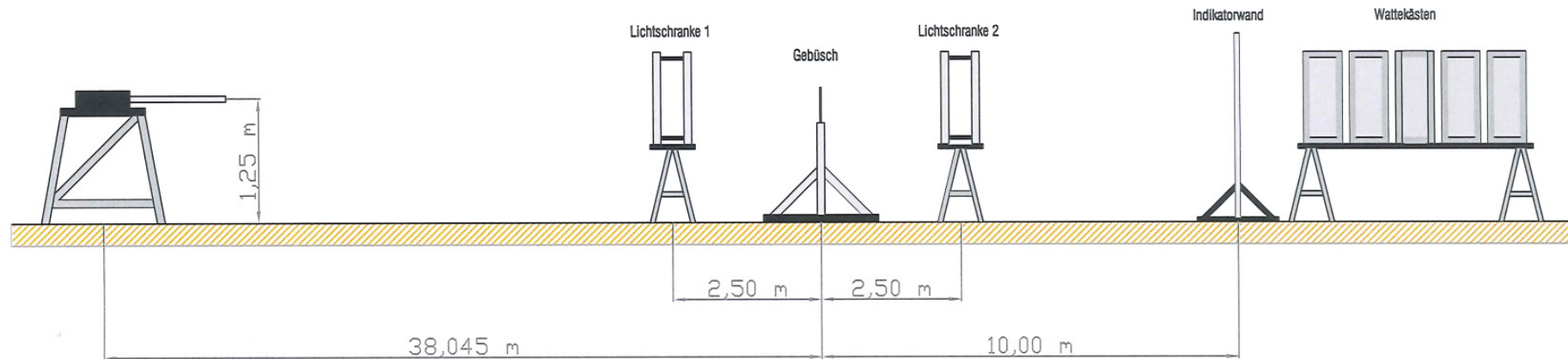
Der gebohrte und mit Buchenstäben versehene Balken wurde auf einem stabilen Gestell so befestigt, dass eine seitliche Verschiebung gewährleistet werden konnte. Diese diente dazu, um bei notwendigen Korrekturen der Treffpunktlage reagieren zu können und um die Buchenstäbe in der Höhe so auszurichten, dass der Schuss ohne Winkelfehler waagrecht abgegeben werden konnte.



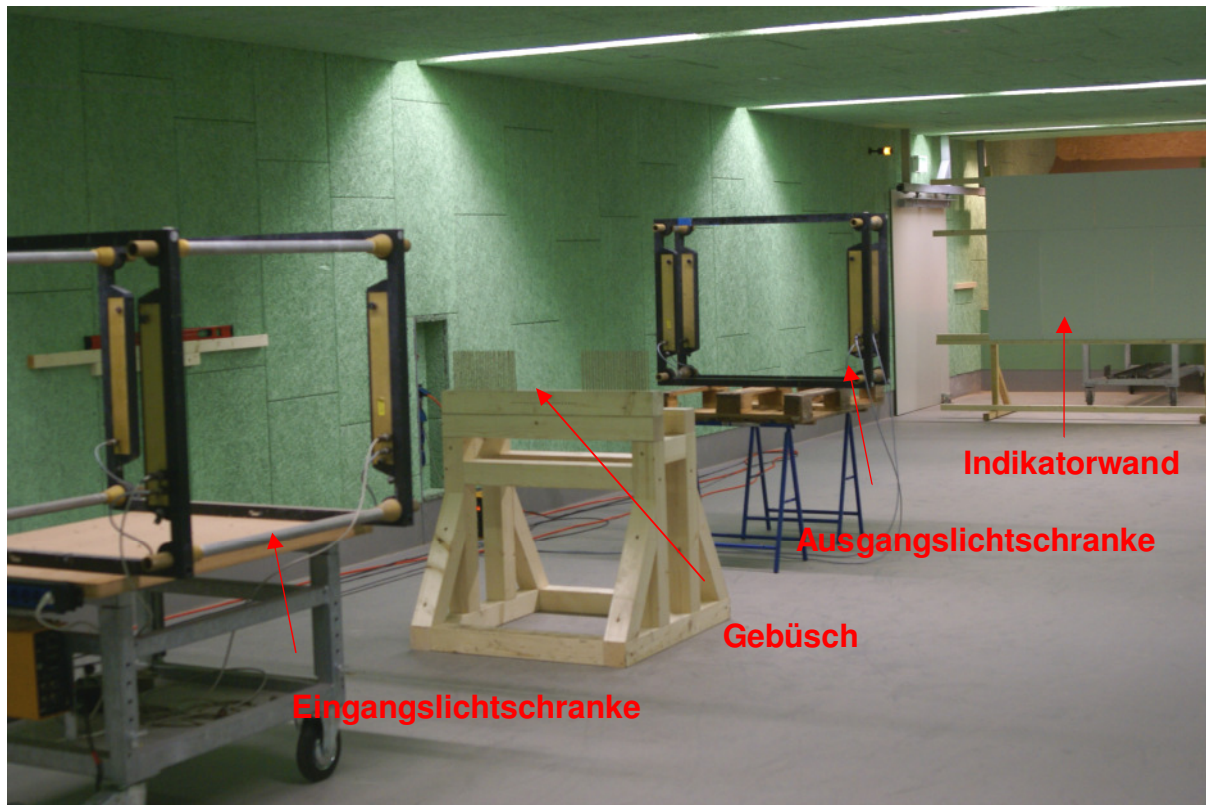
Aufnahme der Buchenstäbe im Holzbalken und massives Gestell

Nun konnte der Messaufbau vorgenommen werden. Da in der RSA nur eine Entfernung von 50 m zur Verfügung steht, ergab sich folgende Versuchsanordnung für das Beschussmedium „Gebüsch“:

Versuchsaufbau Gebüsch



Auf Grund der waagerechten Positionierung der Waffe konnte bei allen Versuchen von einer Abschusshöhe von 1,25 m ausgegangen werden. Die Entfernungen wurden mit einem Laserentfernungsmesser millimetergenau erfasst.



Die Geschosse wurden in mit Watte gefüllten Holzkästen aufgefangen. Je nach Geschossart und Kaliber waren dazu 2 - 8 Kästen notwendig.



Auf Grund der geringen Ablenkung konnten die Kistenmaße auf 600 mm x 600 mm x 300 mm beim Beschussmedium „Gebüsch“ beschränkt werden.

Die Watte zum Befüllen der Kästen haben wir von der Firma „Texaid“ angefordert. Es handelte sich hierbei um feine Polierwolle. Versuche mit gröberen Stoffen erschweren die Geschosssuche.

8.2 Baumstamm

Als Holzart für das Beschussmedium „Baumstamm“ wurde die Fichte ausgewählt. Die benötigte Menge konnte bei einem in ortsnähe befindlichen Waldeigentümer bestellt werden. Die Stämme sollten aus Gründen der Vergleichbarkeit einen Brusthöhendurchmesser von 35 cm haben und zum gleichen Zeitpunkt geschlagen worden sein. Der Waldeigentümer erfüllte unsere Vorgaben. Nach Anlieferung sind die Stämme mittels Motorsäge auf eine Länge von 1 m geschnitten worden, um sie auch handhaben zu können. Danach wurden sie aufgeschichtet und etwa eine Woche später konnte der Feuchtigkeitsgehalt mittels Messgerät bestimmt werden. Wir wählten 40 Stämme aus und bestimmten die Messwerte im Bereich der zukünftigen Belastung (Randbereich). Im Mittel ergab sich ein Feuchtigkeitsgehalt von 14,9 %, wobei der niedrigste Wert bei 13,5 % und der höchste Wert bei 16,8 % lagen.

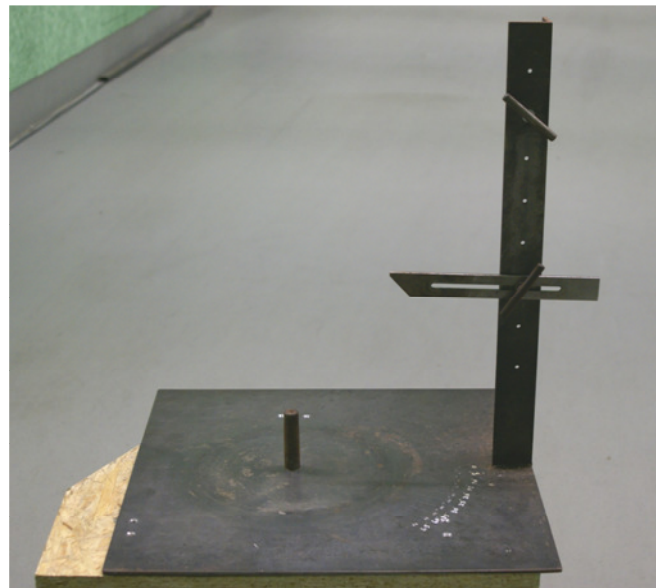


Da ein Stamm in der Natur aber nicht kreisrund ist, musste eine Möglichkeit geschaffen werden, ihn mittig anzubohren. Eigens dafür wurde ein Anschlagwinkel geschweißt, der bei dreimaligem Anlegen und Anzeichnen einen Schnittpunkt für die Bohrung am Fuß des Stammes ergab.



Nach dem Anriss konnte mittig mit einem 20 mm-Bohrer ein Loch gebohrt werden, das als Aufnahme des Baumstammes auf einer speziell angefertigten Vorrichtung diente. Der Hintergrund für das aufrechte Beschießen des Stammes war zum einen in seiner natürlichen Lage und zum anderen in der nachfolgend besser erfassbaren Ablenkung zu sehen.

Stahlplatte mit Aufnahmebolzen und senkrechtem Anschlag zur Erfassung des Stammdurchmessers und des Einschlagpunktes des Geschosses am Baumstamm.



Auf die Vorrichtung aufgesetzter Stamm und angelegtem Messschieber mit Tiefenmaß (s. Pfeil). Es wurde zwischen Stamm und Anschlag hindurchgeschossen.

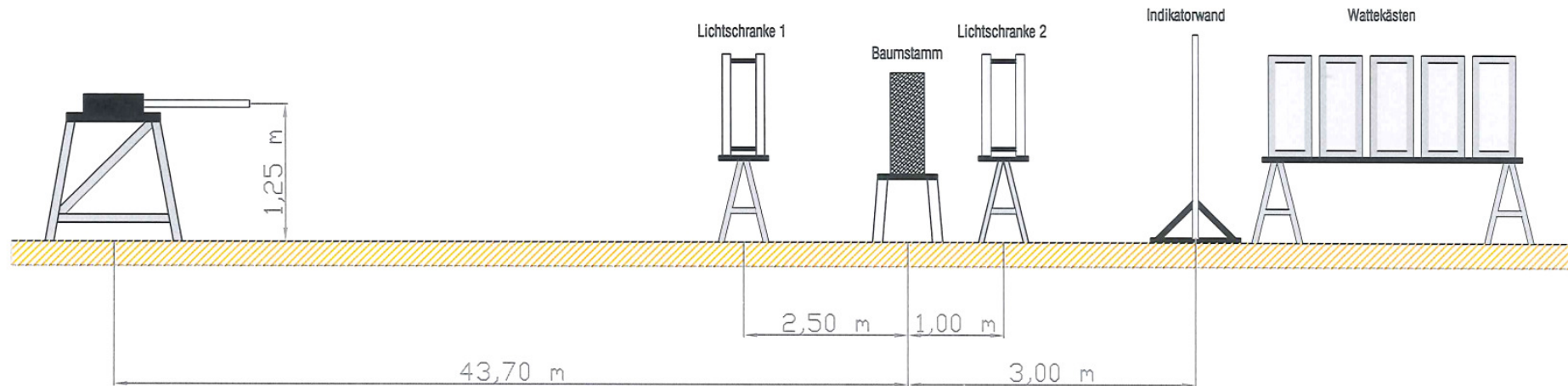
Das Erfassen der Werte war so präzise vom Anschlag aus möglich.



Um den Stamm auf Schusshöhe zu bringen und um ihn in drei Ebenen nutzen zu können, mussten 3 Böcke unterschiedlicher Höhe gebaut werden.



Versuchsaufbau Baumstamm



Auch in diesem Versuch wurde aus dem waagrecht stehenden Lauf der Schießmaschine geschossen. Die Entfernung zur Lichtschranke 2 musste wegen größerer zu erwartender Ablenkung auf 1,00 m verkleinert werden, damit die Geschosse auch durch den Messrahmen fliegen und nicht seitlich austreten.

Unterschiede zwischen den Beschussmedien „Gebüsch“ und „Baumstamm“:

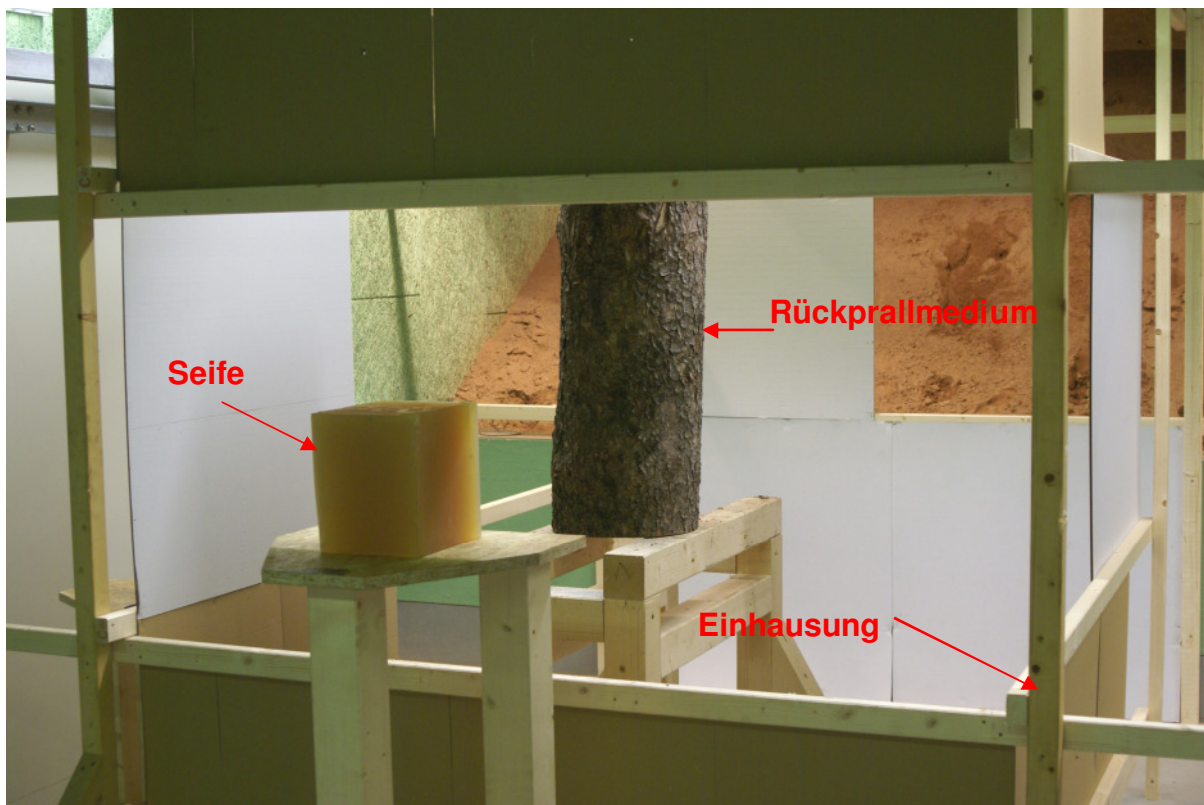
- Reduktion des Abstandes vom Beschussmedium zur Indikatorwand
- Grund: Erwartung größerer Ablenkung
- Vergrößerung der Wattekisten von 0,6 m x 0,6 m auf 1,0 m x 1,0 m
- Festlegung der Schusswinkel von 10°, 15°, 25°, 45° und 90°
- (2,5° und 5° fallen raus, 45° und 90° werden mit geschossen)

8.3 Rückpraller

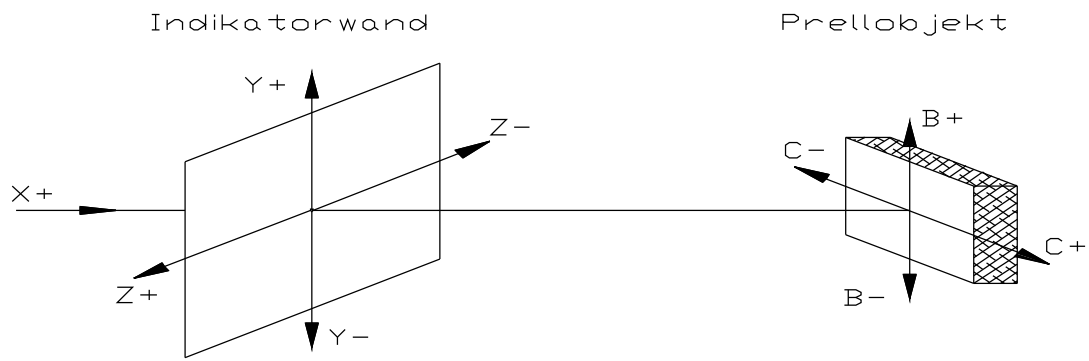
Im Rückprallversuch musste untersucht werden, ob und wie weit Geschosse nach dem Durchdringen eines Wildkörpers und nachfolgendem Auftreffen auf ein Prallmedium in Richtung des Schützen zurückprallen. Als Rückprallmedien dienten hier der Baumstamm und der Granitblock. Es wurden Baumstämme wie aus vorheriger Untersuchung verwendet. Als Granitblock standen Blockstufen aus dem Baumarkt zur Verfügung. Die Abmaße waren: 500 mm x 350 mm x 150 mm mit einer Masse von je 50 kg.

Der Wildkörper ist durch einen Seifenblock simuliert worden. Seine Maße waren wie folgt: 200 mm x 250 mm x 250 mm. Es war festgelegt, dass der Seifenblock in der 250er Länge beschossen werden sollte.

Um Koordinaten der rückprallenden Geschosse zu ermitteln, musste der gesamte Rückprallaufbau mit einer Einhausung nach vorne und zur Seite versehen werden.

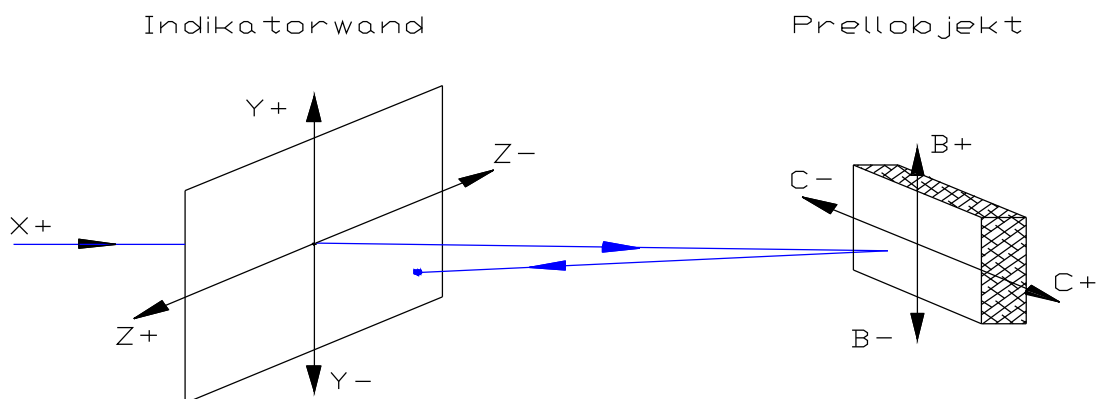


Damit machte sich auch ein Hilfskoordinatensystem erforderlich, um die Rückpraller eindeutig zu erfassen. Nach dem Schießen der Nulllinie wurde der Granitblock in die Schießebene eingerückt und der Nullpunkt mittels Laser übertragen. In den folgenden Bildern ist die technische Umsetzung erläutert:



Die Indikatorwand erhielt auf der Innenseite das bislang verwendete Koordinatensystem ($x ; y ; z$) und das Rückprallmedium das Hilfskoordinatensystem ($a ; b ; c$).

Es wurden beim Schuss beide Treffpunkte tabellarisch erfasst, sowohl der Treffer am Stein/ Baumstamm als auch der Treffer auf der Indikatorwand.

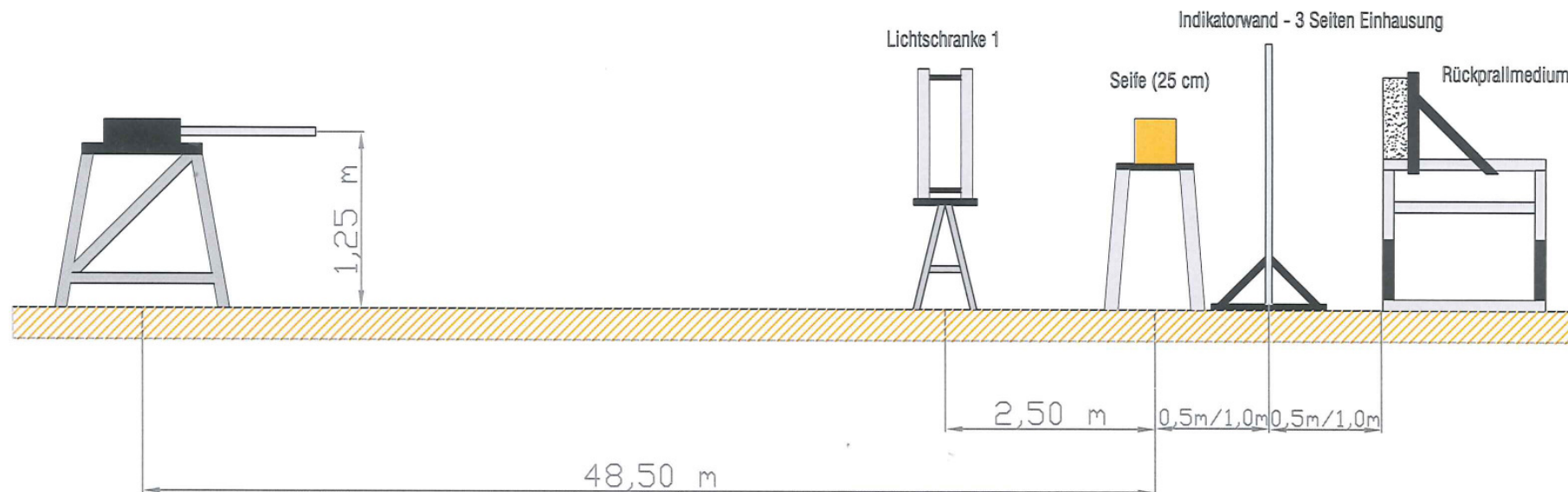


Auf den Block übertragenes Koordinatensystem und einige Treffer.



In einer ersten Versuchsanordnung waren wir davon ausgegangen, dass auch die Ermittlung der Austrittsgeschwindigkeit des Geschosses nach Durchdringung der Seife erforderlich sei. Deshalb wählten wir zwischen Seife und Indikatorwand einen Abstand von 1,00 m. In der gleichen Distanz war auch das Rückprallmedium von der Indikatorwand entfernt. Während der Versuche stellte es sich aber heraus, dass einige Geschosse durch die Seife schon so viel Ablenkung erfahren hatten, dass das dahinter liegende Rückprallmedium nicht getroffen werden konnte. Nach Rücksprache mit Dr. Kneubuehl nahmen wir die zweite Lichtschranke heraus und verkürzten die Abstände von Seife zur Indikatorwand und von Indikatorwand zum Rückprallmedium auf 0,5 m.

Versuchsaufbau Rückpraller



In der Folge war es möglich, dass die aus dem Seifenblock ausgetretenen Gesschosse den Granitblock und auch den Baumstamm trafen.

Die für den Versuch notwendige Seife bezogen wir von der Firma Permatin aus der Schweiz. Dieser Lieferant wurde auf Empfehlung des wissenschaftlichen Beraters unseres Projekts Dr. Beat Kneubuehl auf Grund seiner langjährigen Erfahrungen mit diesem Unternehmen ausgewählt. Die Eigenschaften der Seife entsprachen genau der Spezifikation, wie sie auch bei früheren Versuchen eingesetzt worden ist.

Bevor der Versuch durchgeführt werden konnte, wurde trotzdem der Feuchtigkeitsgehalt überprüft, indem wir mit einem Luftgewehr ein Diabolo auf den Seifenblock abfeuerten. Das Diabolo muss eine Mündungsgeschwindigkeit von 300 m/s erreichen und in die Seife 90 mm bis 100 mm eindringen. Beide Bedingungen konnten erfüllt werden.

8.4 Harter Boden

Der „Harte Boden“ beziehungsweise „Naturweg“ stellte an uns die größten Anforderungen bei der Bewältigung dieses Forschungsvorhabens. Es musste ein Weg im Jagdrevier nachgebildet werden, der sich zudem auch noch unter verschiedenen Winkeln beschießen ließ. Nach einigen Überlegungen konstruierten wir eine Kiste mit folgenden Abmessungen:

Länge - 2,50 m
Breite - 1,00 m
Höhe - 0,30 m



Diese Kiste wurde schon im November 2009 mit grobem Schotter schichtweise befüllt und jede einzelne Lage verfestigt. Mit zunehmender Befüllung zeigte es sich, dass die Wandung dem Druck nicht standhalten würde. So stabilisierten wir die Kiste mit zwei Stahlquerverstrebrungen (siehe Bild oben: schwarze Punkte).



Durch weiteres Befüllen bis ca. 10 cm unter der Oberkante, der Zugabe von Wasser und der fortwährenden Verfestigung konnte schon nach einem Monat ein straßenähnlicher Zustand erreicht werden.

Die Deckschicht bildete ein feinkörniger Schotter, wie er im Straßenbau bei wassergebundenen Deckschichten verwendet wird. Auch dieser musste mit Hilfe von Wasser immer wieder verfestigt werden. Bis zum Wintereinbruch waren alle „Wegebaumaßnahmen“ abgeschlossen.

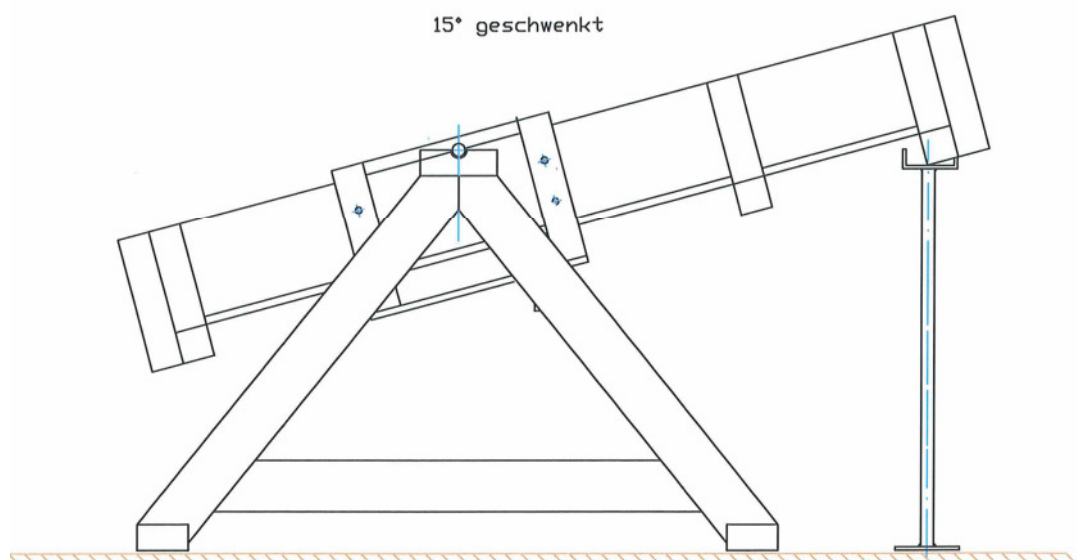


Damit hatte die Kiste eine Masse von über 3.000 kg erreicht.

Ein weiteres Problem war die Einstellung des Auftreffwinkels. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten:

- die Neigung der Schießmaschine und deren Abstand zum Beschussmedium zu verändern oder
- die gesamte Kiste bei konstanter Schussentfernung zu neigen.

Wir entschieden uns für letzteres, weil sich die Schießmaschine nicht bis in den Bereich von 25° verstellen ließ. Um die Kiste aufzunehmen, wurde eine so genannte „Wiege“, deren Halterungen und die Stützen konstruiert und gebaut. Die zeichnerische Lösung sah wie folgt aus:

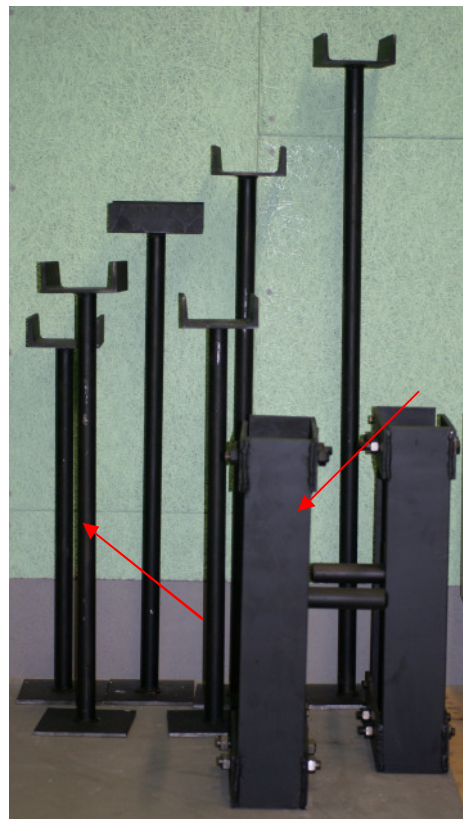


Nach umfangreichen Metall- und Schweißarbeiten waren alle Hilfsmittel zur Befestigung der Kiste hergestellt.

Wiege



Die Stützen (hinten) dienen zur Einstellung der Schusswinkel $2,5^\circ$, 5° , 10° , 15° und 25° . Die davor stehenden „Scharniere“ (Pfeile) ermöglichen die Neigung der Kiste und deren Aufnahme in der Wiege.



Unsere nächsten Überlegungen galten der Messtechnik. Durch einen Versuch konnten wir feststellen, dass unsere Lichtschranke auch dann „triggerte“, als nur kleine Steine durch den Messbereich flogen. Damit wären die Ergebnisse wertlos gewesen. Nur durch Radartechnik kann das auf dem „Naturweg“ abgeprallte Geschoss noch verfolgt werden, um so die Abgangsgeschwindigkeit bestimmen zu können. Da wir aber kein solches Gerät besitzen, nahm unser Auftraggeber daraufhin Kontakt zur Wehrtechnischen Dienststelle für Waffen und Munition - WTD 91 - in Meppen auf. Im Zuge eines Amtshilfeverfahrens wurde uns die Möglichkeit eingeräumt, den gesamten Versuch mit dem Beschussmedium „Naturweg“ in einem 600-m-Schießkanal durchzuführen.

Dazu war es erforderlich, die gesamte Versuchsausrüstung der DEVA auf einen LKW zu verladen und nach Meppen zu transportieren. Bedingt durch die Ferienzeit gab es kaum Transportunternehmen mit freien Kapazitäten. Es war auch kein LKW vorhanden, der einen Stapler mitführte, der in der Lage war, eine Masse von über 3 Tonnen zu heben. Stapler und Sattelzug mussten demzufolge bei zwei Firmen bestellt werden.

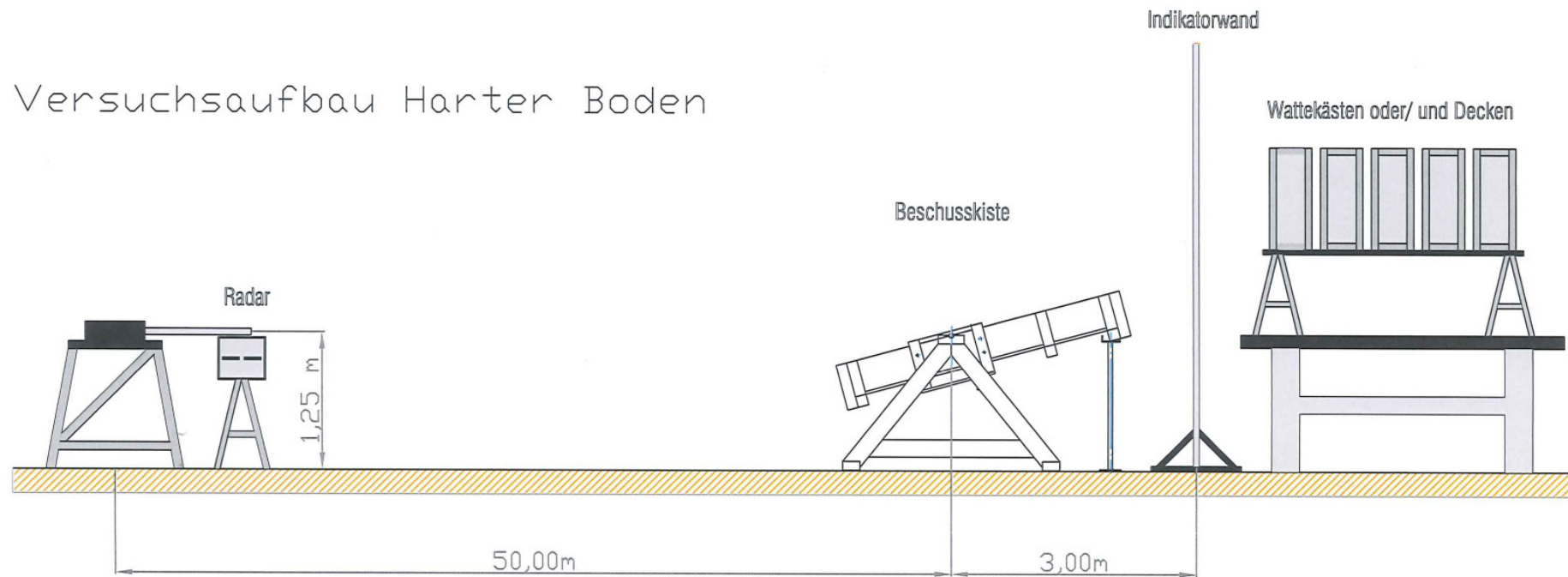


Eine Ladefläche von 25 m² war gerade ausreichend für die benötigte Ausrüstung.

In Meppen stand zum Entladen entsprechende Technik bereit.

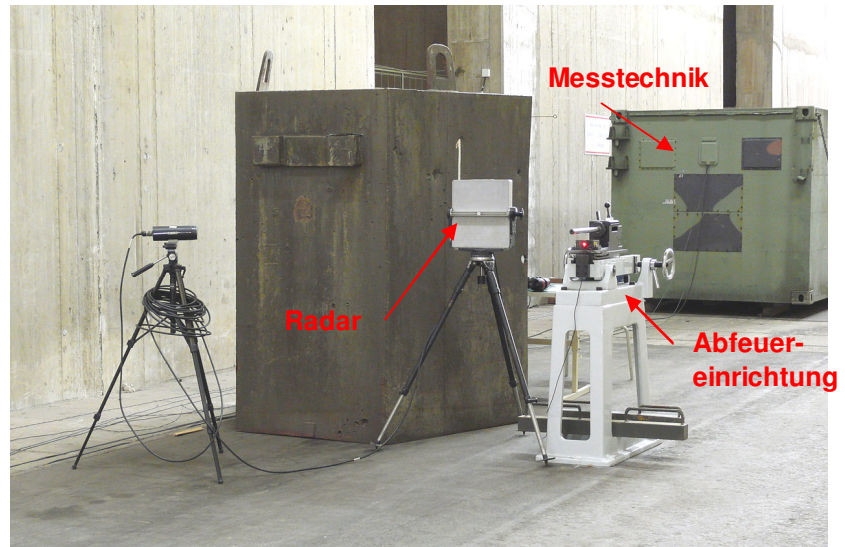
Nach dem Transport in den Schießbereich begannen wir mit dem Aufbau. Der 600 m lange und 10 m hohe Schießkanal gestattete eine ideale Anordnung der Versuchstechnik.

Versuchsaufbau Harter Boden



Die großzügigen räumlichen Möglichkeiten in der 600-m-RSA der WTD 91 in Meppen ermöglichten einen idealen Versuchsaufbau zum Beschuss des „Harter Boden“. Die Höhe des Laufes der Schießmaschine und der Drehpunkt der Kiste stimmten mit 1,25 m überein, so dass beim Schießen auf die Nulllinie der Auftreffwinkel dem eingestellten Winkel der Kiste entsprach. Bei höherem oder tieferem Auftreffpunkt wurde der Winkel im Datenblatt jeweils neu berechnet.

Die Radartechnik und das Personal wurden durch die WTD 91 gestellt. Der Abschussbereich war für die Bedienung mittels Panzerplatten gesichert. Unsere Messtechnik befand sich im Container hinter dem Radargerät.



Um unsere Lichtschrankentechnik zu überprüfen, wurden beim Winkel von 5° die Geschwindigkeitsmessungen parallel mit dem Radar durchgeführt. Es wurde eine sehr gute Übereinstimmung mit beiden Messtechniken erzielt.

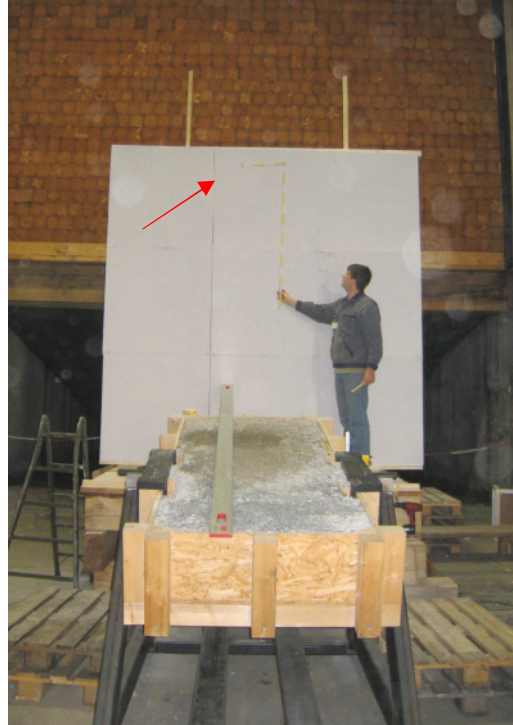


So konnte für das Forschungsvorhaben sichergestellt werden, dass alle radartechnisch erfassten Werte, mit denen der bei anderen Versuchen verwendeten Lichtschrankentechnik übereinstimmten.

Beim Schießen ergaben sich weitere Probleme, für die Lösungen gefunden werden mussten. Mit der Vergrößerung des Auftreffwinkels vergrößerten sich auch die Abgangswinkel der Geschossreste. Schon bei einer Entfernung von 3,00 m vom Auftreffpunkt zur Indikatorwand ergaben sich Ablagehöhen von 3,00 m.

Ein Mitarbeiter zeigt mit einem „Zollstock“ auf die Höhen- und Seitenablage eines Geschossrestes. Jede Pappe war im Format 1,00 m x 1,00 m. Danach wurde noch eine weitere Lage Pappe darüber befestigt.

Für die Wertung eines Schusses war es aber auch erforderlich, die Geschossreste zu finden. Mit Hilfskonstruktionen konnten die Wattekisten immer höher positioniert werden. Aber auf Grund einer nicht vorhersehbaren Ablage der Geschosse zur Seite und zur Höhe, konnte eine große Anzahl nicht gefunden werden. Mit Hilfe von 12 Woldecken, die zudem in doppelter Lage hinter der Indikatorwand platziert wurden, war es uns wieder möglich, die Geschossreste aufzufangen, damit die Messung gewertet werden konnte.



Die Geschossfangkästen sind in Abgangsrichtung der Geschosse positioniert.

Die Decken wurden in einer Höhe von mehr als 3,00 m in doppelter Lage aufgehängt. Dahinter standen die Wattekästen. Die Gesamtarbeitshöhe betrug zu diesem Zeitpunkt schon mehr als 4,00 m!



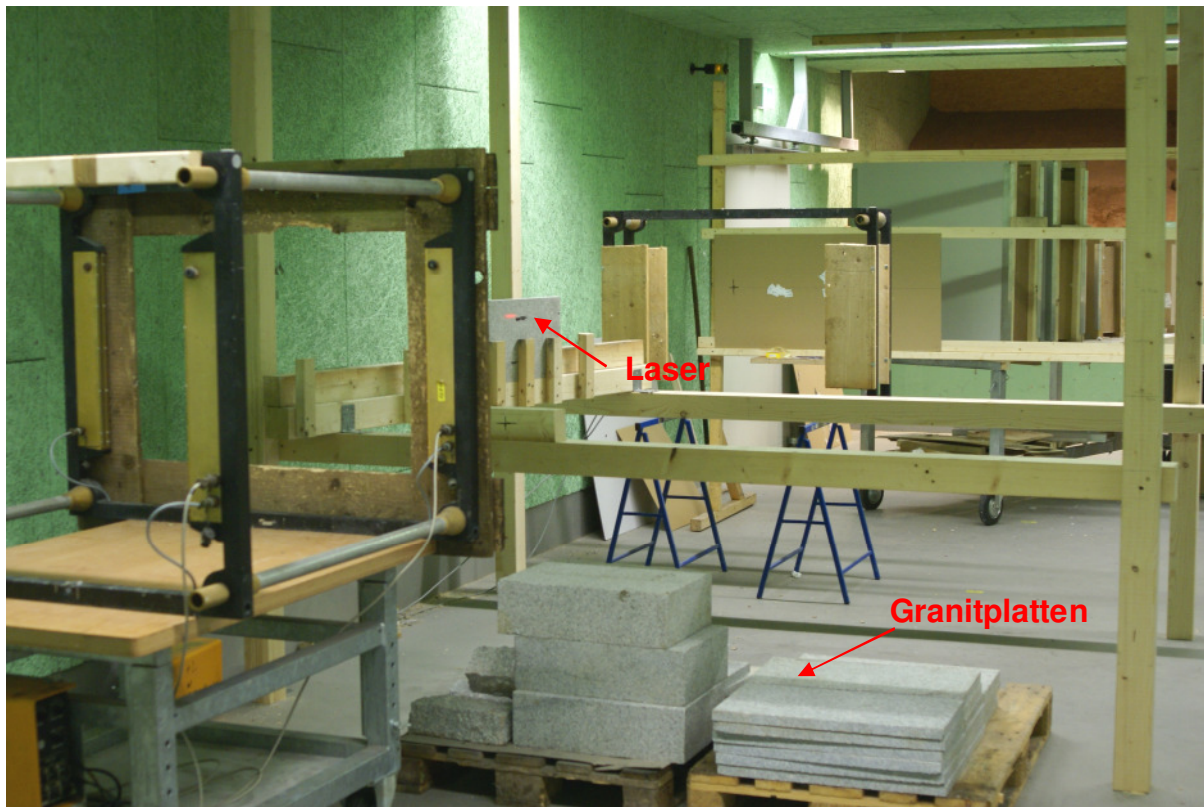
Nach der Durchführung des Versuchs „Naturweg“ musste die gesamte Ausrüstung von Meppen nach Altenbeken transportiert, entladen und aufgebaut werden. Es dauerte eine Woche bis alles wieder an seinem Platz war.

8.5 Steinplatte

In ersten Überlegungen wählten wir für den naturnahen Beschuss von Steinplatten so genannte „Polygonalplatten“ aus, die im Baumarkt für die Gestaltung von Gartenwegen oder Terrassen Verwendung finden. Nach eingehender Begutachtung war klar, dass diese wegen ihrer geringen Materialstärke nicht den Belastungen eines Beschusses standhalten würden. So entschieden wir uns für Granitplatten, die auf einer Seite geschliffen und auf der anderen Seite „geflammt“ sind (raue Oberfläche). Diese Seite wurde dann im Versuch beschossen. Die Plattengröße von 600 mm x 300 mm x 30 mm trug dazu bei, dass auch bei kleinen Auftreffwinkeln die Platte getroffen werden konnte.

Da unsere RSA nur eine Höhe von 2,65 m hat, musste eine Vorrichtung zur Aufnahme der Platte geschaffen werden, die ein wiederholgenaues Positionieren, das Einstellen des Winkels und eine variable Auflagenhöhe erlaubte. Der Drehpunkt war durch ein Lot von der Decke als Fixpunkt eingerichtet, so dass nur der Aufnahmebalcken zur Winkeländerung gedreht werden musste. Da bei dem Winkel von $2,5^\circ$ die mögliche Zielhöhe bei einer Platte sehr gering war (26,2 mm), haben wir 2 Platten in Reihe positioniert. Dadurch stellten wir sicher, dass das Geschoss immer die Steinplatte treffen konnte.

Der Lauf der Schießmaschine wurde wieder waagrecht auf eine Höhe von 1,25 m ausgerichtet.



Da wir mit erheblichen Ablenkungen rechnen mussten, wurde die gesamte Technik linksseitig auf der RSA positioniert, um bei großen Abgangswinkeln die Geschosse noch auffangen zu können. Im Bild ist auch die schräge Anordnung der Geschossfangkästen zu sehen, die schon in Abgangsrichtung positioniert waren und der Laser (Pfeil oben, roter Strich), der mit sehr großer Genauigkeit den zukünftigen Auftreffpunkt anzeigt.

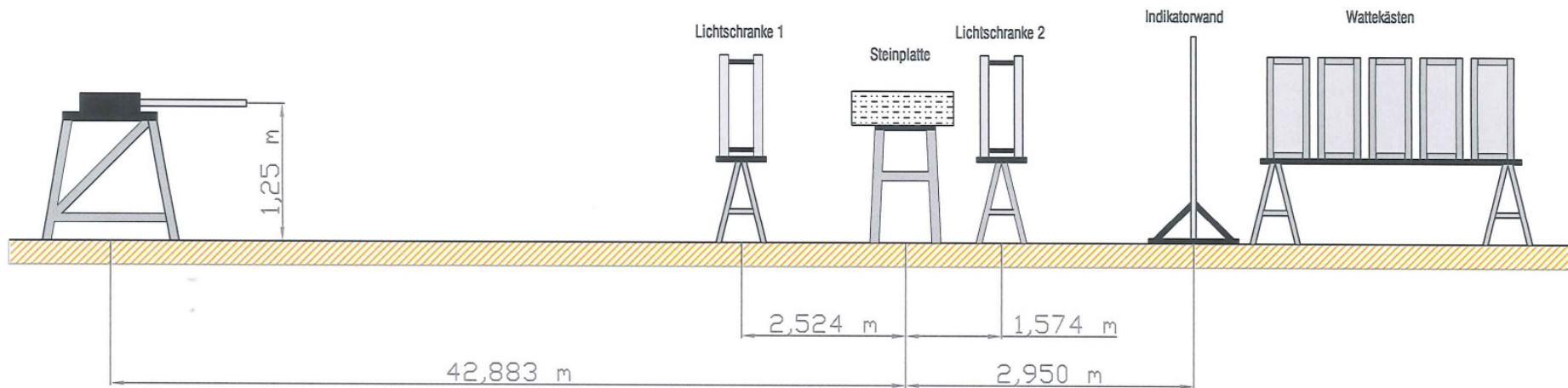
Durch Drehung der Steinplatte, das Unterlegen von Konstruktionsholz und das Verschieben in Längsrichtung war es möglich, die Steinplatte mehrfach zu beschießen.

Um ein Gefühl für die wirkenden Energien zu bekommen, beschossen wir in einem ersten Versuch eine 10 cm starke Granitplatte frontal mit dem Kaliber 9,3x74 R. Schon dabei riss die Platte. Bei einem weiteren Schuss zerlegte sie sich in mehrere Stücke. Trotzdem entschieden wir uns für die 3 cm dicke Granitplatte, weil wir diese lediglich unter kleinen Winkeln beschossen. Sollte es dennoch zu Problemen und permanentem Zersplittern der Platten kommen, würden wir diese entweder mit einer zweiten Platte unterstützen oder durch den Granitblock aus dem Rückprallversuch ersetzen.

Bei einem Auftreffwinkel von 25° bekamen einige der Steinplatten Risse oder teilten sich im Auftreffpunkt. So war manchmal nur ein Schuss pro Platte möglich. Deshalb wurde dieser Winkel in allen Kalibern und Geschossen zum Abschluss des Versuches geschossen.

Nachfolgend ist der Versuchsaufbau beim Beschussmedium „Steinplatte“ dargestellt.

Versuchsaufbau Steinplatte



Im Bild ist nicht das senkrechte Lot zu sehen, das sich im Mittelpunkt der Platte befand. Dieser Punkt war der Nullpunkt für alle Maße und der Drehpunkt der Platte für alle Winkeleinstellungen. Auf diese Ebene wurde auch die Schießmaschine ausgerichtet. Somit war gewährleistet, dass keine zusätzlichen Winkel beachtet und in die Berechnung des Auftreffwinkels einfließen mussten.

8.6 Weicher Boden

Der Versuchsaufbau „Weicher Boden“ sollte grundsätzlich dem Versuchsaufbau „Harter Boden“ entsprechen. Lediglich die Kiste zur Aufnahme dieses Beschussmediums wurde auf Anraten von Dr. Kneubuehl von 2,50 m auf 3,00 m vergrößert, weil dieser mit einer „längeren Spur“ rechnete. Da handelsüblich nur Spanplatten mit einer Länge von 2,50 m zur Verfügung standen, mussten die restlichen 50 cm mit einer zusätzlichen Verstärkung durch innen liegende Dachlatten befestigt werden. Ebenso wie beim Versuch „Harter Boden“ war davon auszugehen, dass der einzufüllende Erdboden eine beträchtliche Masse hat.

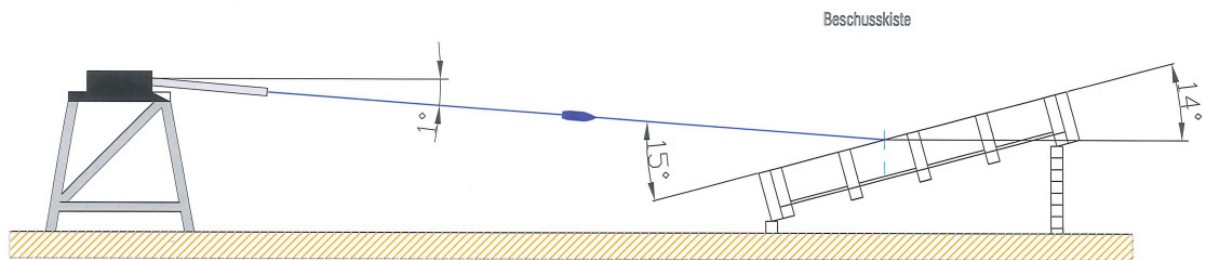


Der Pfeil kennzeichnet die Verbindungsstelle. Schon bald darauf konnte mit dem Befüllen und Verfestigen begonnen werden. Es wurde schichtweise der Mutterboden aufgefüllt und mittels geringer Menge Wasser bis knapp unter den Rand der Kiste verfestigt. In der Kiste waren bis dahin 1,5 Tonnen Mutterboden eingefüllt.



Die letzten 5 - 8 cm waren für eine lockere Laubschicht vorgesehen.

Die Versuche in Meppen haben gezeigt, dass für das Beschießen der Medien in der Wiege und darin eingebauter Kiste eine Raumhöhe von mehr als 4,00 m notwendig ist, um die abgelenkten Geschosse auch sicher fangen zu können. In der RSA standen uns aber nur 2,65 m zur Verfügung. Deshalb stellten wir die Kiste auf den Fußboden und neigten diese durch Unterlegen von Holzbalken. Ebenso wurde der Lauf des Beschussbockes um 1° zum Boden hin geneigt. Der Auftreffwinkel des Geschosses (zum Beispiel 15°) ergab sich somit aus dem Neigungswinkel der Kiste und des Laufes am Beschussbock ($14^\circ + 1^\circ$).

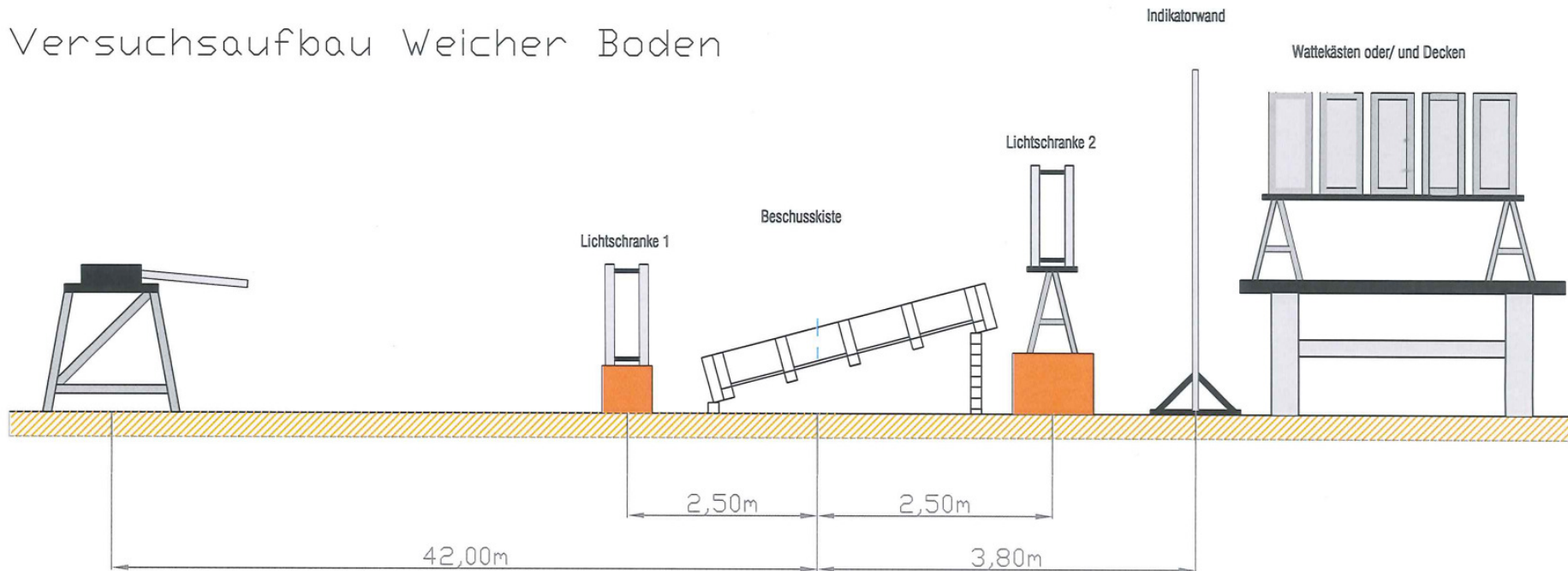


Nach Rücksprache mit Dr. Kneubuehl entschied dieser, auf die Laubschicht zu verzichten, um eine bessere Auswertung der Schüsse und ein leichteres Auffinden der Geschosse zu erreichen. Mit dem Laub wäre ein Vermessen der Spurlänge des Geschosses nur sehr schwer möglich gewesen und ein eventueller Eintritt in den Boden könnte u.U. nicht bemerkt werden. Damit konnte am vorderen und hinteren Ende der Kiste das überstehende Kistenmaterial bis auf Höhe des verfestigten Waldbodens herausgesägt werden.



Die Eingangslightschranke stand auf dem Fußboden, dahinter kamen die Kiste mit dem „Weichen Boden“, die Ausgangslightschranke und die Indikatorwand mit den Wattekästen.

Versuchsaufbau Weicher Boden



Durch die begrenzte Raumhöhe unserer RSA musste während der Versuche die Anordnung gelegentlich im Bereich der Entfernung von der Schießmaschine zum Drehpunkt der Beschusskiste und zur Indikatorwand korrigiert werden. Alle Änderungen sind in den jeweiligen Messprotokollen vermerkt und bei den nachfolgenden Rechnungen berücksichtigt.

9. Ergebnisse

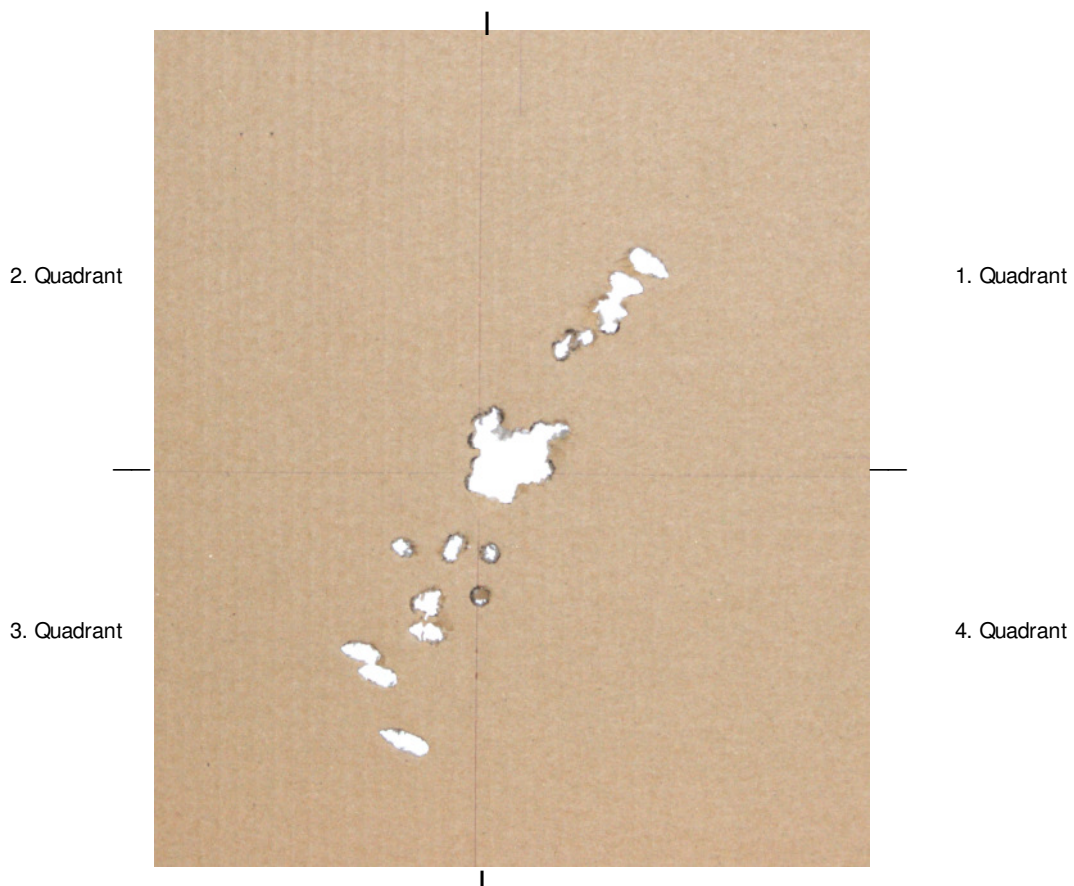
Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, die die DEVA während der Untersuchung in Text-, Tabellen- und Bildform gemacht hat. Sie stellen die vorbereitenden Bausteine für die Auswertung des Forschungsvorhabens durch den wissenschaftlichen Betreuer Dr. Beat Kneubuehl dar.

9.1 Gebüsch

Das Gebüsch wurde durch Buchenstäbe im Durchmesser von 6 mm dargestellt und beschossen. Die zu erwartenden Ablenkungen stuften wir auf Grund der Stoßgesetze als gering ein. Die Ergebnisse bestätigten die Richtigkeit dieser Annahme. Folgende pauschale Beurteilungen können durch die Ergebnisse belegt werden:

- Vergrößert sich der Durchmesser und die Masse der Geschosse, so verringert sich die Ablenkung.
- Sinkt die Zielgeschwindigkeit der Geschosse, nimmt die Ablenkung zu.
- Nach Berührung mit dem Gebüsch ist der Ablenkwinkel zur Höhe meist größer als der zur Seite.

Es 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.



Die Ablenkwinkel haben bei einer Schussentfernung von 50 m kaliberabhängig einen maximalen Wert von:

Kaliber .243 Win.: 1,15°

Kaliber .308 Win.: 0,58°

Kaliber 9,3x74 R: 0,41°

Diese Werte wurden mit Kategorie 1 und 2 erzielt. Bei Treffern der Kategorie 3 (über 50% des Stabquerschnittes waren zerstört) kam es kaum zu nennenswerten Ablenkungen. Die Treffer lagen meist im Bereich des Koordinatenursprunges.

Auch beim Schießen mit dem Geschoss „E“ (siehe Bild rechts) gruppierten sich die Treffer auffällig im Bereich des Nullpunktes. Als Erklärung kann hier die Form des Geschosses herangezogen werden. Alle Geschosse mit einer ogivalen Geschosskopfform neigten zur Ablenkung im 1. und 3. Quadranten.



Als Ausnahme kann hier das Geschoss „A“ genannt werden, bei dem eine fast ausschließlich senkrechte Ablenkung zu verzeichnen war.

Wir stellten fest, dass jedes Geschoss für sich gleichmäßig reagierte und die Treffer nach der Ablenkung oft sehr eng beieinander lagen. Materialabhängige Unterschiede waren nicht auffällig, wohl aber formabhängige.

Um bei der Ermittlung der Geschossmassen nach dem Aufprall Fertigungstoleranzen und den Abrieb im Lauf vernachlässigen zu können, wurde durch Dr. Kneubuehl die **1% Schranke** eingeführt. Das bedeutete, dass bei keinem Geschoss durch den Kontakt mit dem Beschussmedium „Gebüsch“ ein Masseverlust festgestellt werden konnte. Alle Geschosse verhielten demzufolge massestabil.

9.2 Baumstamm

Das Beschussmedium „Baumstamm“ war sehr aufwändig zu schießen, obwohl schon im Vorfeld zwei Veränderungen in der Versuchsplanung vorgenommen wurden. Dazu gehörten:

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

Trotzdem blieb das größte Problem immer das Treffen des Baumstammes unter einem vorgegebenen Winkel. Die Auftreffwinkel von 10° und 15° zu erreichen, unter Berücksichtigung der Eigenpräzision des Beschusslaufes und der Streuung des Lasers auf eine Entfernung von 50 m war oft eine Herausforderung. Um das an einem Beispiel zu erläutern:

Um einen Auftreffwinkel von 10° zu realisieren, durfte der Baumstamm vom Geschoss nur bis ca. 2 mm Tiefe an der Rinde getroffen werden. Für einen Auftreffwinkel von $2,5^\circ$ und 5° wären Treffer an der Rinde nur bis zu einer Tiefe von 0,2 mm bis 0,7 mm notwendig gewesen. Aus diesem Grund wurde auf diese kleinen Winkel verzichtet. Bei einem Streukreis des Laufes von etwa einem Zentimeter und dem Durchmesser des Laserpunktes auf Zielentfernung von ebenfalls etwas mehr als einem Zentimeter war das punktgenaue Treffen nur mit erhöhter Schussanzahl möglich. Selbst bei genauester Ausrichtung des Lasers am Baumstamm kam dann noch eine weitere Komponente hinzu - die natürlich gewachsene Oberfläche (Rinde) des Baumes. Auch sie begünstigte oder verhinderte einen vorher genau definierten Treffpunkt.

Spuren/ Aufrisse am Baumstamm

Die am Baumstamm verursachten Beschädigungen lassen bedingt einen Rückschluss auf den möglichen Auftreffwinkel zu. Der Geschossaufbau und das verwendete Material spielen bei den Winkeln bis 25° eine eher untergeordnete Rolle. Anhand folgender Beispiel soll dies verdeutlicht werden:



Auftreffwinkel 10°



Auftreffwinkel 15°



Auftreffwinkel 25°



Auftreffwinkel 45°

Das Geschoss „C“ wurde mittels Hammer und Stechbeitel freigelegt.



Auftreffwinkel 90°

Das Geschoss „F“ konnte durch vorsichtiges Aufbrechen der herausgeschnittenen Stammscheibe sichtbar gemacht werden.



**Auftreffwinkel 90°
Das Geschoss „A“ hinterließ einen deutlichen Bleiabrieb im Holz.**

Die Geschosse verhielten sich wie folgt:

Kaliber .243 Win. - Entfernung 50 m:

- Geschoss „A“: ab 45° - kein Durchschuss (ab 15° weniger als 50% Restmasse)
- Geschoss „B“: alle durchgeschossen
- Geschoss „C“: ab 45° - kein Durchschuss (weniger als 50% Restmasse)
- Geschoss „D“: ab 90° - kein Durchschuss
- Geschoss „E“: ab 90° - vereinzelt kein Durchschuss
- Geschoss „F“: ab 45° - vereinzelt kein Durchschuss

Kaliber .308 Win. - Entfernung 25 m:

- Geschoss „A“: ab 25° - kein Durchschuss (ab 25° weniger als 50% Restmasse)
- Geschoss „B“: alle durchgeschossen
- Geschoss „C“: ab 45° - vereinzelt kein Durchschuss
- Geschoss „D“: alle durchgeschossen
- Geschoss „E“: alle durchgeschossen
- Geschoss „F“: alle durchgeschossen

Kaliber .308 Win. - Entfernung 50 m:

Geschoss „A“: ab 25° - kein Durchschuss (ab 15° weniger als 50% Restmasse)
 Geschoss „B“: alle durchgeschossen
 Geschoss „C“: ab 45° - vereinzelt kein Durchschuss
 Geschoss „D“: alle durchgeschossen
 Geschoss „E“: ab 90° - vereinzelt kein Durchschuss
 Geschoss „F“: alle durchgeschossen

Kaliber .308 Win. - Entfernung 100 m:

Geschoss „A“: ab 25° - kein Durchschuss (ab 25° weniger als 50% Restmasse)
 Geschoss „B“: alle durchgeschossen
 Geschoss „C“: ab 90° - vereinzelt kein Durchschuss
 Geschoss „D“: alle durchgeschossen
 Geschoss „E“: ab 45° - vereinzelt kein Durchschuss
 Geschoss „F“: ab 90° - kein Durchschuss

Kaliber 9,3x74 R - Entfernung 50 m:

Geschoss „A“: nicht geprüft
 Geschoss „B“: alle durchgeschossen
 Geschoss „C“: nicht geprüft
 Geschoss „D“: nicht geprüft
 Geschoss „E“: ab 90° - vereinzelt kein Durchschuss
 Geschoss „F“: nicht geprüft

Es gab keinen Durchschuss bei Baumstämmen mit einem Durchmesser größer als 300 mm und einem Auftreffwinkel von 90°.

Geschossmassen

Beim Beschuss „Baumstamm“ wurde erstmalig die Festlegung zum Ansatz gebracht, dass ein Versuch beendet wird, wenn die Geschossmasse dauerhaft unter 50% der Ausgangsmasse sinkt.

Kaliber .243 Win. - 50 m - (Geschossmassen in %)						
Auftreffwinkel	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
10°	88,7	72,3	94,7	98,3	97,9	92,4
15°	29,9	61,4	74,4	97,0	88,9	89,4
25°	33,7	63,3	64,9	99,9	81,1	98,8
45°	kein Durchschuss	67,6	67,6	94,4	72,0	95,3
90°	kein Durchschuss	66,4	kein Durchschuss	kein Durchschuss	72,2	kein Durchschuss

Kaliber .308 Win. - 25 m - (Geschossmassen in %)						
Auftreffwinkel	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
10°	93,7	90,0	100,0	99,2	99,9	98,0
15°	46,1	62,7	97,7	95,3	84,6	97,4
25°	23,4	57,7	82,7	93,4	74,4	98,7
45°		59,7	80,1	91,6	73,2	99,2
90°		69,4	83,6	99,4	73,1	99,3

Kaliber .308 Win. - 50 m - (Geschossmassen in %)						
Auftreffwinkel	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
10°	95,2	72,5	100	100	99,9	99,7
15°	75	55,1	97,5	95,4	76,7	99,1
25°	20,7	57	88,1	84	73,1	98,6
45°		59,2	79,9	99,4	73,6	98,7
90°		66,4	86,5	99,3	72,7	99,4

Kaliber .308 Win. - 100 m - (Geschossmassen in %)						
Auftreffwinkel	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
10°	98,5	89,6	100,0	99,8	99,9	99,5
15°	72,7	62,2	97,7	99,1	88,9	99,3
25°	41,5	58,4	90,7	98,8	74,4	99,3
45°		60,4	82,9	99,2	70,6	99,2
90°		61,0	90,0	99,1	kein Durchschuss	kein Durchschuss

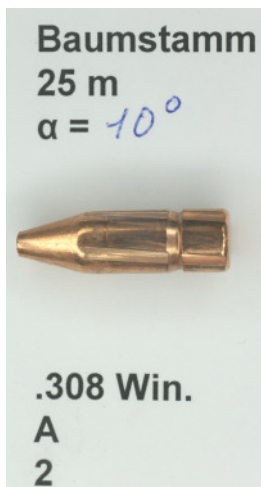
Kaliber 9,3x74 R- 50 m - (Geschossmassen in %)						
Auftreffwinkel	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
10°		95,5				99,5
15°		82,1				99,7
25°		74,3				98,3
45°		74,2				99,6
90°		76,3				99,6

Geschoss „A“ wurde auf Grund seines mit dem Schusswinkel zunehmenden Materialverlustes nur bis 25° geschossen. Geschoss „B“ gab auch Material ab, aber nur bis zu einer Restmasse von ca. 65 %. Konstruktiv wird durch die Teilung des Geschosskernes und einem Steg zwischen beiden dieser Masseerhalt erreicht. Durch den Einsatz eines „gebondeten“ Geschosskernes ist der Verlust an Masse nach dem Auftreffen auf den Baumstamm bei Geschoss „C“ überschaubar. Die Geschosse „D“ und „F“ waren äußerst massestabil. Das Geschoss „E“ war das Geschoss mit dem größten Penetrationsvermögen, da es nach dem Aufprall häufig als Zylinder weiterflog.

Geschossdeformationen

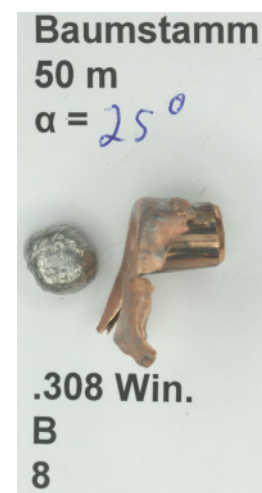
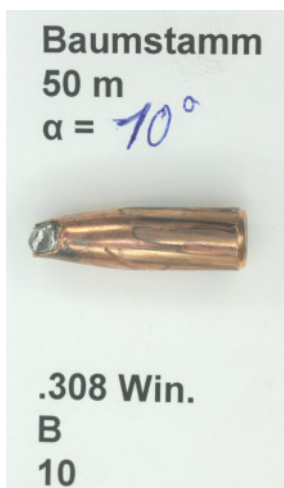
Die Geschossdeformationen ließen in vielen Fällen Rückschlüsse auf einen möglichen Auftreffwinkel zu. Es war erstaunlich, in welchem Maße sich die Geschosse, bis auf einige wenige Ausnahmen, nach dem Aufprall in der Deformation ähnelten. Damit könnten bei Untersuchungen zu Unfallhergängen wichtige Indizien gewonnen werden, aus welcher Richtung ein möglicher Schuss abgegeben worden ist. Von allen Geschossen wurden beispielhaft im Kaliber .308 Win. für jeden Winkel ausgewählt:

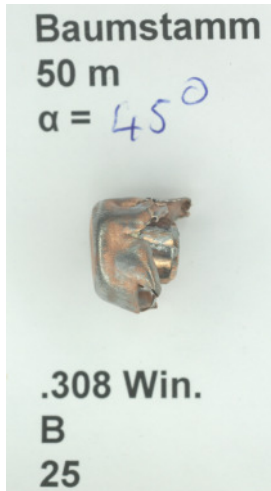
Geschoss „A“:



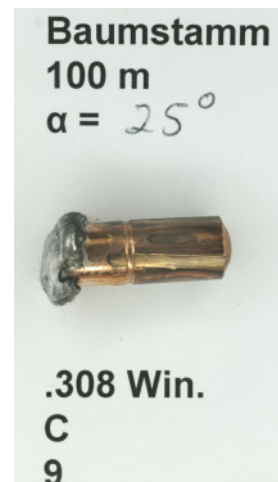
Da eine vollständige Zerlegung schon bei 15° bzw. 25° erreicht wurde, gibt es keine Beispiele für größere Winkel.

Geschoss „B“:





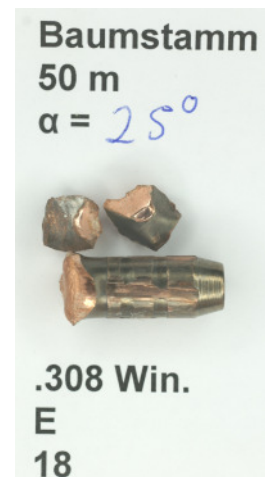
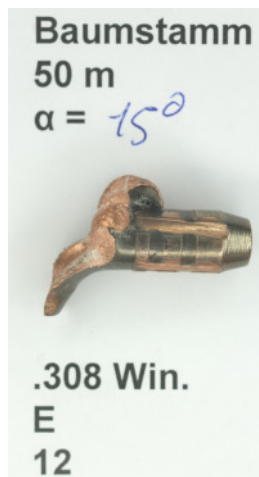
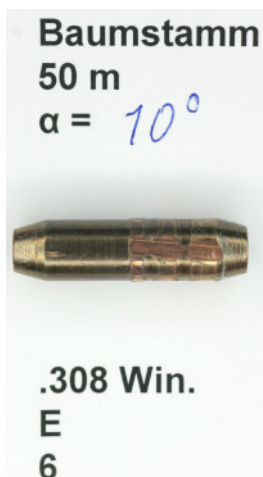
Geschoss „C“:



Geschoss „D“:



Geschoss „E“:



Baumstamm
50 m
 $\alpha = 45^\circ$



.308 Win.
E
22

Baumstamm
50 m
 $\alpha = 90^\circ$



.308 Win.
E
26

Geschoss „F“:

Baumstamm
100 m
 $\alpha = 10^\circ$



.308 Win.
F
13

Baumstamm
100 m
 $\alpha = 15^\circ$



.308 Win.
F
5

Baumstamm
100 m
 $\alpha = 25^\circ$



.308 Win.
F
14

Baumstamm
100 m
 $\alpha = 45^\circ$



.308 Win.
F
19

Baumstamm
50 m
 $\alpha = 90^\circ$

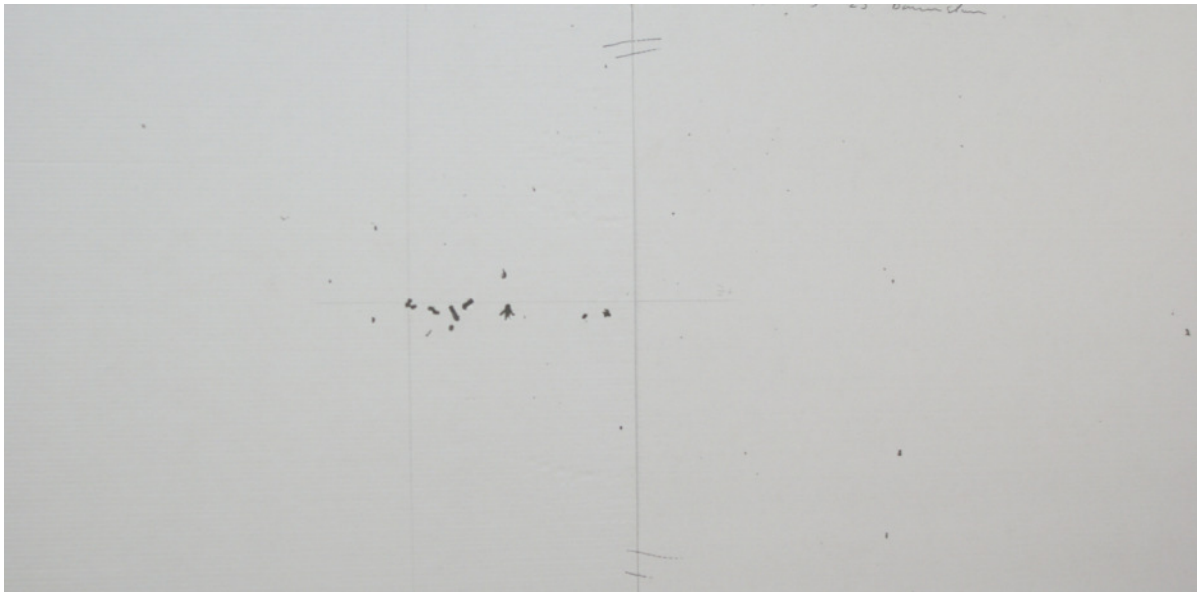


.308 Win.
F
25

Beim Versuch „Baumstamm“ übte das Beschussmedium auf Grund seiner Natürlichkeit spürbaren Einfluss auf die auftreffenden Geschosse aus. Bei der Differenzierung von bleihaltigen und bleifreien Geschossen muss erwähnt werden, dass form- und konstruktionsabhängige Unterschiede einen großen Einfluss auf das Ablenkverhalten hatten. Materialunterschiede ordnen sich in den Bereich Konstruktion ein.

Vergleich von Indikatorwänden

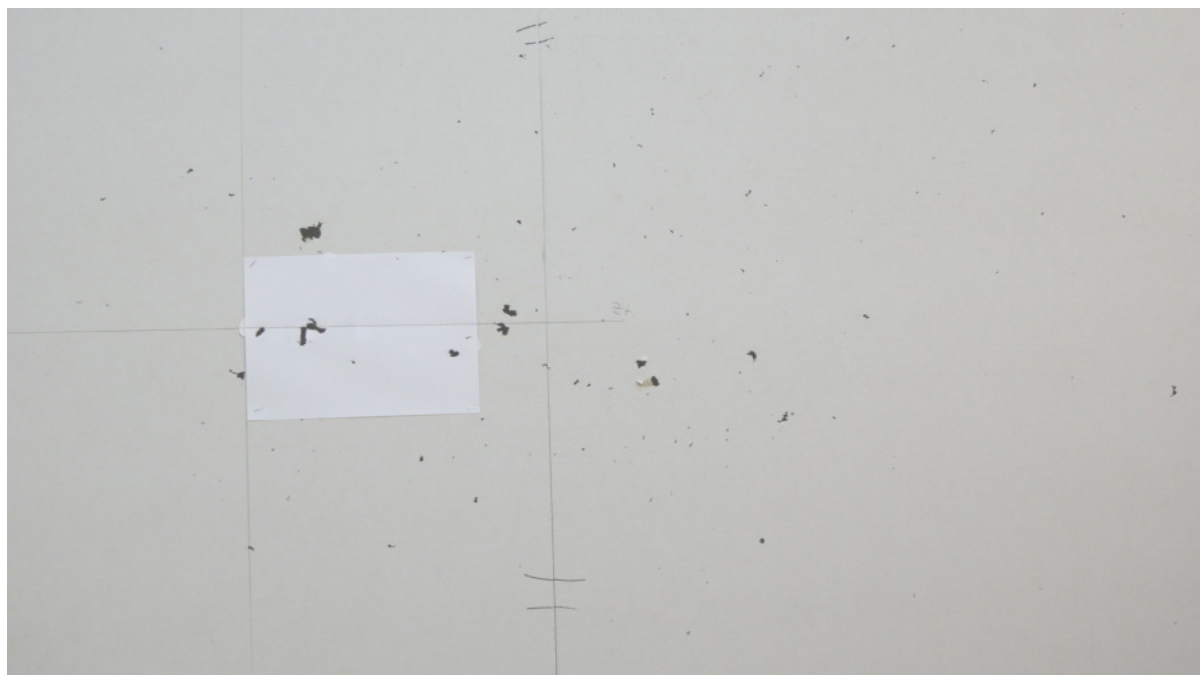
- Kaliber .308 Win. - Geschoss „A“ - Entfernung: 25 m



- Kaliber .308 Win. - Geschoss „A“ - Entfernung: 50 m



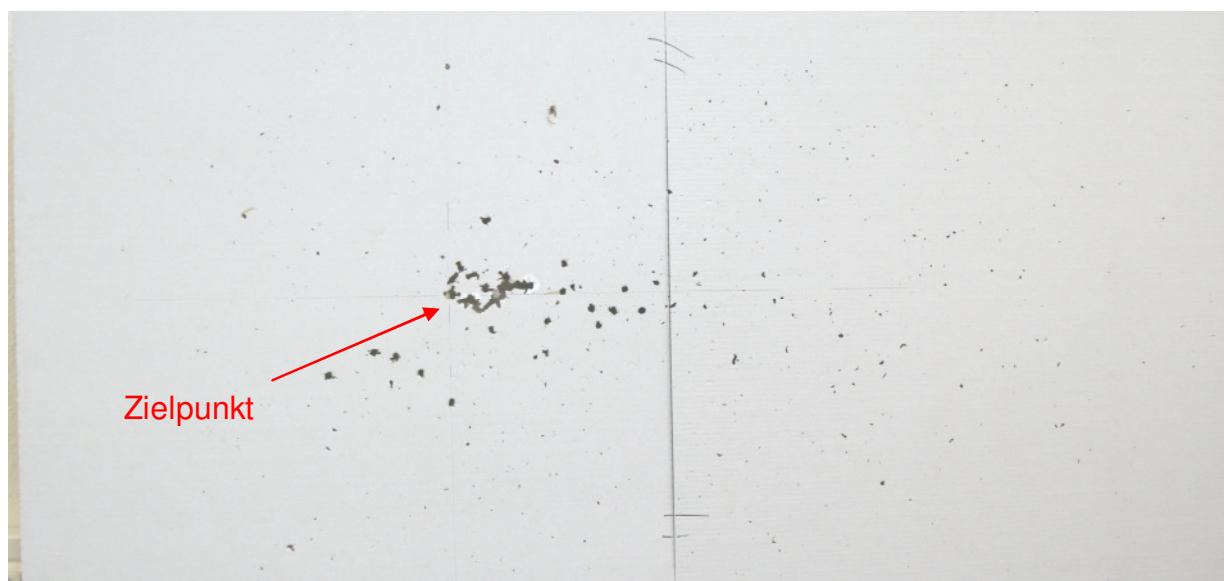
- Kaliber .308 Win. - Geschoss „A“ - Entfernung: 100 m



- Kaliber .308 Win. - Geschoss „B“ - Entfernung: 25 m



- Kaliber .308 Win. - Geschoss „B“ - Entfernung: 50 m



- Kaliber .308 Win. - Geschoss „B“ - Entfernung: 100 m



- Kaliber .308 Win. - Geschoss „C“ - Entfernung: 25 m



- Kaliber .308 Win. - Geschoss „C“ - Entfernung: 50 m



- Kaliber .308 Win. - Geschoss „C“ - Entfernung: 100 m



9.3 Rückpraller

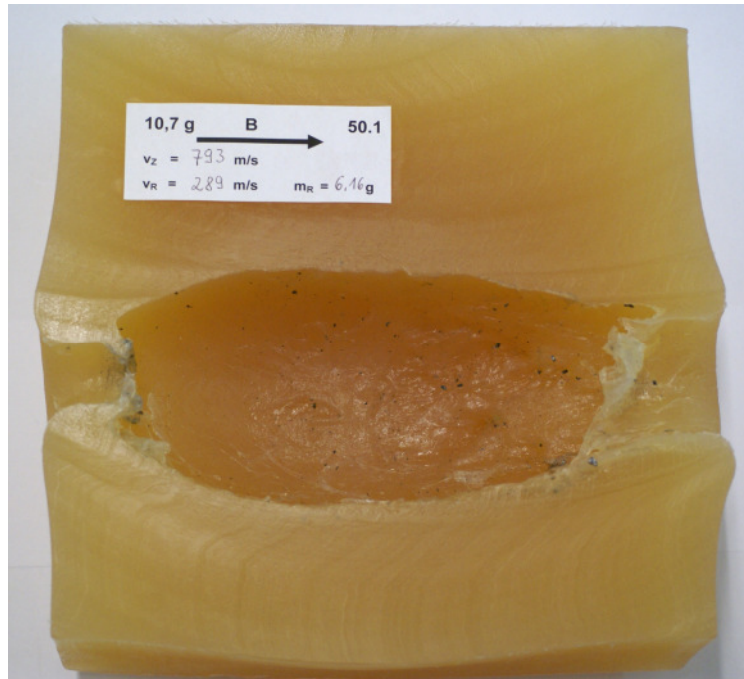
Um die gleich bleibende Beschaffenheit der Seifenblöcke für die Untersuchung zu überprüfen und zu gewährleisten, wird vor dem Beschuss mit einem Luftgewehr (mit einer Mündungsgeschwindigkeit von 300 m/s) aus Nahdistanz auf den Block geschossen. Die gemessene Eindringtiefe soll sich nach Angaben von Dr. Kneubuehl in einem Bereich von 90 mm bis 100 mm bewegen. In unseren gesamten Versuchen wurden Tiefen von 88 mm bis 97 mm erreicht. Das spricht für eine gute Konsistenz aller Seifenblöcke. Im Anhang sind die gemessenen Werte in Tabellenform ersichtlich.

Die vom Projektrat geforderte Energieermittlung der Geschosse nach Austritt aus der Seife ergab folgende durchschnittlichen Werte:

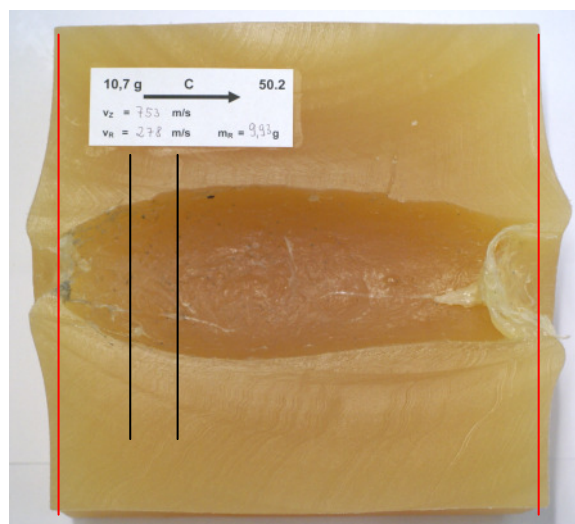
Geschoss	Restmasse	Restgeschwindigkeit	Restenergie
	(%)	(m/s)	(J)
„A“	58,2	136	59,3
„B“	57,5	292	261,5
„C“	91,0	208	250,8
„D“	99,6	367	720,2
„E“	72,6	411	654,0
„F“	99,2	217	259,5

Die Restenergie wurde nach einem Verfahren ermittelt, welches die DEVA schon in vorangegangenen Forschungsvorhaben angewandt hat. Es basiert auf folgendem Ablauf:

1. Der beschossene Seifenblock wurde mittig im Schusskanal aufgeschnitten, beschriftet und fotografiert.

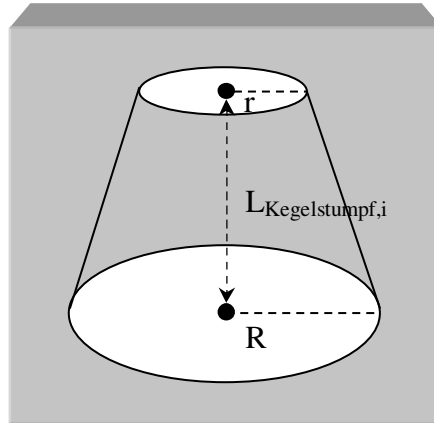


2. Zur Auswertung wurde der Anfang und das Ende definiert, weil durch den Ein- und Austritt des Geschosses Aufbauchungen in diesen Bereichen entstanden (siehe Bild - rote Linien).



3. Das Volumen wurde mit einer Bildbearbeitungssoftware vermessen. Dies geschah durch Einteilung des Hohlraumes in einzelne, dünne Kegelstumpfab-schnitte (schwarze Linien), deren Volumen sich durch die nachfolgende ma-thematische Beziehung berechnet:

$$V_{Kegelstumpf,i} = \frac{L_{Kegelstumpf,i} \cdot \pi}{3} (r^2 + rR + R^2) \quad [cm^3]$$



Der durch den Beschuss entstandene Hohlraum berechnet sich somit durch Aufsummierung der Volumina der einzelnen Kegelstümpfe, die zusammen den Schusskanal bilden.

$$V_{Schusskanal} = \sum_{i=1}^n V_{Kegelstumpf(i)} \quad [cm^3]$$

Das abgefeuerte Geschoss mit der Masse m erreicht den Seifenblock mit der Zielgeschwindigkeit v_{Ziel} und der daraus resultierenden Zielenergie E_{Ziel} , die sich berechnet nach:

$$E_{Ziel} = \frac{1}{2000} m \cdot v_{Ziel}^2 \quad [J]$$

Analog dazu berechnet sich die Restenergie des Geschosses E_{Rest} mit der Restmasse m_R und der Geschwindigkeit v_{Rest} beim Austritt aus dem Seifenblock zu:

$$E_{Rest} = \frac{1}{2000} m_R v_{Rest}^2 \quad [J]$$

Die an den Seifenblock abgegebene Energie E_{ab} ergibt sich aus:

$$E_{ab} = E_{Ziel} - E_{Rest} \quad [J]$$

Die gesamten Protokolle befinden sich im Anhang.

9.3.1 Rückpraller am Baumstamm

Die Vorgabe für diesen Versuch lautete, dass das Geschoss nach dem Durchdringen des Seifenblockes möglichst senkrecht auf den Baumstamm auftreffen sollte, um dann einen Rückpraller zu simulieren. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Baumstamm			
Geschoss	Ausgangsmasse [g]	Geschossrestmasse [g]	Rückprallweite [m]
„A“	10,7	Steckschuss	0,00
„B“	10,7	Steckschuss	0,00
„C“	10,7	Steckschuss	0,00
„D“	10,7	Steckschuss	0,00
„E“	10,7	Steckschuss	0,00
„F“	11,0	Steckschuss	0,00

Nach der Durchführung dieser Versuchseinheit stellten wir fest, dass:

- kein Geschoss am Baumstamm zurückgeprallt ist und
- alle Projektile oder ihre Reste im Baumstamm stecken geblieben sind.

9.3.2 Rückpraller am Stein

Im Gegensatz zum „Baumstamm“ konnten hier Rückpraller festgestellt werden. Allerdings waren die Energien und Rückprallweiten nach dem Aufprall sehr gering. In tabellarischer Form auch hier die Ergebnisse:

Stein				
Geschoss	Ausgangsmasse [g]	Geschossrestmasse		Rückprallweite [m]
		[g]	% der Ausgangsmasse	
„A“	10,7	2,13 - 4,76	44,49	0,2 (vor Stein am Boden)
„B“	10,7	2,19 - 5,81	54,30	1,00 (in Indexwand)
„C“	10,7	5,58 - 7,84	73,27	1,30 (am Boden bis max.)
„D“	10,7	10,00 - 10,68	99,81	1,00 - 1,87
„E“	10,7	6,40 - 7,82	73,08	1,87 - 6,93
„F“	11,0	10,44 - 10,92	99,27	1,52 - 12,38

Diagramm zu Geschossrestmassen:

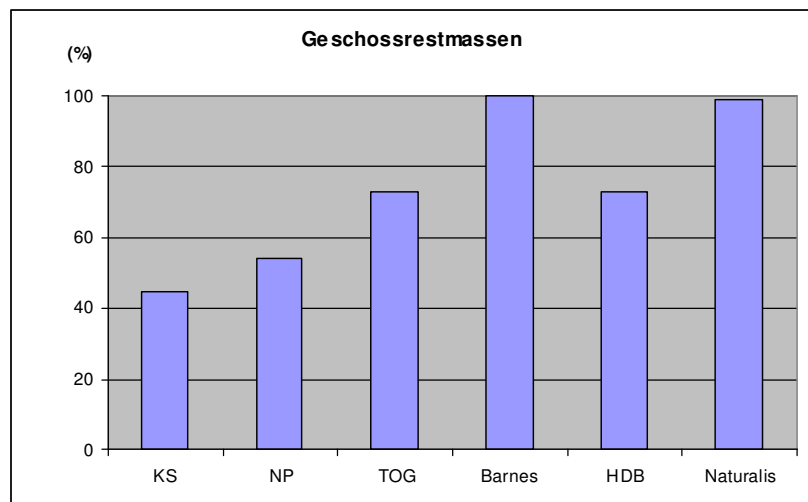
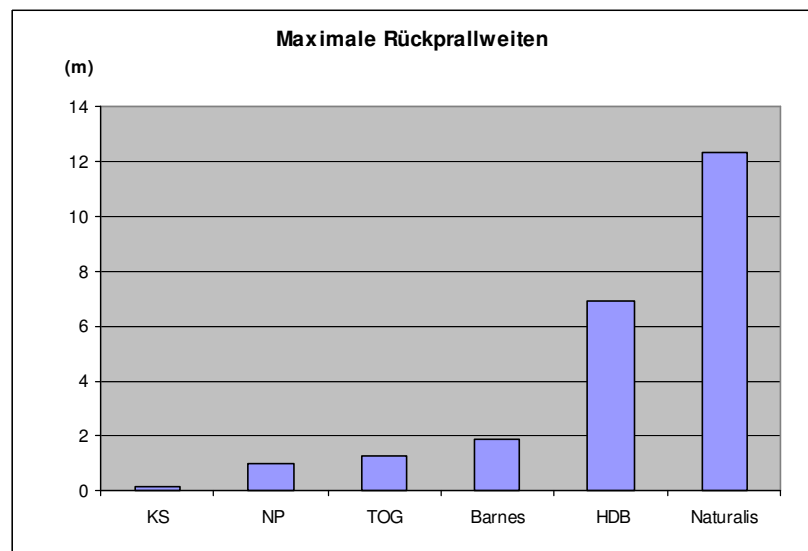


Diagramm zu maximalen Rückprallweiten:



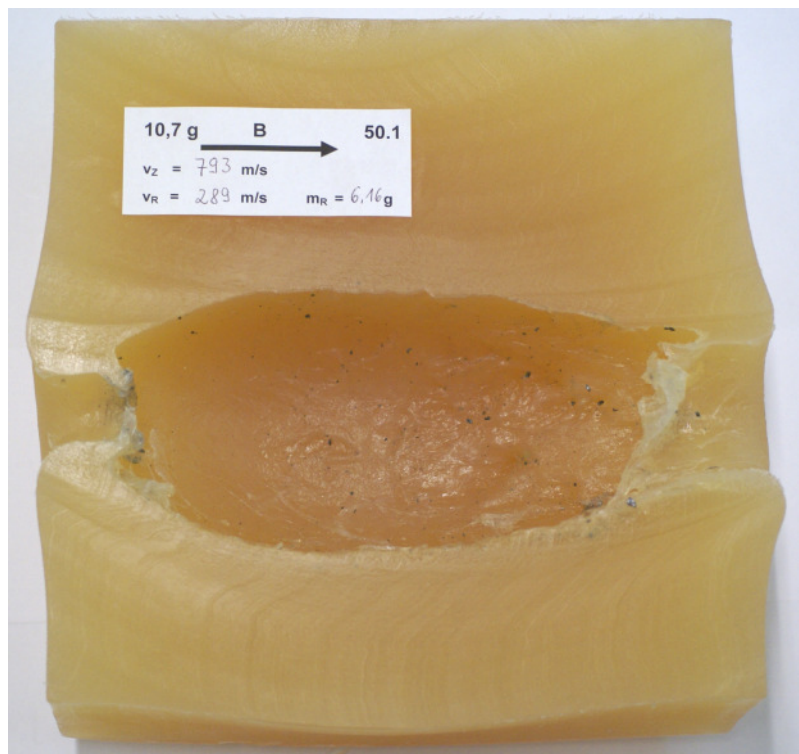
Bilder der Geschosskavernen

Der Einschuss ist immer auf der linken Seite, der Geschossaustritt rechts.

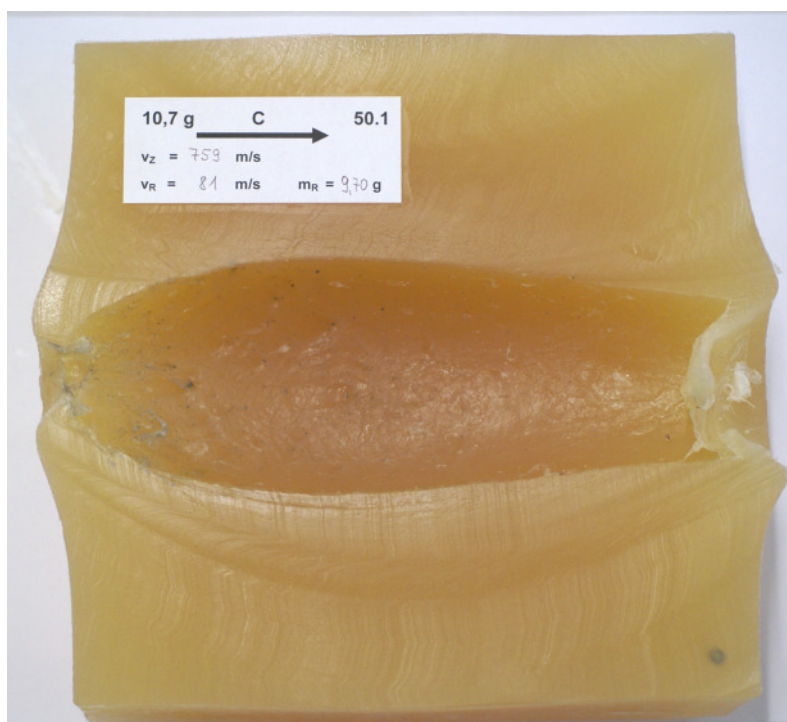
Geschoss „A“:



Geschoss „B“:



Geschoss „C“:

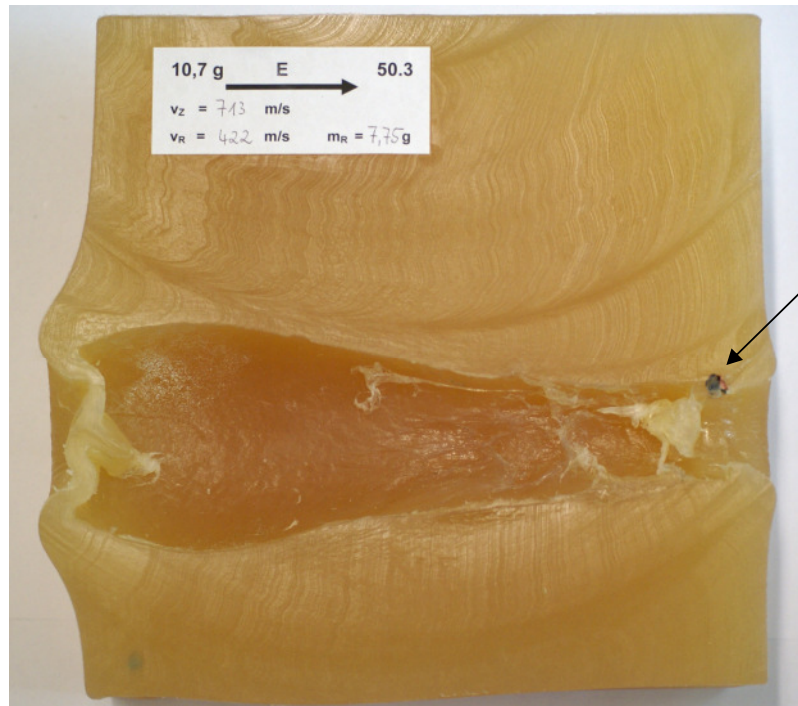


Geschoss „D“:



Das hinein gesaugte Seifenmaterial auf der rechten Seite ist eine Folge des Unterdruckes beim Geschossdurchgang.

Geschoss „E“:



Der Pfeil zeigt auf ein Sekundärgeschoss.

Geschoss „F“:



Alle Aufnahmen sind etwa im selben Maßstab. Deutlich sind die Unterschiede in der Größe der Wundkavernen ersichtlich und damit auch die Energieabgabe in Abhängigkeit zur Auftreffenergie der jeweiligen Geschosse.

Nachfolgend sind die Geschossreste nach dem Aufprall auf den Stein anhand eines Beispielen pro Geschoss aufgeführt.

Geschoss „A“:



Geschoss „B“:



Geschoss „C“:



Geschoss „D“:



Geschoss „E“:



Geschoss „F“:



9.4 Harter Boden

Wie in den gedanklichen Vorbereitungen schon erwartet, stellte sich das Beschussmedium „Harter Boden“ oder „Naturweg“ als das am schwierigsten zu beschießende Medium heraus. Neben der logistischen Herausforderung, die gesamte Beschuss-einrichtung der DEVA nach Meppen zu schaffen, bestätigten sich die vermuteten Probleme bei der Geschwindigkeitserfassung der Geschosse nach dem Aufprall und die Suche nach den Geschossresten. Auch das eingesetzte Doppler-Radar war nicht immer in der Lage, das abgeprallte Geschoss zu verfolgen. Deshalb sind auch einige Messungen ohne Angabe der Abgangsgeschwindigkeit in den Protokollen zu finden. Hier ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass die Vielzahl der aufgewirbelten Gesteinsbrocken die Verfolgung des Restkörpers selbst für den erfahrenen Bediener des Radars unmöglich machte.

An dieser Stelle möchten wir uns nochmals für die sehr gute Zusammenarbeit mit der Wehrtechnischen Dienststelle der Bundeswehr in Meppen bedanken.

Es war aus heutiger Sicht eine kluge Entscheidung von unserem Auftraggeber dem Bundesministerium für Landwirtschaft Ernährung und Verbraucherschutz sich in einem Amtshilfeersuchen an die Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition in Meppen zu wenden. Diesem wurde letztendlich auch stattgegeben.

Es wäre mit unserer Lichtschrankentechnik wesentlich schwieriger und vor allem aufwändiger gewesen, in so kurzem Zeitraum von zwei Wochen ein komplettes Beschussmedium zu bearbeiten. Ein weiterer Vorteil in Meppen war die Verfügbarkeit der RSA mit keinerlei räumlichen Einschränkungen.

Wir verzeichneten in Meppen die größten Ablagen auf kürzeste Entfernungen, so dass der Geschossfang mehrfach umgebaut werden musste, um die Geschossreste überhaupt fangen zu können. Häufig waren die abgeprallten Reste zwar noch auf der Indikatorwand zu finden, aber auf Grund des großen Ablenkwinkels trafen diese nicht mehr die Kisten. Durch einen Deckenaufbau (12 Decken, die in doppelter Lage aufgehängt wurden) konnte dieses Problem meist gelöst werden. Gute Penetratoren, wie die Geschosse „D“ und „E“ und die Versuche im Kaliber 9,3 x 74 R verlangten einen anderen Aufbau. Hier mussten zuerst die Wattekästen hinter der Indikatorwand aufgebaut werden, um so viel wie möglich Energie abzubauen, um sie danach mit den Decken vollständig abzubremesen.

Ergebnisse im Kaliber .243 Win.

Geschoss „A“: Die Restmasse der größten Geschossreste hatten schon bei einem Winkel von 2,5° weniger als 50%. Trotzdem haben wir jeweils 3 Wertungsschüsse auch im Winkel von 5° und 10°, um Zufälligkeiten auszuschließen. Aber auch hier kein anderes Ergebnis.

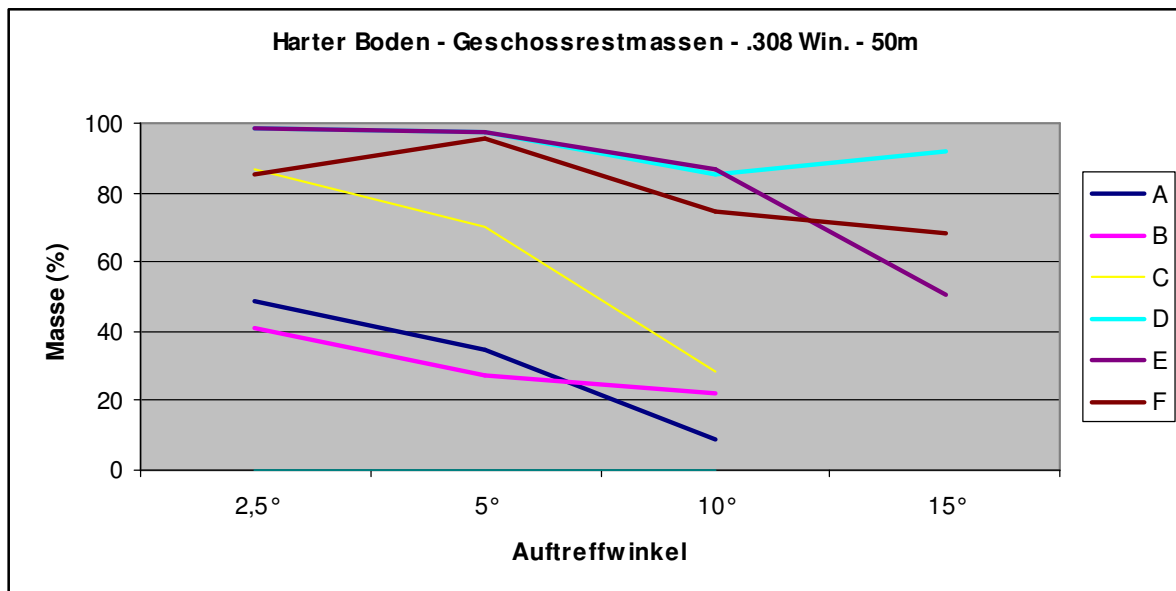
Geschoss „C“: Mit steigendem Auftreffwinkel nahm die Geschossrestmasse stetig ab. Trotz gebondetem Kern betrug die durchschnittliche Geschossrestmasse bei einem Auftreffwinkel von 2,5° schon weniger als 50%. Auch hier haben wir bis 10° weiter geschossen

Geschoss „F“: Mit steigendem Winkel wurde die Geschossrestmasse stetig geringer, aber blieb immer über 50%.

Ergebnisse im Kaliber .308 Win.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Ergebnisbetrachtung ist der Geschwindigkeitsverlauf und die Geschossmasse in Abhängigkeit des Auftreffwinkels.

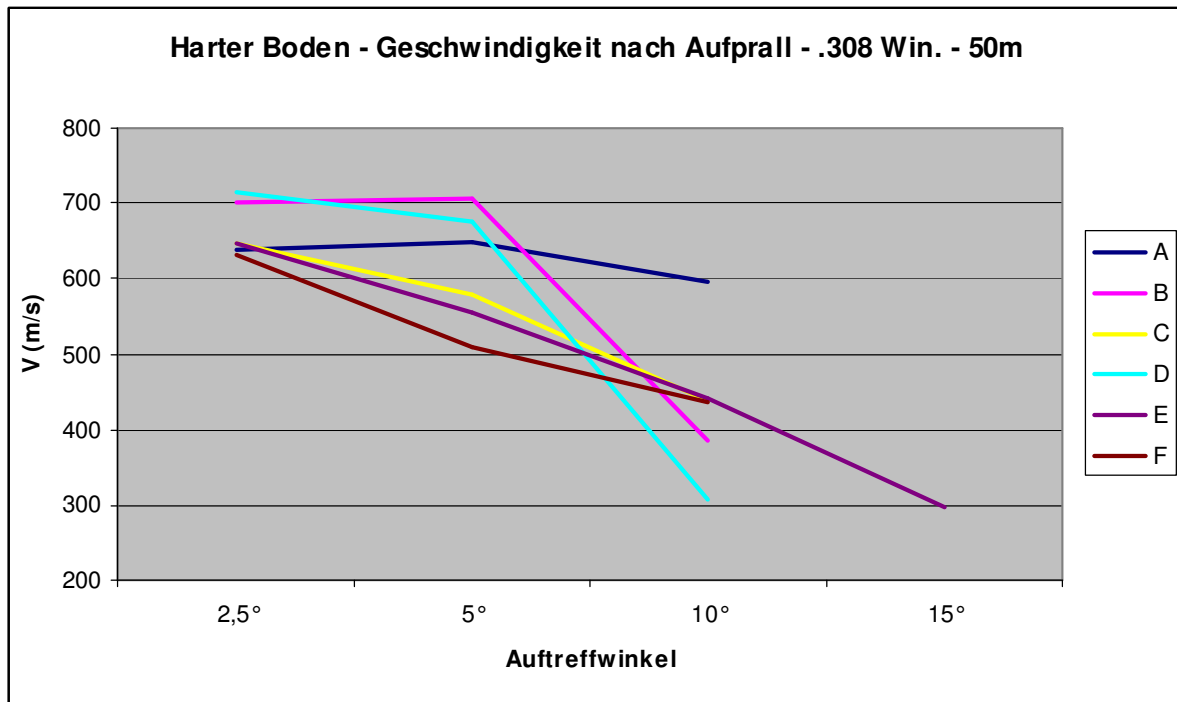
Geschoss „A“ und „B“ hatten schon bei einem Auftreffwinkel von 2,5° weniger als die Hälfte der Geschossmasse nach dem Aufprall. Lediglich das gebondete Geschoss „C“ kam in den Bereich der bleifreien Geschosse „D“ bis „F“. Letztgenannte verhielten sich relativ massestabil nach dem Aufprall. Ein leichter Abfall bei zunehmendem Auftreffwinkel war zu verzeichnen. Hingegen bewegten sich die Restmassen der bleihaltigen Geschosse unter gleichen Bedingungen stetig gegen 0. Dies wird durch die Darstellung im folgenden Diagramm deutlich.



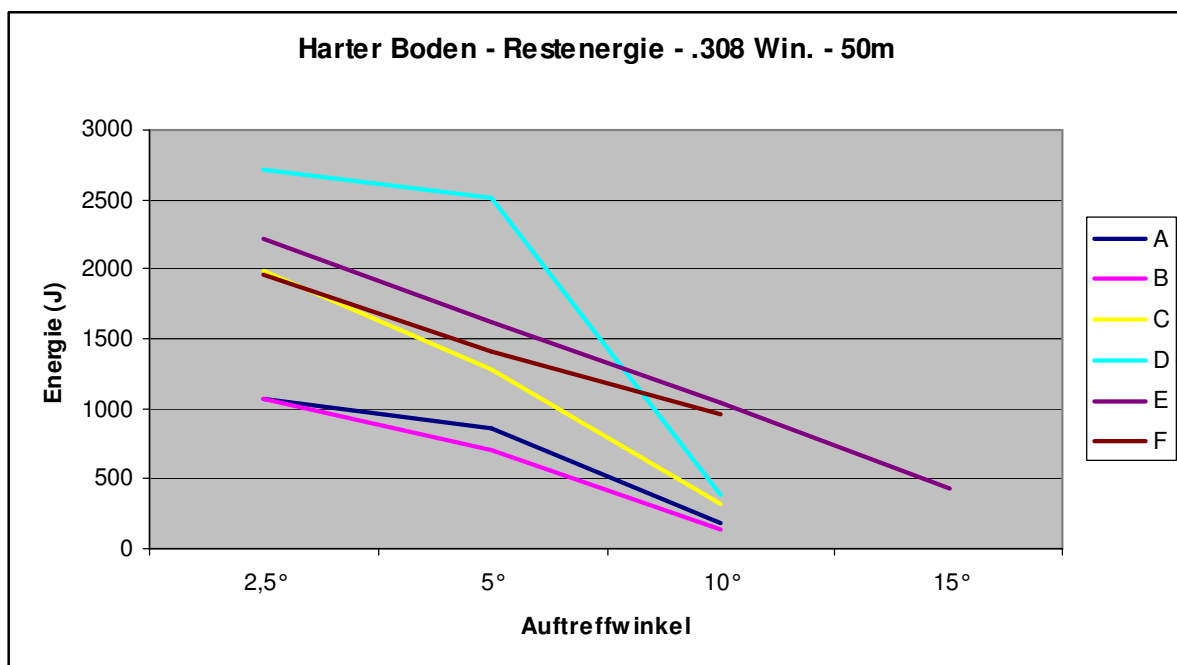
Die Geschwindigkeiten verhalten sich in Abhängigkeit der Geschossmassen. So ist es nachvollziehbar, dass nach dem Aufprall den physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Stoßes folgend, die Geschwindigkeit mit abnehmender Masse (Splitter) zunimmt. Deutlich wird dies bei den Geschossen „A“ und „B“, die im Durchschnitt bei dem Auftreffwinkel von 5° eine größere Restgeschwindigkeit haben als bei einem Auftreffwinkel von 2,5°.

Auffallend ist auch, dass es außer beim Geschoss „E“, trotz eingesetztem Radar nicht gelang, eine Restgeschwindigkeit aller anderen Geschosse bei 15° zu ermitteln. Hier wurden während des Aufpralles außerordentlich viele Gesteinsbrocken mit beschleunigt. Nach dem Schuss befand sich eine Wolke aus feinstem Staub über der Aufprallstelle. Die Indikatorwand war oft mit kleinen Gesteinseinschlägen übersät. Auch das erschwerte das spätere Auffinden der Geschosse.

Im folgenden Diagramm sind Geschwindigkeiten aller Geschosse dargestellt.



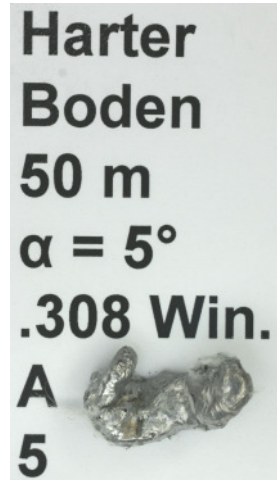
Die sich daraus ergebenden Energiewerte verhalten sich entsprechend der Geschossrestmasse und Geschwindigkeit.



Auffällig ist, bis auf Ausnahme des Geschosses „D“, der annähernd gleich bleibende, konstante Abfall der Energiewerte mit der Vergrößerung des Auftreffwinkels.

Nachfolgend sollen beispielhaft ausgewählte Geschossrestkörper den Zusammenhang „Restmasse - Geschwindigkeit nach dem Aufprall - Restenergie“ deutlich machen.

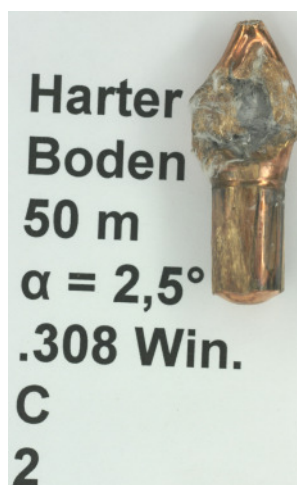
Geschoss „A“:



Geschoss „B“:



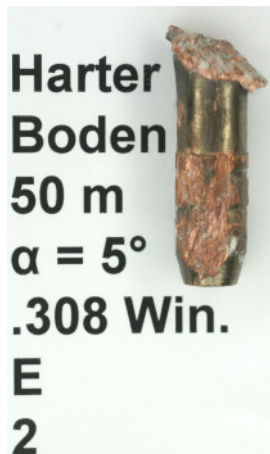
Geschoss „C“:



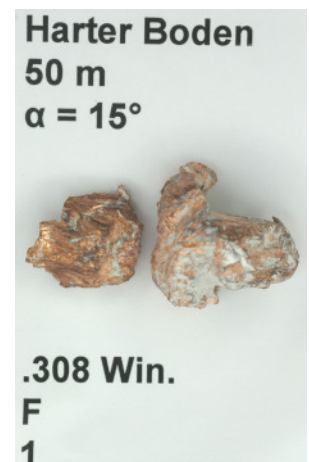
Geschoss „D“:



Geschoss „E“:



Geschoss F:



Ergebnisse im Kaliber 9,3x74 R

Tendenziell bestätigen die Ergebnisse im Kaliber 9,3x74 R die vorangegangenen im Beschussmedium „Harter Boden“. In tabellarischer Form sind diese nachfolgend dargestellt.

Auftreffwinkel zur Geschossmasse in %:

Auftreffwinkel	Geschosse		
	„B“	„D“	„E“
2,5°	72,7	98,7	98,3
5°	67,4	97,8	98,3
10°	53,9	95,9	96,9
15°	46,9	97,3	83,7

Auftreffwinkel zur Abprallgeschwindigkeit in m/s:

Auftreffwinkel	Geschosse		
	„B“	„D“	„E“
2,5°	509	548	602
5°	429	504	591
10°	226	367	330
15°	304		412

Auftreffwinkel zur Restenergie in Joule:

Auftreffwinkel	Geschosse		
	„B“	„D“	„E“
2,5°	1895	2.758	2532
5°	1238	2352	2454
10°	291	1275	880
15°	539		

„Harter Boden“ beeinflusst die Ablenkung sehr stark. Die Unterschiede bei kleinen Winkeln sind gering. Bei größeren Winkeln ist die Zerlegungsbereitschaft von Geschoss „A“ und „B“ am größten.

Radarmessungen bis 300 m an den in Meppen eingesetzten Geschossen

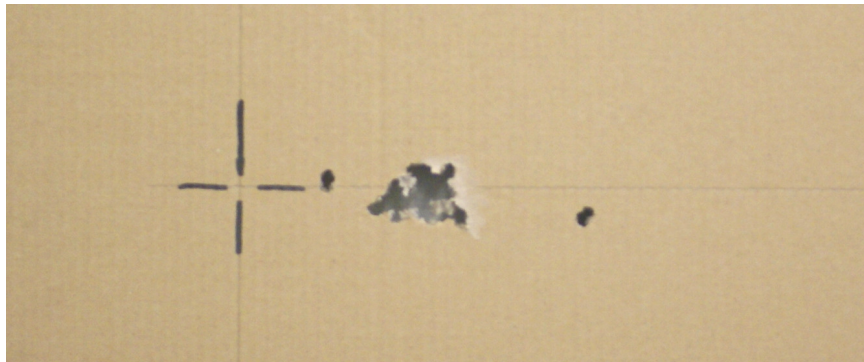
Auf Anregung des Projektrates wurden die Flugbahnen der für Meppen ausgewählten Geschosse mittels Radar erfasst und deren Geschwindigkeit in Abständen von 50 m erfasst. Die Gesamtstrecke betrug 280 m. Leider war es für diese Entfernung nicht möglich, alle Geschosse zu erfassen. Am auffälligsten verhielt sich das Geschoss „E“ im Kaliber .308 Win.. Trotz aller Bemühungen konnte das Radar diesem Geschoss nur bis zu einer Entfernung von 100 m folgen. Die Gründe sind im steilen Heckkonus zu suchen, weil die für das Radar notwendige Querschnittsfläche offensichtlich zu gering war.

Im Kaliber .243 Win. und im Kaliber 9,3x74 R fehlten jeweils 3 Geschosse. Da die Anregung des Projektrates erst während des Treffens in Meppen erfolgte, hatten wir auf Grund der bereits in unserem Institut getroffenen Vorauswahl diese nicht laboriert und auch nicht mitgenommen.

Die gesamten Messergebnisse befinden sich im Anhang.

9.5 Steinplatte

Die „Steinplatte“ ließ sich gegenüber den anderen Beschussmedien relativ leicht beschießen, da wir die Abgangsrichtung der Geschosse nicht in natürlicher Lage wählten, sondern diese um 90° nach rechts schwenkten. Dadurch musste kein aufwändiger Aufbau der Geschossfangkästen in der Höhe vorgenommen, sondern nur seitlich in Abprallrichtung aufgebaut werden. Obwohl wir die natürlich raue Seite der Granitplatten nutzten, ergaben sich meist die Ablagen in einem relativ kleinen Umkreis an der Indikatorwand. Im nachfolgenden Bild sind die Ablagen von Geschoss „A“, „B“ und „C“ im Kaliber .308 Win. bei einem Auftreffwinkel von $2,5^\circ$ und einer Entfernung von 50 m zu sehen.

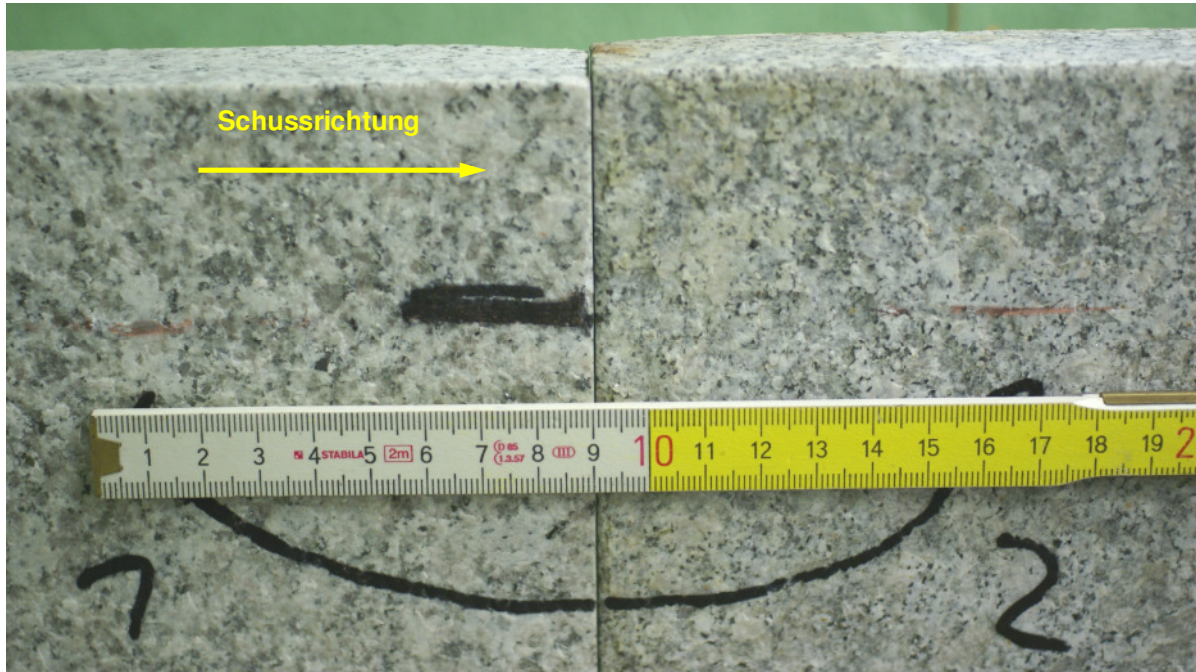


Aber auch die Geschosse „E“ und „F“ verhielten sich im Kaliber .308 Win. bei einem Auftreffwinkel von $2,5^\circ$ und einer Schussentfernung von 50 m wie die oben genannten.



Während der Versuche mit der „Steinplatte“ konnte bei einem Winkel von $2,5^\circ$ und dem Geschoss „D“ eine Doppelspur registriert werden. Das heißt, dass das auftreffende Projektil die Steinplatte zweimal hintereinander berührte. Dieses Phänomen ist bereits von Dr. Kneubuehl im Zusammenhang mit der Klärung eines Falles be-

schrieben worden, indem es um die tatsächlich abgegebene Schusszahl ging. Es ist also möglich und während des Forschungsvorhabens erneut bestätigt worden, dass ein Geschoss unter den oben beschriebenen Bedingungen zwei Spuren auf einem flach gehaltenen Beschussmedium hinterlassen kann. Im Bild unten ist zusätzlich ein Maßstab verwendet worden, der die Dimension des Spurabstandes zeigt.

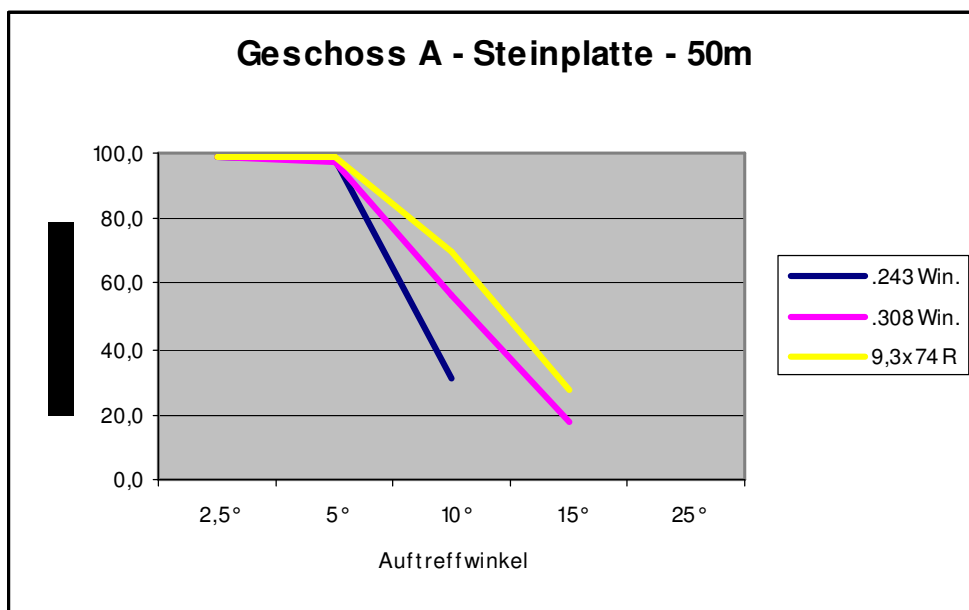


Aufsetzer 1

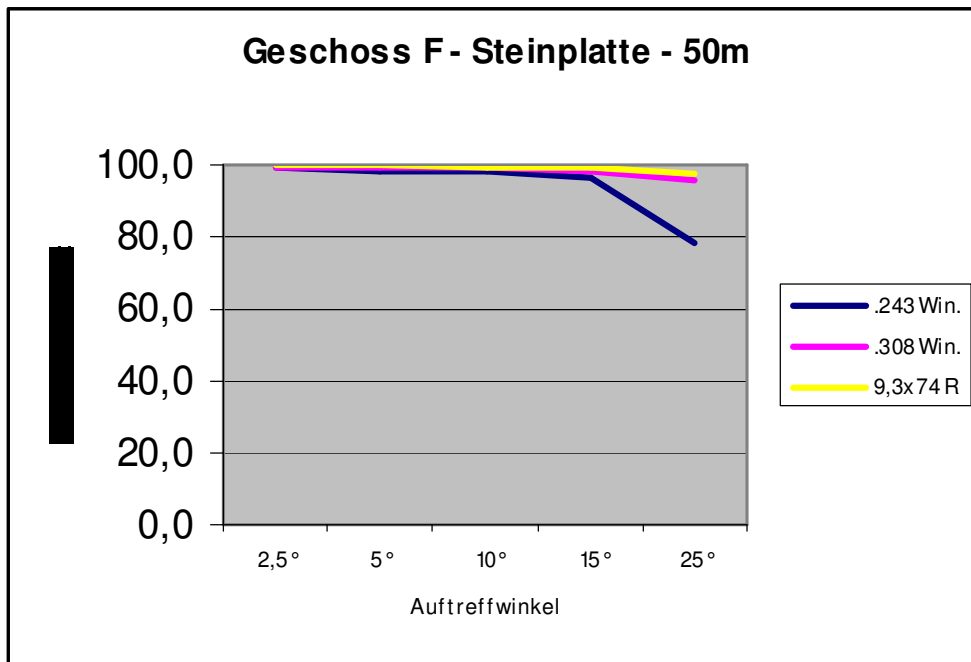
Aufsetzer 2

Dieser Fall ist umso interessanter, da es sich nicht um eine plan geschliffene Oberfläche handelte, sondern um eine natürlich rauhe.

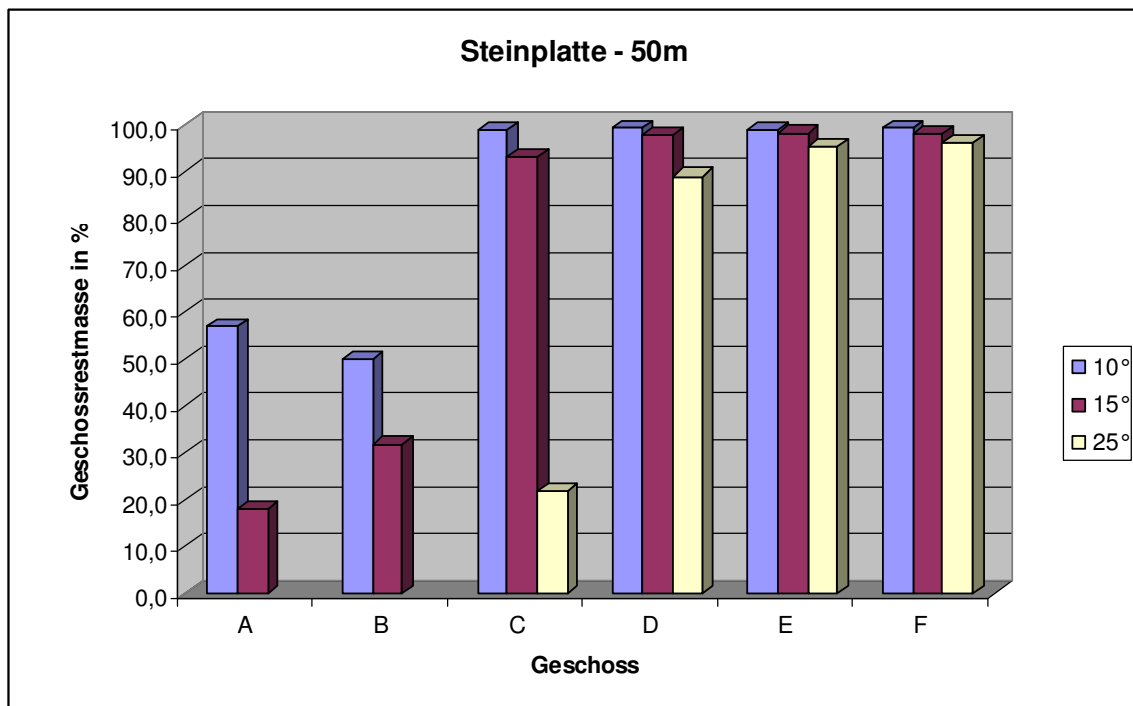
Im Verlauf der Versuche wurde deutlich, dass sich konstruktive und materialabhängige Unterschiede im Gesamtbild bemerkbar machten. In folgenden Darstellungen soll dies verdeutlicht werden.



Die Abbildung zeigt, dass die Restmasse von Geschoss „A“ kaliberunabhängig bei einem Auftreffwinkel von 15° dauerhaft unter 50% gesunken ist. Das Geschoss „F“ behält auch bei einem Auftreffwinkel von 25° weitestgehend seine Ausgangsmasse bei.

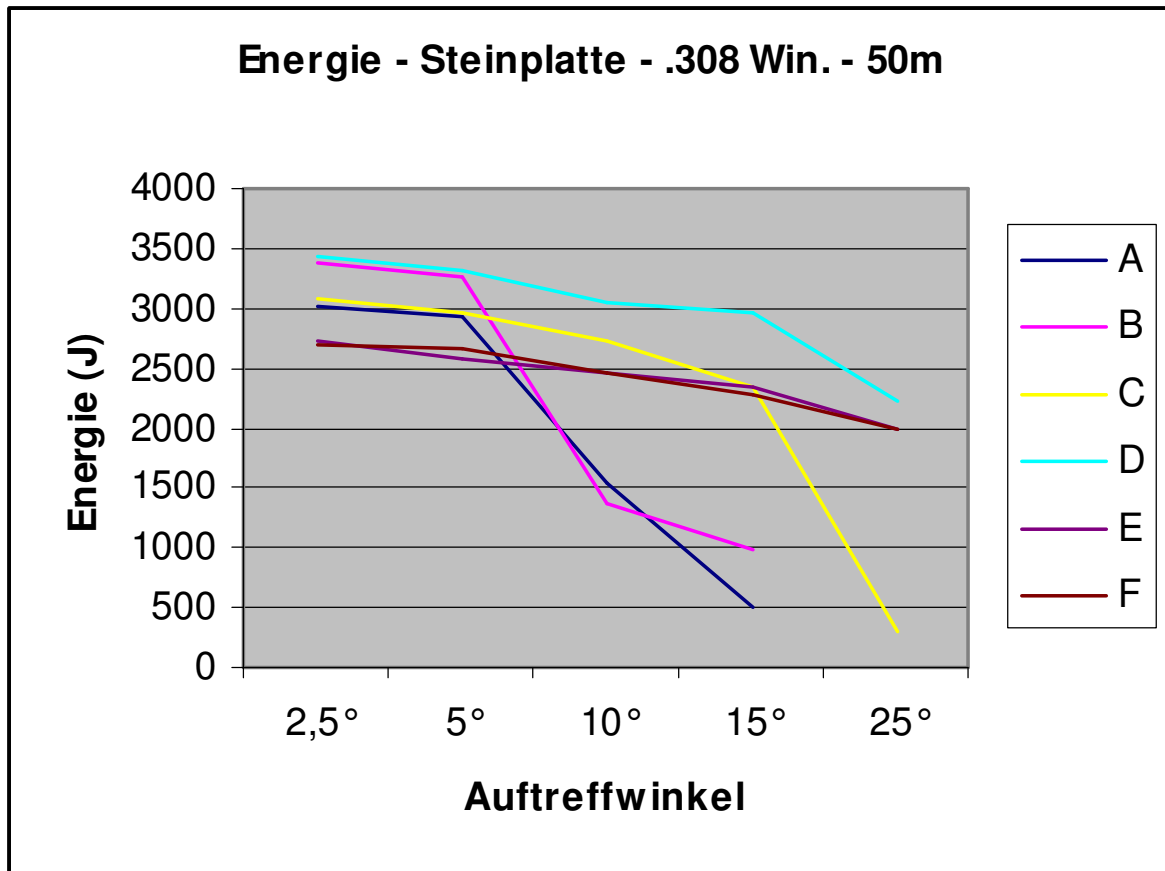


Ein Vergleich aller Geschossmassen im Kaliber .308 Win. bei einem Auftreffwinkel von 10°, 15° und 25° (siehe Diagramm unten) zeigt, dass die bleifreien Geschosse einen großen Masseerhalt aufweisen.



Lediglich das gebondete, bleihaltige Geschoss „C“ kann bis zu einem Winkel von 15° auf eine ähnliche Massekonstanz verweisen.

Interessant ist auch die Entwicklung der Energiewerte der einzelnen Geschosse bezogen auf den Auftreffwinkel. Diese ist im folgenden Diagramm ablesbar.

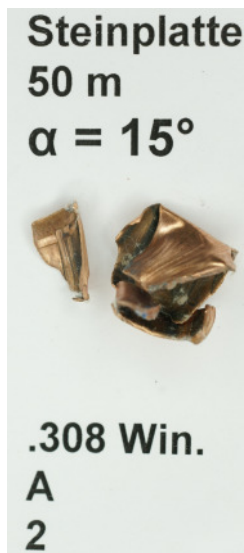
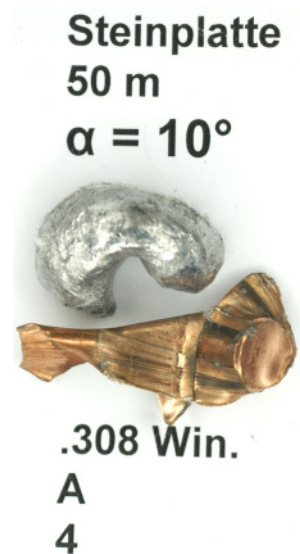


So ergeben sich nach unserer Auffassung 3 Gruppen. Die erste Gruppe wird gebildet durch die bleihaltigen Geschosse „A“ und „B“ mit einem sehr steilen Abfall der Energie ab dem Auftreffwinkel von 5°. Die zweite Gruppe vertreten die Geschosse „C“ und „D“, die beide einen steilen Energieabfall ab 15° zu verzeichnen haben. Geschoss „C“ ist das gebondete bleihaltige Geschoss, hingegen ist das Geschoss „D“ bleifrei. Die dritte Gruppe bilden die bleifreien Geschosse „E“ und „F“ deren nahezu konstanter geringer Energieabfall sofort ins Auge fällt.

Zusammenfassend wird angemerkt, dass sich auch bei diesem Beschussmedium herauskristallisiert hat, dass der Masse- und Energieerhalt bei den bleifreien Geschossen deutlich höher war als bei den bleihaltigen. Lediglich das gebondete Geschoss „C“ verhält sich in etwa gleich wie die bleifreien Geschosse „D“, „E“ und „F“ bis zu einem Auftreffwinkel von 15°.

Nachfolgend wurden im Kaliber .308 Win. repräsentative Geschosse ausgewählt für die Darstellung der winkelabhängigen Verformung.

Geschoss „A“:



Geschoss „B“:



Steinplatte
50 m
 $\alpha = 15^\circ$



.308 Win.
B
3

Geschoss „C“:

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 2,5^\circ$



.308 Win.
C
1

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 5^\circ$



.308 Win.
C
6

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 10^\circ$



.308 Win.
C
6

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 15^\circ$



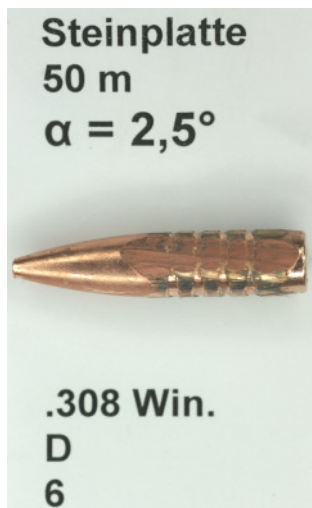
.308 Win.
C
4

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 25^\circ$

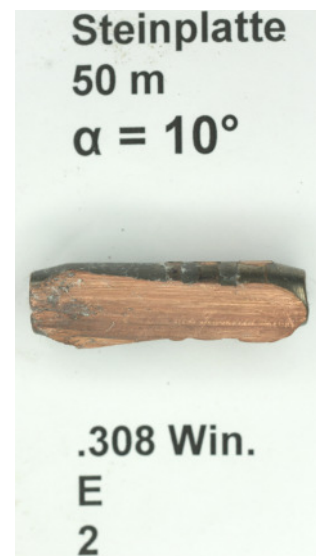


.308 Win.
C
2

Geschoss „D“:



Geschoss „E“:



Steinplatte
50 m
 $\alpha = 15^\circ$



.308 Win.
E
4

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 25^\circ$



.308 Win.
E
1

Geschoss „F“:

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 2,5^\circ$



.308 Win.
F
6

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 5^\circ$



.308 Win.
F
4

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 10^\circ$



.308 Win.
F
2

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 15^\circ$



.308 Win.
F
6

Steinplatte
50 m
 $\alpha = 25^\circ$



.308 Win.
F
1

9.6 Weicher Boden

Den Abschluss der Versuche bildete der Beschuss „Weicher Boden“. Zu Beginn wurde der verfestigte Boden mit einer geringen Menge Wasser angefeuchtet, um eine natürliche Feuchtigkeit zu gewährleisten. Nach jedem Beschuss füllten wir das fehlende Material wieder auf und nach einer Verfestigung mittels Glattscheibe konnte der Ausgangszustand hergestellt werden.

Wie schon im Abschnitt 8.6 beschrieben, konnte auf Grund der geringen Höhe der RSA nicht die Wiege zum Einhängen der Kiste und Fixierung des Auftreffwinkels genutzt werden. Nach dem Kistenaufbau am Boden begannen wir den Versuch mit dem Beschuss unter einem Winkel von 5°. Dieser Winkel ermöglichte uns eine größere Trefferfläche auf der Kiste und diente gewissermaßen zum Einschießen für den darauf folgenden Versuch mit 2,5°. Wie auch beim Beschussmedium „Harter Boden“, befand sich der Zielbereich etwa 1,00 m vom vorderen Kistenrand entfernt. Es zeigte sich, dass bei fast jedem Schuss eine gewisse Menge an Erdreich aus der Kiste geschleudert wurde.

Beim Umbau für den Auftreffwinkel von 10° mussten wir in Analogie zum „Harter Boden“ von sehr großen Ablenkwinkeln ausgehen. Deshalb wurde der gesamte Kistenaufbau vor dem Geschosssandfang der RSA vorgenommen. Die Geschosssandfangkästen wurden im Sandfang aufsteigend positioniert, um auch hier die abgeprallten Projektile sicher fangen zu können. Der dabei betriebene Aufwand war groß. **Aber alle Geschosse in allen drei Kalibern verschwanden bei einem Auftreffwinkel von 10° im Erdreich**, ohne dass eine Messung mittels Ausgangslichtschranke vorgenommen werden konnte. Wir haben diese Geschossreste aus dem „Weichen Boden“ herausgeholt. So konnten die Versuche mit dem Auftreffwinkel von 10° beendet werden. Auswertbare Ergebnisse sind demzufolge nur für die kleinen Winkel von 2,5° und 5° vorhanden.

Das Beschussmedium selbst war nicht homogen, weil im Erdreich, wie auch in der Natur, Steine vorhanden waren. Allerdings überschritten deren Größe nie den Durchmesser von 1 bis 2 cm. Die Ergebnisse zeigen trotz allem, dass die Unterschiede im Ablenkverhalten unabhängig von Kaliber und Geschossart bei kleinen Winkeln gering sind.

Kaliber .243 Win.

Durchschnittliche Geschossrestmassen in % der Ausgangsmasse bei einer Schussentfernung von 50 m:

Auftreffwinkel	Geschosse					
	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
2,5°	27,0	34,6	31,3	96,8	95,4	94,5
5°	13,0	19,6	11,9	93,7	91,9	82,3
10°	-	-	-	-	-	-

Deutlich sind die Masseverluste aller bleihaltigen („A“ bis „C“) und der relative Masseerhalt der bleifreien Geschosse („D“ bis „F“).

Mittlere Geschossrestenergien (Joule) bei einer Schussentfernung von 50 m:

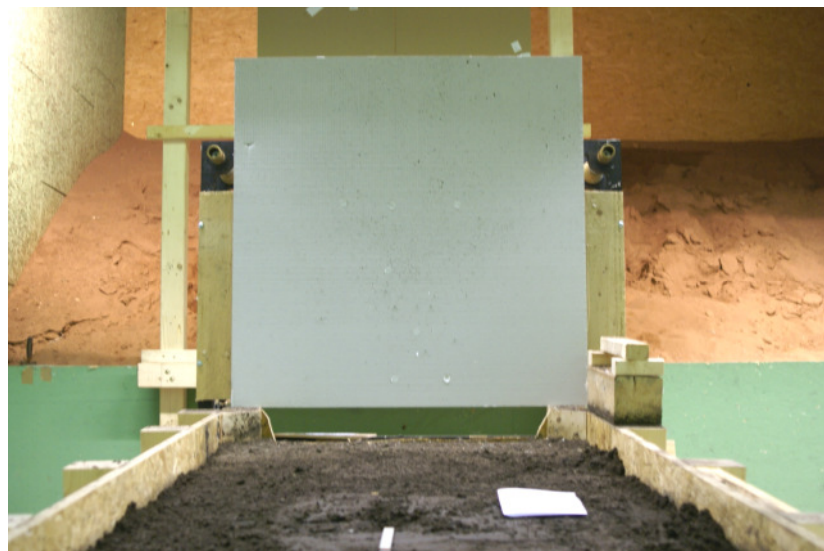
Auftreffwinkel	Geschosse					
	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
2,5°	1	76	340	762	290	760
5°	< 1	< 1	< 1	368	937	606
10°	-	-	-	-	-	-

Auffällig ist der Wert Geschoss „E“ bei einem Auftreffwinkel von 2,5°. In den im Anhang befindlichen Protokollen ist nachzulesen, dass lediglich bei Schuss Nr.2 eine hohe Abgangsgeschwindigkeit (738 m/s) gemessen werden konnte. Bei allen anderen Messwerten ist v_R kleiner als 25 m/s. Damit ergibt sich auch bei annähernd gleicher Restmasse der durchschnittlich geringere Wert der Restenergie. Der Grund für diese Abweichung ist für uns nicht nachvollziehbar.

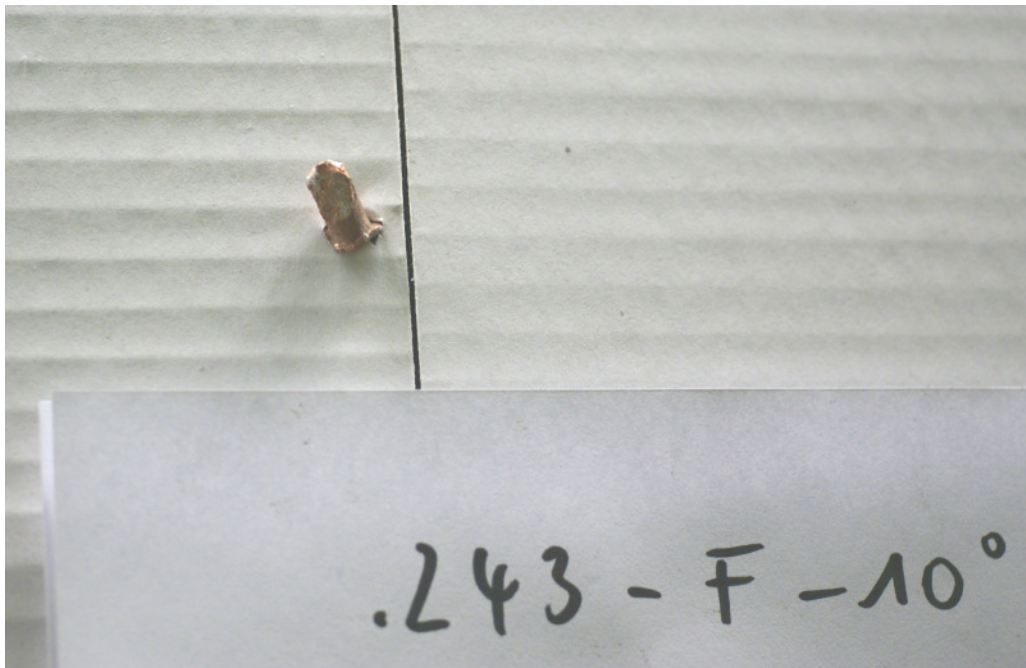
Wie komplett sich ein Geschoss zerlegt, soll mit folgenden Bildern belegt werden. Im Bereich des Aufprallpunktes fanden wir vom Geschoss „C“ im Kaliber .243 Win. nur den unten im Bild festgehaltenen Rest.



Auf der Indikatorwand war außer anhaftendem Erdreich nicht ein Splitter des Geschosses zu finden.



Beim Schießen des 10°-Winkels konnten wir ein in der Indikatorwand stecken gebliebenes Geschoss fotografieren. Die Restenergie reichte nicht aus, selbige zu durchdringen.



Kaliber .308 Win.

Durchschnittliche Geschossrestmassen in % der Ausgangsmasse bei einer Schussentfernung von 50 m:

Auftreffwinkel	Geschosse					
	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
2,5°	40,8	35,1	95,0	99,1	99,2	98,7
5°	34,8	29,7	58,4	98,2	98,7	97,4
10°	-	-	-	-	-	-

Mittlere Geschossrestenergien (Joule) bei einer Schussentfernung von 50 m:

Auftreffwinkel	Geschosse					
	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
2,5°	854	1057	2326	2933	2323	1639
5°	609	491	883	2370	1494	939
10°	-	-	-	-	-	-

Bei allen Geschossen verringern sich die Masse und die Geschossenergie beim Aufprall.

Während der Versuche wurden keine Besonderheiten im Kaliber .308 Win. festgestellt.

Kaliber 9,3x74 R

Durchschnittliche Geschossrestmassen in % der Ausgangsmasse bei einer Schussentfernung von 50 m:

Aufreffwinkel	Geschosse					
	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
2,5°	19,9	79,4	99,0	99,6	99,4	99,2
5°	25,2	62,5	56,4	98,4	96,1	96,1
10°	-	-	-	-	-	-

Auffällig ist hier nur, dass die Geschossmasse nach dem Beschuss des Beschussmediums mit dem Geschoss „A“ beim Auftreffwinkel von 5° größer ist als bei 2,5°.

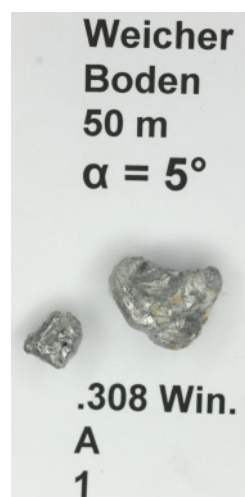
Mittlere Geschossrestenergien (Joule) bei einer Schussentfernung von 50 m:

Aufreffwinkel	Geschosse					
	„A“	„B“	„C“	„D“	„E“	„F“
2,5°	3	14	173	77	1848	1524
5°	154	857	-	766	70	70
10°	-	-	-	-	-	-

Auch bei der Betrachtung der Restenergien treten im Kaliber 9,3x74 R einige Besonderheiten auf. Von Geschoss „A“ bis „D“ konnten wir bei einem Auftreffwinkel von 2,5° durchweg geringe Energien feststellen. Hingegen bleiben die Geschosse „E“ und „F“ auf hohem Niveau. Bei dem folgenden 5°-Winkel kehren sich die Verhältnisse um. Die Geschosse „A“ bis „D“ haben gegenüber von „E“ und „F“ eine größere Restenergie.

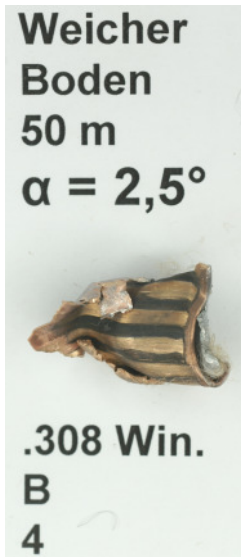
Mit den folgenden Geschossabbildungen sollen beispielhaft für das Kaliber .308 Win. die Geschossdeformationen dokumentiert werden:

Geschoss „A“:

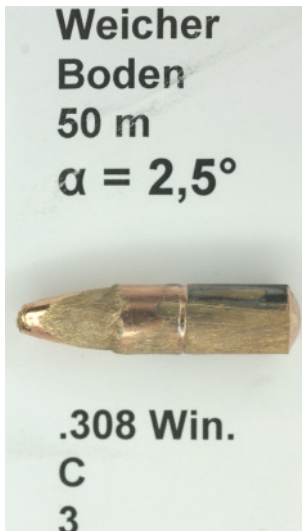


Im Winkel von 10° gab es keinen auffindbaren Restkörper.

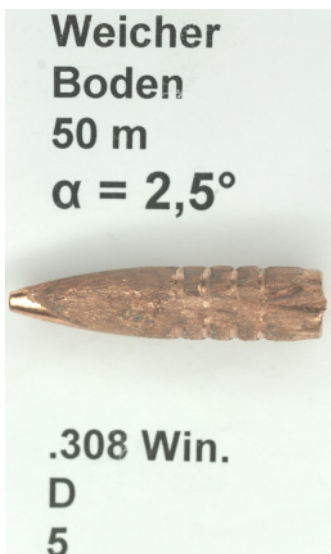
Geschoss „B“:



Geschoss „C“:



Geschoss „D“:



Geschoss „E“:

Weicher
Boden
50 m
 $\alpha = 2,5^\circ$



.308 Win.
E
4

Weicher
Boden
50 m
 $\alpha = 5^\circ$



.308 Win.
E
6

Weicher
Boden
50 m
 $\alpha = 10^\circ$



.308 Win.
E
1

Geschoss „F“:

Weicher
Boden
50 m
 $\alpha = 2,5^\circ$



.308 Win.
F
2

Weicher
Boden
50 m
 $\alpha = 5^\circ$



.308 Win.
F
2

Weicher
Boden
50 m
 $\alpha = 10^\circ$



.308 Win.
F
1

Da alle Geschosse im Winkel von 10° sofort nach der Herausnahme aus dem Erdreich fotografiert wurden, sind auf den Bildern noch teilweise Anhaftungen des Beschussmediums zu erkennen.

10. Auswertung 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.

11. Zusammenfassung

Innerhalb eines Jahres wurden über 2.500 Schüsse auf die unterschiedlichsten Medien abgegeben. Jeder der Mitarbeiter legte dabei über 250 Kilometer zurück.

Es hat sich letztlich gelohnt, weil mit diesem Forschungsvorhaben erstmalig das Abprallverhalten von Jagdmunition an naturnahen Medien erforscht werden konnte. Obwohl die bleihaltigen Geschosse schon seit über 100 Jahren eingesetzt werden, ist in diesem Umfang noch nie eine vergleichbare Untersuchung durchgeführt worden. Im direkten Vergleich ausgewählter Geschosse wurden nun Erkenntnisse über deren Verhalten gegenüber bleifreien Geschossen gewonnen.

Aus zeitlichen Gründen mussten während der Versuche Einschränkungen hinsichtlich der Schussentfernung und auch der Kaliber gemacht werden, weil nicht nur in der Bundesrepublik Deutschland dringend auf diese Ergebnisse gewartet wird. Sie ermöglichen Entscheidungen zum Einsatz bleihaltiger und bleifreier Munition. Alle Versuche wurden mit Akribie und hohem Aufwand vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet.

Es war eine richtige Entscheidung, die Auswahl der Geschosse auf sechs zu beschränken. Hier wurden konstruktive Unterschiede wie Zerlegungs- und/oder Deformationsbereitschaft, Massestabilität, Material- und Formeigenschaften berücksichtigt. Bei leicht zu schießenden Medien wie dem Gebüsch und kleinen Winkeln wurde deutlich, dass hier nicht das Material (Blei oder bleifrei) ausschlaggebend für die Ablenkung war, sondern die Spitzenform (Ogive oder beispielsweise eckige Formen mit Scharfrand). In Bezug auf Masse- und Energiestabilität kristallisierten sich die bleifreien Geschosse als sehr stabil heraus.

12. Literaturverzeichnis

Nach intensiven Recherchen und Kontaktierung in- und ausländischer Fachleute ist festzustellen, dass es weltweit keine offiziell zugänglichen Untersuchungen gibt, die sich mit dem hier zu behandelnden Forschungsthema beschäftigt haben.

Zu Teilbereichen des Ablenkungsverhaltens von Geschossen (ausschließlich Bleikern oder militärische Hartkerngeschosse) gibt es entsprechende Untersuchungen.

Nachstehend sind auszugsweise Themen nationaler und internationaler Autoren angegeben, die sich mit dem Ablenkungsverhalten von Geschossen und Schrotten beschäftigen.

1. BIALONSKI H. G., Geschoßablenkung in homogenen Medien, I. D., Bonn, [1974]
2. DANESHI G. H., JOHNSON W., The Ricochet of Spherical Projectiles off Sand, Int. J. Mech. Sci., 19, 491-497, [1977]
3. HAAG L. C., Bullet Ricochet: An Imperial Study and a Device for Measuring Ricochet Angle, AFTE Journal, 21, 2, 182-188 [1987]
4. HAAG L. C., The Measurement of Bullet Deflection by Intervening Objects and the Study of Bullet Behavior After Impact, AFTE Journal, 19, 4, 382-387, [1987]
5. HARTLINE P. C., et al., A Study of Shotgun Ricochet from Steel Surfaces, J. Forens. Sci., 27, 3, 506-512, [1982]
6. HOULDEN M., The distribution of energy among fragments of ricocheting pistol bullets, J. Forens. Sci. Soc., 34, 1, 29-35, [1994]
7. HUTCHINGS I. M., The Ricochet of Spheres and Cylinders from the Surface of Water, Int. J. Mech. Sci., 18, 243-247, [1976]
8. JANSSEN D. W., LEVINE R. T., Bullet Ricochet in Automobile Ceilings, J. Forens. Sci., 27, 1, 209-212, [1982]
9. JAUHARI M., Zur Bestimmung der annähernden Geschossgeschwindigkeit von Prellschüssen bei der Aufklärung krimineller Tatbestände, Arch. f. Krim. 147, 8-15, [1971]
10. JOHNSON W., REID S. R., Ricochet of Spheres Off Water, J. Mech. Eng. Sci., 17, 2, 71-81, [1975]
11. KNEUBUEHL B. P., Rikoschettversuche mit Colt Kal. .38 spez., GRD, TA 7, Thun, 7 S., [1980]
12. KNEUBUEHL B. P., MAISSEN E., Das Problem der Geschoßabpraller an Kanten und Prellschienen in 300 m Schiessständen, GRD, TA 7, Thun, 15 S., [1984]

-
13. 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]
 14. KNEUBUEHL B. P., Untersuchungen zum Abprallverhalten von Kurzwaffengeschossen, Bericht Nr. 1484, GR, FA 26, XX S., [1999]
 15. KNEUBUEHL B. P., Das Abprallen von Geschossen aus forensischer Sicht [1999]
 16. LÖCHER T., Der Büchenschuß durch Hindernisse, Diplomarbeit, FH Weihenstephan, 103 S., [1996]
 17. NUSSBAUMER N., Der Kugelschuß ins Gras und in Feldfrüchte, DWJ, 957-959, [1980]
 18. REICHERT K. H., Geschoßablenkung durch Glasscheiben, I. D., Bonn, [1974]
 19. 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]
 20. 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]
 21. WISSMANN F., Multifaktorielle Analyse von Schussverletzungen durch Jagdwaffen, Inaugural-Dissertation, [1993]