EUREGIO HTBLVA FERLACH

HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH

Laborbericht

Grundlagen der ballistische Messtechnik

Name:	ball. Messgruppe 3	Ferlach, am:	17.06.2015
Klasse:	4AHMBW	Gruppe:	3. Gruppe
Jahrgang:	2014/2015	Übungsleiter:	DI Ing. Florian MAYER

Protokoll aus Laboratorium LA1

Ermittlung der ball. Kennwerte v_0, v_4, v_{10}, x_{10}, y_{10}, p_{max} sowie von 3 weiteren p-Verläufen im Lauf und daraus Inter- bzw. Extrapolation der Geschwindigkeitsverläufe für Sellier&Bellot 308Win. FMJ 11,7g

vom Schüler auszufüllen

Ausgabetermin:	20.05.2015		
Abgegeben am:	18.06.2015	Unterschrift:	ball. Messgruppe 3 4AHMBW

vom Lehrer auszufüllen

Selbstständigkeit der Arbeit:	.....	Termintreue:	.....
Fachkompetenz:	.....	Volumen und Einsatz:	.....
Dokumentation:	.....	Unterschrift (Note):	.....

HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHRANSTALT FERLACH - A-9170, Schulhausgasse 10
Tel.: +43 (0) 4227/2331, Fax: +43 (0) 4227/2331-37, E-mail: office@htl-ferlach.at, www.htl-ferlach.at

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2
Kurzfassung/Abstrakt 3
1.) Messergebnisauswertung 3
1.1.) Gasdruckverläufe 4
1.2.) Geschwindigkeitsverläufe innerhalb des Laufes 5
1.3.) Geschwindigkeitsverläufe außerhalb des Laufes 8
1.4.) Zielballistik / Schussbild 10
1.5.) Export-File 11
2.) Zusammenfassung 13
3.) Abbildungsverzeichnis 15
4.) Literaturverzeichnis 15
5.) Anhang 16
Anhang 1: LA1-Angabe 17
Anhang 2: BWF 3000 - Messprotokoll 20
Anhang 3: C.I.P.-Datenblatt TDCC 308Win. 26

Kurzfassung/Abstrakt

Entsprechend der Angabe (siehe ***Anhang 1***) wurden für das Kaliber 308Win. (Sellier&Bellot FMJ 11,7g) drei ballistische Messgrößensätze ermittelt. Dabei wurde mittels des Lichtschrankensystems HPI B471, welches in einer Entfernung von 3m vor der Mündung stand, die v_4, mittels des Doppler-Radar-System HPI B481 die v_0 sowie a_0 und mittels des Target System HPI B571, welches in einer Entfernung von 10m vor der Mündung stand, die v_{10} sowie die relative Treffpunktlage x_{10} sowie y_{10} ermittelt.
Mit Hilfe des Gasdruckmesssystems HPI B214 wurden für 4 Positionen im Lauf mittels HPI-Piezo-Messquarzen/Messwandler (Transducers) der Gasdruckverlauf bestimmt, wodurch mit Hilfe der Position der Quarze auch die Geschoßgeschwindigkeitsentwicklung im Lauf angenähert werden konnte. Für sämtliche Auswertungen wurden dabei die zugehörige Software BWF (Ballistic WorkFrame) HPI B3000 verwendet. Exportiert wurde aus der Software BWF auch ein *.csv-File der Messdaten, welches in ein EXCEL-File konvertiert wurde um in den Gegenständen "Angewandt Mathematik (AM)" sowie "Ballistik, Waffenoptik und Munitionslehre (BWOM)" weiter verarbeitet werden zu können (z.B. *p-t*-Kurvenvergleich mit Heydenreich).
Neben den Messgeräten samt zugehöriger Software stand auch das HPI Kalibrations-Set B202, analoge und digitale Messgeräte (z.B. Maßband, Laserentfernungsmesser, Lasernivelliergerät, Maschinen-Wasserwaage), Ziellinienprüfgeräte (z.B. Laser-Patrone, Bore-Sight), sämtliche Bedienungsanleitungen, die Fachbibliothek sowie eine Protokoll- und Präsentationsvorlage und das Internet zur Verfügung.

1.) Messergebnisauswertung

In ***Abbildung 1*** ist die aus der Schusstafel des Messprogramms (siehe auch Anhang 2) extrahierten relevanten Messergebnisse angeführt, wobei leere und wenig aussagekräftige Schusstafelzellen entfernt wurden.

Nr.	$p_{max,1}$ [bar]	$p_{max,2}$ [bar]	$p_{max,3}$ [bar]	$p_{max,4}$ [bar]	v_0 [m/s]	v_4 [m/s]	v_{10} [m/s]	x [mm]	y [mm]
1	3245,6	749,1	563,8	460,8	732,89	730,74	727,90	-219,2	119,2
2	3232,1	765,8	571,2	447,5	732,97	731,28	728,83	-217,4	119,7
3	3065,0	771,8	577,1	448,6	724,79	722,21	719,12	-217,7	123,0
Mittelwert	**3180,9**	**762,2**	**570,7**	**452,3**	**730,22**	**728,08**	**725,28**	**-218,1**	**120,6**
max	3245,6	771,8	577,1	460,8	732,97	731,28	728,83	-217,4	123,0
min	3065,0	749,1	563,8	447,5	724,79	722,21	719,12	-219,2	119,2
Bereich	180,7	22,6	13,3	13,2	8,18	9,07	9,71	1,8	3,8
STABW	100,6	11,7	6,7	7,4	4,70	5,09	5,36	0,9	2,1

Abbildung 1: *Tabellarische Übersicht über die erhaltenen Messergebnisse.*

Da die Messwerte der einzelnen Schüsse nur wenig voneinander abweichen (maximale Druckdifferenz Δp = 180bar bei einer Standardabweichung von 100,6bar (siehe dazu auch ***Abbildung 4***), maximale Mündungsgeschwindigkeitsdifferenz Δv = 8,18m/s bei einer Standardabweichung von 4,7 m/s) wird im Folgenden nur Schuss 1 näher untersucht.

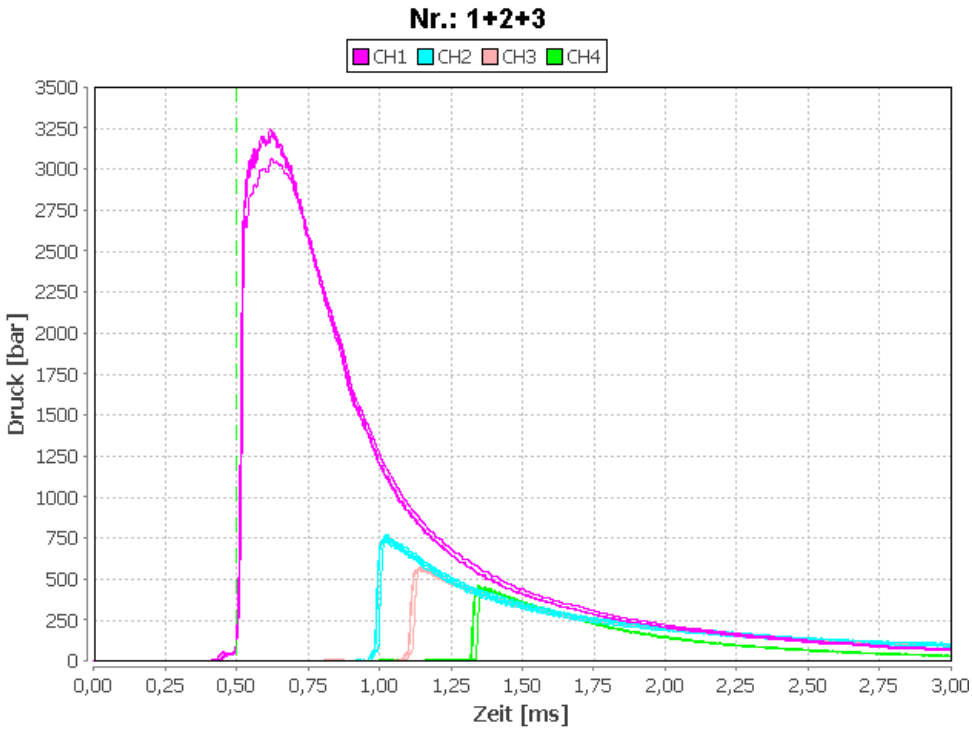


Abbildung 2: *Graphische Übersicht über die erhaltenen Gasdruckverläufe.*

1.1.) Gasdruckverläufe

In ***Abbildung 2*** fällt auf, dass die Druckkurven der Messstellen 2 (cyan), 3 (rosarot) und 4 (grün) nicht deckungsgleich mit dem Druckverlauf der Messstelle 1 (magenta) liegen. Grund hierfür könnte neben Kalibriefehlern der Messsoftware auch eine Druck-Stoßwelle sein, welche bei der Pulververbrennung (ähnlich *[PRÜMMER 1987])* entsteht.

Nr.	$p_{max,1}$ [bar]	$p_{max,2}$ [bar]	$p_{max,3}$ [bar]	$p_{max,4}$ [bar]
1	3245,6	749,1	563,8	460,8
2	3232,1	765,8	571,2	447,5
3	3065,0	771,8	577,1	448,6
Mittelwert	**3180,9**	**762,2**	**570,7**	**452,3**
max	3245,6	771,8	577,1	460,8
min	3065,0	749,1	563,8	447,5
Bereich	180,7	22,6	13,3	13,2
STABW	100,6	11,7	6,7	7,4

Abbildung 3: *Tabellarische Übersicht über die erhaltenen Gasdruck-Messergebnisse.*

Die in der Übersicht der Gasdruckkurven in ***Abbildung 2*** zu sehenden Messwertabweichungen sind auch in den Einzelgasdruckkurven, wie für Schuss 1 in ***Abbildung 4*** zu sehen, ersichtlich.

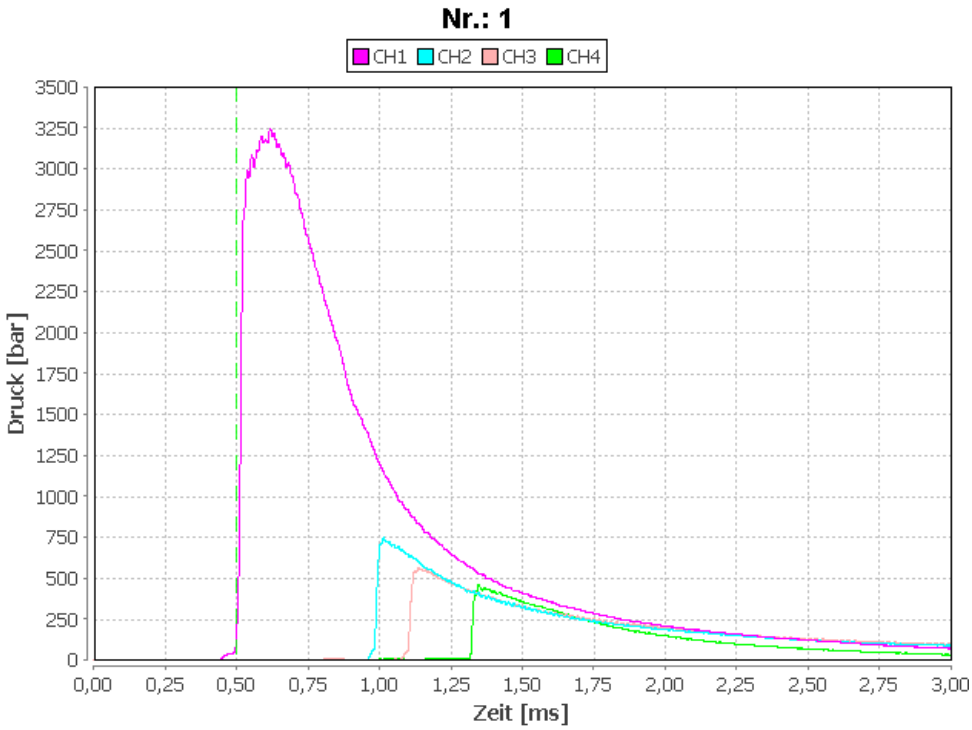


Abbildung 4: *Graphische Übersicht über die erhaltenen Gasdruckkurven des 1. Schusses.*

Der Maximal-Gasdruckwert $p_{max,1}$ = 3245,6 bar liegt, wie dem C.I.P.-TDCC (siehe ***Abbildung 5*** und dem gesamten TDCC-Blatt im ***Anhang 3***) entnommen werden kann, weit unterhalb des zulässigen Maximaldrucks von p_{max} = 4150 bar.

Drücke (Energien)
Mech. elektr. Wandler

Pmax	=	4150	bar
PK	=	4773	bar
PE	=	5190	bar
M	=	25.00	
EE	=	3920	Joule

Abbildung 5: *Auszug aus dem C.I.P.-TDCC.*

1.2.) Geschwindigkeitsverläufe innerhalb des Laufes

Mittels der Messaufnehmerabstände (siehe ***Abbildung 6***) sowie der Zeitdifferenzen zwischen den Anstiegen der jeweiligen Gasdruckmesskurven (siehe ***Abbildung 7***) kann die Geschwindigkeitsentwicklung im Lauf bestimmt werden.
Die Abstände zwischen den Gasdruck-Messstellen wurden dazu vermessen und sind in ***Abbildung 6*** visualisiert.

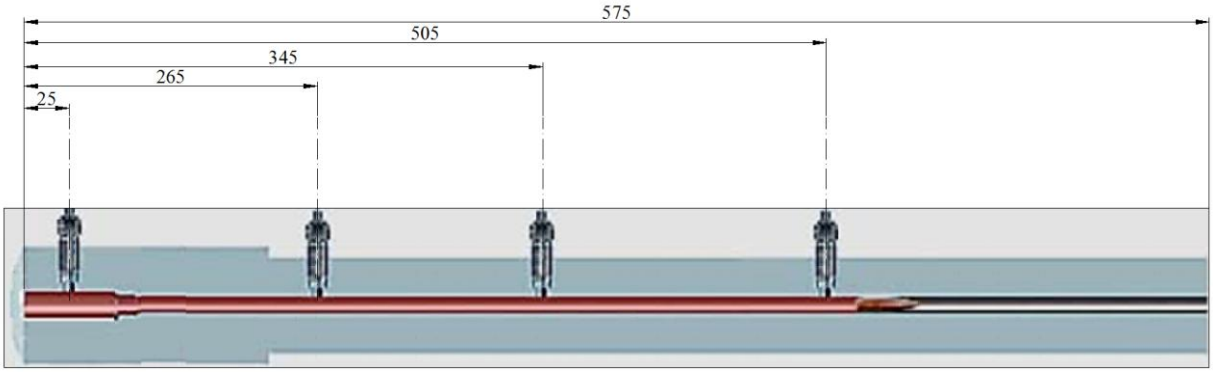


Abbildung 6: *Die Positionen der 4 Gasdruck-Messstellen im 575mm langen Messlauf. Die erste Messstelle liegt C.I.P-konform (Mmaß M im TDCC) 25mm vom Stoßboden entfernt.*

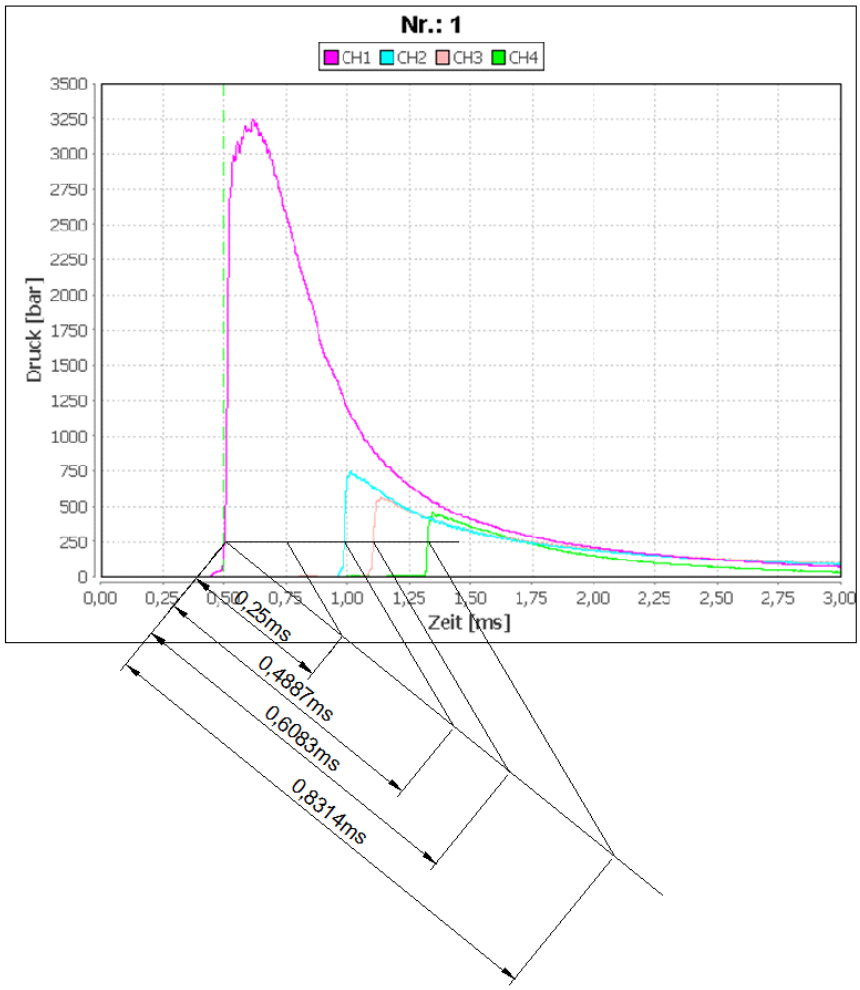


Abbildung 7: *Die zeitlichen Differenzen wurde mit Hilfe des Strahlensatzes aus den Gasdruckmesskurven ermittelt. Da die Gasdruckanstiege ziemlich parallel verlaufen, kann auch der Abstand bis zum Erreichen eines bestimmten Druckes (hier 250 bar) zur Bestimmung herangezogen werden.*

Mit Hilfe des Strahlensatzes wurde in ***Abbildung 7*** aus den Gasdruckverläufen eines Schusses die Zeitdifferenzen zwischen den Anstiegen ermittelt. Da lediglich die relativen und nicht die absoluten Zeitpunkte relevant sind und die Gasdruckkurven sehr ähnlich ansteigen, kann dazu auch der Kreuzungspunkt mit der 250 bar-Linie verwendet werden. Man erhält die in ***Abbildung 8*** aufgelisteten Werte.

Position vom Stoßboden [m]	Benennung	Zeit aus Gasdruckkurve [s]	Δx [m]	Δt [s]	Pos. zwischen jeweiligen Messstellen [m]	$v_{Pos.}$ $\Delta x/\Delta t$ [m/s]
0,025	**Messstelle 1**	0				
	1-2		0,240	0,0004887	**0,145**	**491,10**
0,265	**Messstelle 2**	0,0004887				
	2-3		0,080	0,0001196	**0,305**	**668,90**
	1-3		0,320	0,0006083	**0,185**	**526,06**
0,345	**Messstelle 3**	0,0006083				
	3-4		0,160	0,0002231	**0,425**	**717,17**
	2-4		0,240	0,0003427	**0,385**	**700,32**
	1-4		0,480	0,0008314	**0,265**	**577,34**
0,505	**Messstelle 4**	0,0008314				
0,575	**Laufmündung**				**0,575**	**732,89**

	x	v
Messstelle 1	0,04	0
1-2	0,145	491,10
1-3	0,185	526,06
1-4	0,265	577,34
2-3	0,305	668,90
2-4	0,385	700,32
3-4	0,425	717,17
Laufmündung	0,575	732,89

Abbildung 8: *Mittels der Positions- und Zeitwerte können die Durchschnittsgeschwindigkeiten (rechts nach der Reihenfolge vom Stoßboden zur Laufmündung sortiert) zwischen den Messstellen errechnet werden. Angenommen wird hierbei erneut, dass diese Durchschnittsgeschwindigkeit in etwa in der Hälfte des Abstandes auftreten, auch wenn der Kurvenverlauf aus* ***Abbildung 9*** *diese Annahme als inkorrekt beweist.*

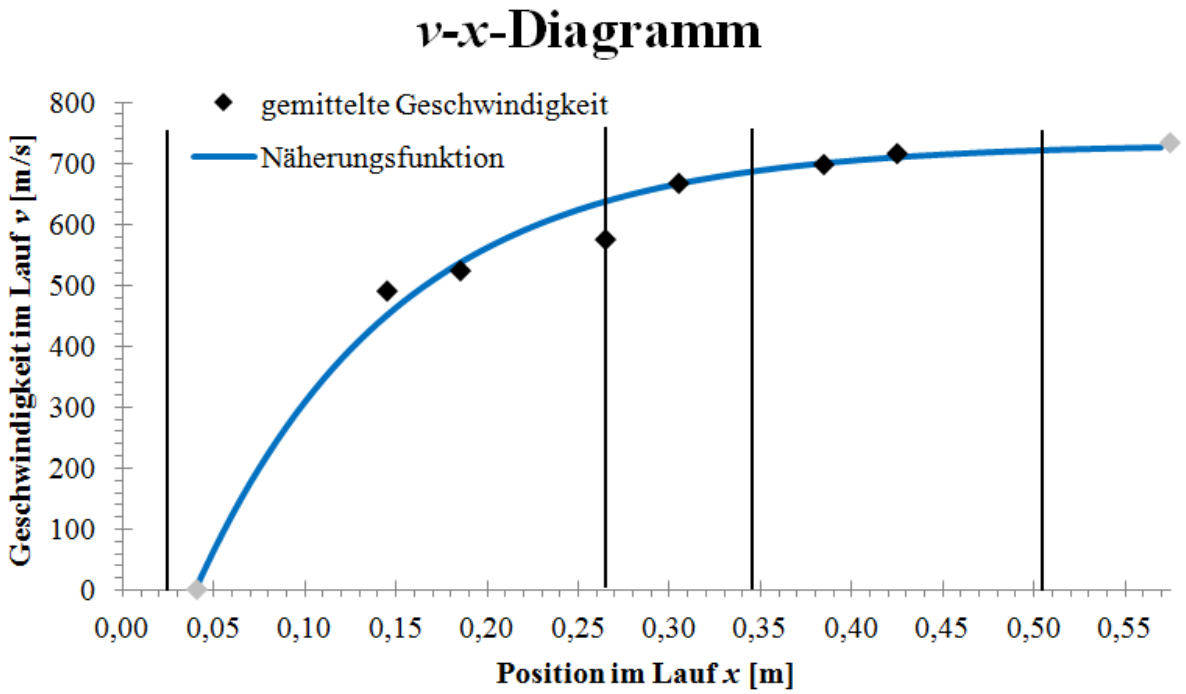


Abbildung 9: *Die gemittelten Geschwindigkeiten werden bei den "halbierten" Positionen zwischen den jeweiligen Messstellen (schwarze vertikale Linien) eingetragen (schwarze Rauten) und durch den Anfangspunkt (Geschoßboden hat Geschwindigkeit 0 im gesetzten Zustand bei ca. 42mm) und Endpunkt (Geschoßboden verlässt Lauf mit mittels Doppler-Radar ermittelter v_0) ergänzt (graue Rauten). Eingetragen ist auch eine Näherungsfunktion.*

Auf Grund der gerechneten Mittelwerte kann mit Hilfe des Programmes ORIGIN 2015 (Fa. OriginLAB) eine Funktion angenähert werden. Die Gleichung dieser Funktion lautet:

$$v(x) = v_0 - v_0 \cdot e^{-\frac{x-x_0}{0,1}} = 732,89 - 732,89 \cdot e^{-\frac{x-0,04}{0,1}} \qquad 1$$

Diese Funktion stimmt beim 0-Punkt (x_0 = Geschoßboden des in die Hülse gesetzten Geschosses = 0,04m) exakt ($v(0,04m) = 0$ m/s) und bei der Laufmündung gut ($v(0,575m) = 729,4$ m/s). Hierbei sei angeraten auch einen Blick in das Rheinmetall-Taschenbuch zu werfen.

1.3.) Geschwindigkeitsverläufe außerhalb des Laufes

Um diese Verläufe näher zu analysieren werden zwei Wege beschritten, einerseits die Analyse der Doppler-Radar-Auswertung und andererseits die mittels B481 (Doppler-Radar) bestimmte v_0, die mittels B471 (Lichtschranke) bestimmte v_4 sowie die mittels B571 (Target) bestimmte v_{10}.
Wird mit dem B481gemessen ist das erste zu analysierende Bild das Spannungssignal über die Zeit, wie in ***Abbildung 10*** dargestellt. Es erlaubt zwar keine Wertermittlung, aber es ist ein Zeichen für die Signalqualität.

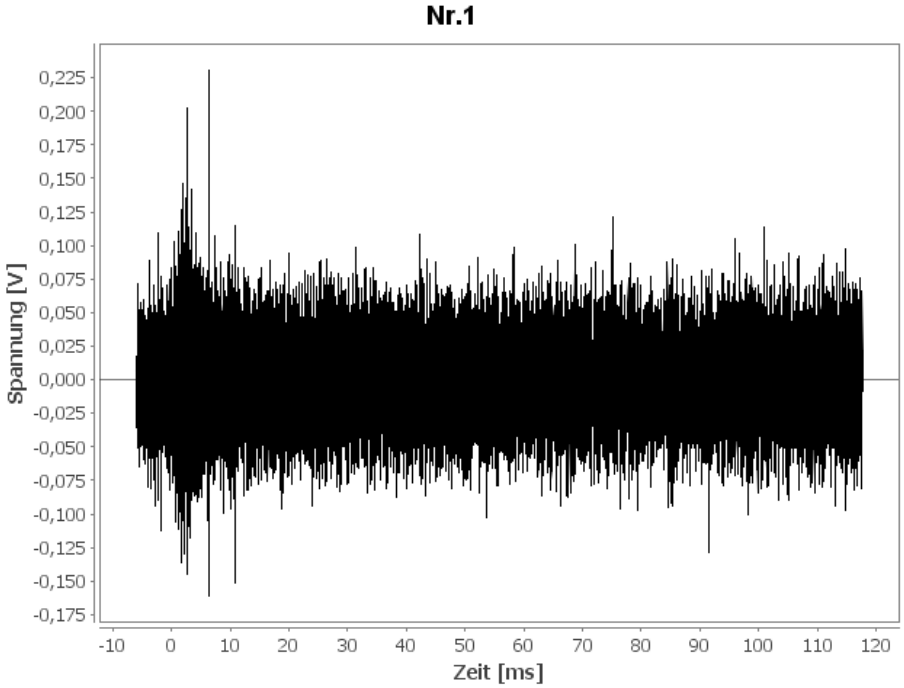


Abbildung 10: *Spannungs-Zeit-Diagramm des B481AU (Doppler-Radar-Antenne).*

Das nächste Diagramm nennt sich Waterfall-Diagramm und gibt die, auf Grund der Frequenzverschiebungen berechneten Geschwindigkeitsveränderungen über der Zeit an. Man erkennt eine "Unregelmäßigkeit" bei etwa 730m/s, welche sich mit der Zeit (nach oben hin) etwas nach links, zu geringeren Geschwindigkeiten "verschiebt". Genau das gleiche Bild ergibt sich im nächsten Diagramm, welches in ***Abbildung 12*** zu sehen ist. Hier ist nun die Zeit auf der x-Achse und die Geschwindigkeit auf der y-Achse dargestellt. In grün ist die gemessene (radiale) Geschwindigkeit (aus dem Waterfall-Diagramm kommend) dargestellt, in blau wurde auf Grund der Antennenposition die Geschoßgeschwindigkeit berechnet und an diese Kurve in rot eine Tangente gelegt mit welcher auf die v_0 extrapoliert wurde.

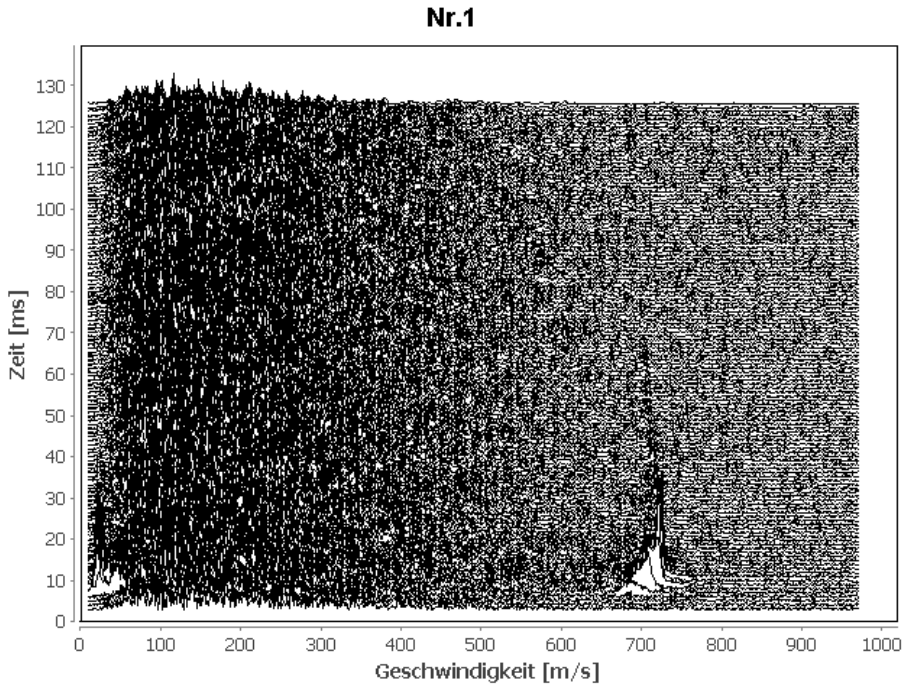


Abbildung 11: *Waterfall-Diagramm des B481AU (Doppler-Radar-Antenne).*

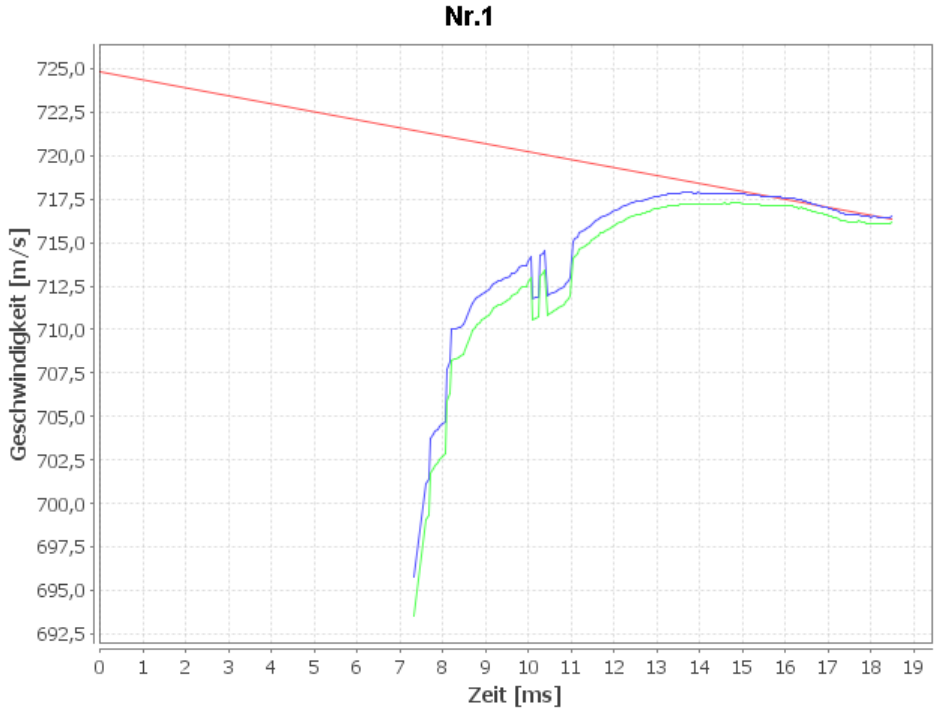


Abbildung 12: *Waterfall-Diagramm des B481AU (Doppler-Radar-Antenne).*

Der erste Teil der Kurven (hier zwischen 7ms und 15ms) entspricht jenem Bereich, in welchem das Geschoß in den Radarkegel einfliegenden beginnt (Einschleif-Bereich). Dieser ist umso kürzer, je näher sich die Antenne an der Laufmündung befindet (θ wird damit kleiner und auch der "Einflugweg" kürzer). Das Messprogramm kann auch weitere Kurven (z.B. *a-t-*, *a-x-*, *s-x*-Diagramme) ausgeben, darauf wird in dieser Laboreinheit verzichtet, auch wenn gerade das *v-x*-Diagramm sich gut zur Vergleich mit dem rechnerisch bestimmten Geschwindigkeitsabfällen *a* [m/s / m] (siehe ***Abbildung 13***) eignen würde..

Nr.	v_0 [m/s]	v_4 [m/s]	v_{10} [m/s]	Δv_{0-4} [m/s]	Δv_{4-10} [m/s]	Δv_{0-10} [m/s]	a_{0-4} [m/s / m]	a_{4-10} [m/s / m]	a_{0-10} [m/s / m]
1	732,89	730,74	727,90	2,15	2,84	4,99	0,54	0,47	0,50
2	732,97	731,28	728,83	1,69	2,45	4,14	0,42	0,41	0,41
3	724,79	722,21	719,12	2,58	3,09	5,67	0,64	0,52	0,57
Mittelwert	**730,22**	**728,08**	**725,28**	**2,14**	**2,79**	**4,93**	**0,53**	**0,47**	**0,49**
max	732,97	731,28	728,83	2,58	3,09	5,67	0,64	0,52	0,57
min	724,79	722,21	719,12	1,69	2,45	4,14	0,42	0,41	0,41
Bereich	8,18	9,07	9,71	0,89	0,64	1,53	0,22	0,11	0,15
STABW	4,70	5,09	5,36	0,45	0,32	0,77	0,11	0,05	0,08

Abbildung 13: *Übersicht über die erhaltenen v-Messergebnisse mittels B481, B471 und B571.*

Aus den *v*-Messungen lassen sich ebenfalls mündungsnahe Geschwindigkeitsabfälle visualisieren, wie in ***Abbildung 14*** gezeigt.

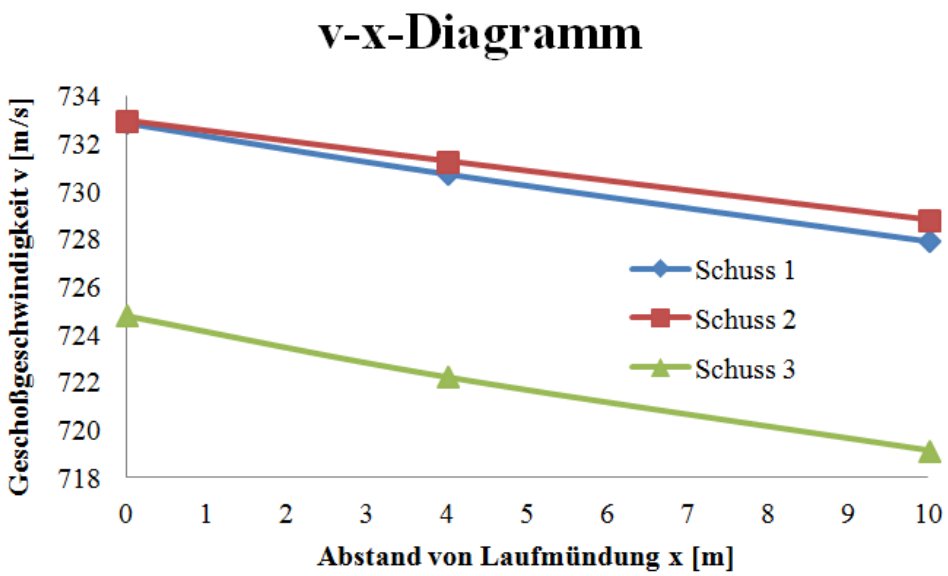


Abbildung 14: *Mündungsnaher Geschwindigkeitsverlauf des Geschosses.*

Man kann erkennen, dass die Geschosse, auch wenn die v_0 sich um bis zu 8,18 m/s unterscheiden, in allen drei Versuchen ziemlich parallel etwa um 0,5m/s pro Meter verzögert werden.

1.4.) Zielballistik / Schussbild

Das Schussbild wurde lediglich auf 10m ermittelt, daher sind die Ergebnisse, die in ***Abbildung 15*** bis ***Abbildung 17*** zu sehen sind, nicht sehr aussagekräftig. Unter diesem Gesichtspunkt ist auch das hervorragende Trefferbild von 1,8mm x 3,8mm zu sehen.

Nr.	*x* [mm]	*y* [mm]
1	-219,2	119,2
2	-217,4	119,7
3	-217,7	123,0
Mittelwert	**-218,1**	**120,6**
max	-217,4	123,0
min	-219,2	119,2
Bereich	1,8	3,8
STABW	0,9	2,1

Abbildung 15: *Die x- und y-Koordinaten der 3 Schuss samt einiger statistische Werte.*

Benennung	Wert [mm]
Mittlerer Treffpunkt X	-218,1
Mittlerer Treffpunkt Y	120,6
Summe A+B	5,6
Größte Entfernung	4,1

Abbildung 16: *Auch wenn die Messsoftware die Trefferauswertung nach mehreren statistischen Kennwerte (z.B. R50,R100,…) erlaubt, wurden hier neben der Koordinaten des Treffermittelpunktes lediglich zwei Größen ausgegeben und zwar die Summe des halben Bereichsumfangs (A+B) sowie der maximale Abstand des entferntesten Schusses vom Treffermittelpunkt.*

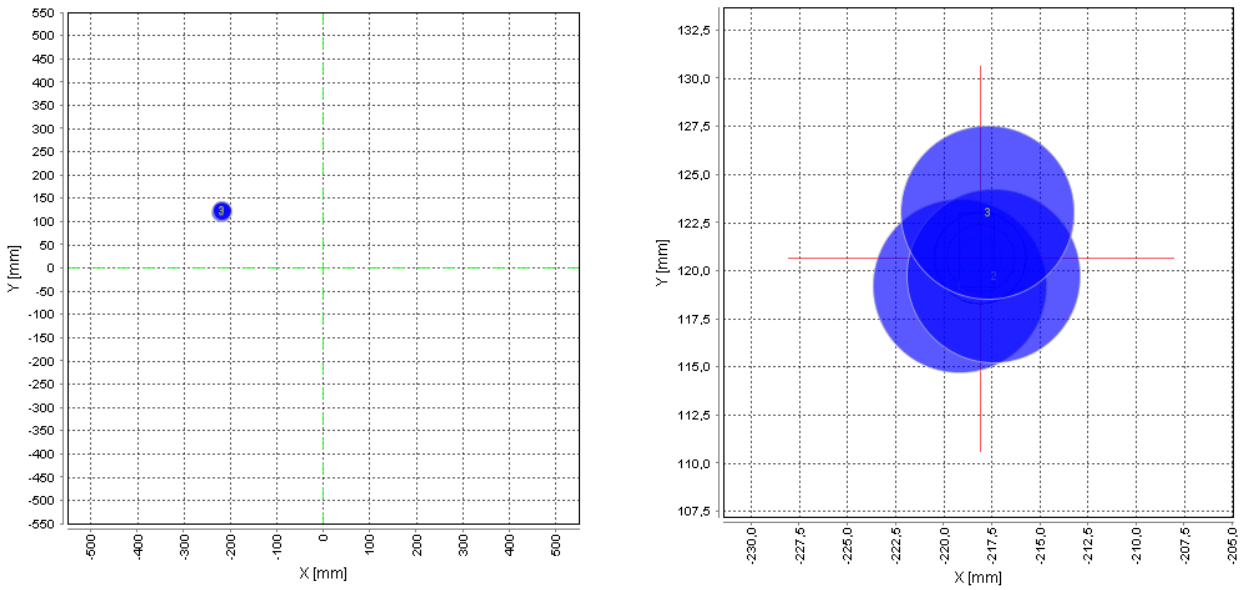


Abbildung 17: *Die Grafik der 3-Schuss-Serie. Am linken Bild ist die gesamt Target-Trefferfläche abgebildet, während das rechten Bild ein Detail davon zeigt.*

1.5.) Export-File

Um grundlegende Messswertsätze (z.B. Gasdruckmesskurvenwerte,…) zur Behandlung im Theorie-

Abbildung 18: *Der Export eines *.csv-Files aus einem abgeschlossenem Messauftrag.*

unterricht (z.B. BWOM & AM: Vergleich mit den innenballistischen Modell nach Heydenreich) zu bekommen, muss, wie in ***Abbildung 18*** ersichtlich, bei einem ABGESCHLOSSENEN Messauftrag mit der rechten Maustaste ein Dialogfenster geöffnet und in diesem der Punkt "Export *.csv" ausgewählt werden. Dieses File (siehe komplett auf dem beiliegenden Datenträger und auszugsweise in ***Abbildung*** *19*) kann nun in z.B. MS-EXCEL weiter verarbeitet werden.

Round 1	Round 1	Round 1	Round 1	Round 2	Round 2	Round 2	Round 2	Round 3	Round 3	Round 3	Round 3
Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4
-10,589954	-3,003918	1,883527	0,75845	0,569051	0,090896	0,365032	0,127262	-0,080919	-0,223491	-0,096921	-0,305176
-10,685637	-3,077034	2,028943	0,75845	0,569051	-0,055337	0,146908	0,009382	0,110446	-0,004141	0,048496	-0,128356
-11,068369	-3,515733	1,883527	0,81739	0,856099	0,164012	0,001491	0,245142	0,58886	-0,223491	0,121204	-0,187296
-10,685637	-3,150151	2,17436	0,81739	0,569051	0,310245	0,365032	0,657722	0,397495	-0,004141	0,339329	0,225284
-9,824492	-2,930801	2,537901	0,75845	0,760417	0,383362	0,292324	0,068322	0,301812	-0,077258	0,630162	0,225284
-10,685637	-2,857685	2,101651	0,52269	0,18632	-0,055337	0,583157	0,245142	-0,080919	-0,223491	-0,024212	-0,010476
-10,781321	-3,003918	2,392484	0,64057	-0,100729	-0,274687	-0,071217	0,009382	-0,176602	-0,515957	-0,387754	-0,069416
-10,972686	-3,223267	1,883527	0,75845	0,473368	0,090896	-0,216634	0,009382	0,58886	-0,077258	0,339329	0,048464
-10,398589	-2,784568	2,17436	0,75845	0,664734	0,164012	0,437741	0,245142	0,110446	-0,077258	0,630162	0,284224
-10,494272	-3,150151	2,392484	0,81739	0,664734	0,164012	0,365032	0,304082	0,110446	0,288325	0,630162	0,461045
-10,589954	-3,3695	2,17436	0,64057	0,18632	0,237129	0,365032	0,480902	-0,176602	-0,369724	0,193912	-0,010476
-10,302906	-2,711452	2,828734	0,93527	0,377685	-0,128454	0,001491	0,186202	-0,080919	-0,296607	-0,242337	0,107404
-11,164051	-3,58885	1,73811	0,58163	0,569051	-0,20157	0,219616	0,068322	0,493178	-0,077258	0,339329	0,284224
-11,259734	-3,515733	1,592694	0,58163	0,951782	0,237129	0,655865	0,539842	0,301812	-0,004141	-0,024212	0,343164
-10,972686	-3,661966	2,101651	0,75845	0,473368	0,383362	0,510449	0,127262	0,397495	-0,077258	0,193912	0,225284
-10,302906	-2,638335	2,247068	0,99421	0,377685	0,090896	0,074199	0,127262	0,301812	-0,077258	0,121204	0,166344
-10,111541	-2,930801	2,828734	0,93527	-0,196411	0,017779	0,365032	0,186202	0,397495	-0,004141	-0,242337	0,048464
-10,877003	-3,150151	1,810819	0,93527	0,569051	0,237129	0,292324	0,245142	0,493178	-0,150374	0,339329	-0,010476
-10,781321	-3,223267	1,883527	0,64057	0,282003	0,164012	0,365032	0,245142	0,493178	-0,077258	0,193912	0,107404
-10,494272	-2,784568	2,247068	0,64057	0,282003	0,164012	0,219616	0,480902	0,397495	-0,369724	-0,315045	-0,128356
-10,398589	-2,784568	2,392484	1,05315	0,760417	0,017779	0,292324	0,127262	0,301812	-0,150374	0,339329	0,048464
-10,302906	-2,930801	2,537901	0,81739	0,473368	0,164012	0,655865	0,245142	0,397495	-0,296607	-0,242337	-0,069416
-10,398589	-3,296384	2,319776	0,93527	0,473368	0,456478	0,365032	0,304082	0,58886	0,142092	0,048496	0,402104
-10,877003	-3,223267	2,247068	0,69951	0,18632	0,310245	0,655865	0,304082	0,206129	0,150374	0,096921	0,166344

Abbildung 19: *Auszug aus einem *.csv-File. Dieses kann in z.B. Excel weiter verarbeitet werden. Hier aufgelistet sind die ersten Druckwerte der einzelnen Messstellen (Ch1 bis Ch4) der 3 Schüsse. Die Messfrequenz (Samplingrate) ist auf 400ps eingestellt, d.h. alle 0,0004ms wird ein Druckwert abgespeichert, was für die Messdauer von ca. 4ms eine Datenmenge von 10.000 Druckwerten pro Kurve ergibt.*

2.) Zusammenfassung

Es wurde, entsprechend der LA1-Angabe (***Anhang 1***), ein Mess-Setup aufgebaut. Dazu wurden die, auch in diesem Protokoll näher angeführten, Messgeräte aufgebaut, angeschlossen und die Messsoftware entsprechend der Bedienungsanleitungen eingestellt. Es wurde von der Software ein Messprotokoll erhalten (siehe ***Anhang 2***) und die erhaltenen Messwerte im vorliegenden Protokoll analysiert und bewertet.
Für die untersuchte Munition von Sellier&Bellot im Kaliber 308Win. 180gr (LosNr. 2337-1) kann gesagt werden, dass sie mit einem durchschnittlichen Maximaldruck von 3180,9 bar rund 1000 bar unterhalb des maximal zulässigen Druckes nach C.I.P. ($p_{max,C.I.P.}$ = 4150 bar siehe ***Anhang 3***) liegt und dabei aus dem Messlauf mit 575mm Lauflänge eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 730,22 m/s erreicht, was für diese Geschoßmasse von 11,7g eine Mündungsenergie von ca. 3123J ergibt. Beide Werte stimmen gut mit den Herstellerangaben (siehe ***Abbildung 20***: v_0 = 735m/s und E_0 = 3160J bei einer Lauflänge von 60cm) überein.

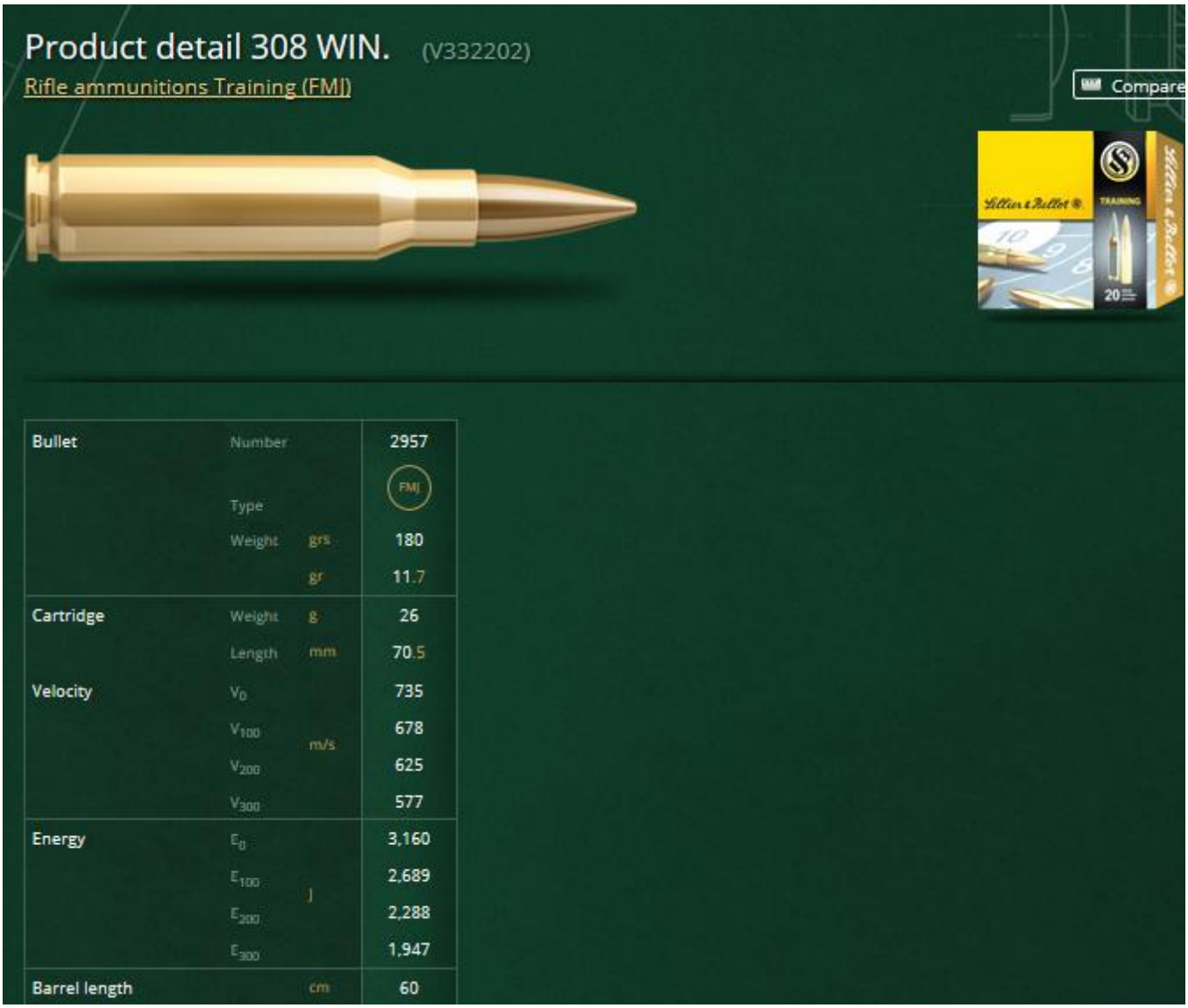


Abbildung 20: *Ballistische Daten der verwendeten Munition. [SELLIER 2015]*

Die Geschwindigkeitsentwicklung im Lauf folgt laut Auswertung der 4 Gasdruckmessstellen dabei ungefähr der Formel:

$$v(x) = v_0 - v_0 \cdot e^{-\frac{x-x_0}{0,1}} = 732,89 - 732,89 \cdot e^{-\frac{x-0,04}{0,1}}$$

Außerhalb des Laufes nimmt die Geschoßgeschwindigkeit, gemessen mit Hilfe der Geschwindigkeitswerte aus dem Doppler-Radar B571 (v_0), der Lichtschranke B471 (v_4) und dem Target (v_{10}), etwa 0,5m/s pro Meter ab.
Das Trefferbild ist mit 1,8x3,8mm äußerst gut, wurde aber mit dem Target nur auf 10m bestimmt, was das Ergebnis relativiert.

Es wurde zur weiteren Verwendung, Auswertung und Verarbeitung im Theorieunterricht (BWOM, AM) sämtliche Messdaten auch als *.csv-Files exportiert.

Vorteilhaft aber aus Zeitgründen leider nicht durchgeführt, wäre die Bestimmung des Geschoßabfall auf 100m, welcher unter Zuhilfenahme des Rotationslasers (ggf. auch der Maschinenwasserwaage zur genauen "Abgangswinkelnullung" des Messlaufes) hätte bestimmt werden können, sowie die Trefferbildauswertung auf diese Distanz gewesen.

3.) Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: *Tabellarische Übersicht über die erhaltenen Messergebnisse.*.....3
Abbildung 2: *Graphische Übersicht über die erhaltenen Gasdruckverläufe.*.....4
Abbildung 3: *Tabellarische Übersicht über die erhaltenen Gasdruck-Messergebnisse.*.....4
Abbildung 4: *Graphische Übersicht über die erhaltenen Gasdruckkurven des 1. Schusses.* 5
Abbildung 5: *Auszug aus dem C.I.P.-TDCC.*.....5
Abbildung 6: *Die Positionen der 4 Gasdruck-Messstellen im 575mm langen Messlauf. Die erste Messstelle liegt C.I.P-konform (Mmaß M im TDCC) 25mm vom Stoßboden entfernt.* 6
Abbildung 7: *Die zeitlichen Differenzen wurde mit Hilfe des Strahlensatzes aus den Gasdruckmesskurven ermittelt. Da die Gasdruckanstiege ziemlich parallel verlaufen, kann auch der Abstand bis zum Erreichen eines bestimmten Druckes (hier 250 bar) zur Bestimmung herangezogen werden.*.....6
Abbildung 8: *Mittels der Positions- und Zeitwerte können die Durchschnittsgeschwindigkeiten (rechts nach der Reihenfolge vom Stoßboden zur Laufmündung sortiert) zwischen den Messstellen errechnet werden. Angenommen wird hierbei erneut, dass diese Durchschnittsgeschwindigkeit in etwa in der Hälfte des Abstandes auftreten, auch wenn der Kurvenverlauf aus Abbildung 9 diese Annahme als inkorrekt beweist.*.....7
Abbildung 9: *Die gemittelten Geschwindigkeiten werden bei den "halbierten" Positionen zwischen den jeweiligen Messstellen (schwarze vertikale Linien) eingetragen (schwarze Rauten) und durch den Anfangspunkt (Geschoßboden hat Geschwindigkeit 0 im gesetzten Zustand bei ca. 42mm) und Endpunkt (Geschoßboden verlässt Lauf mit mittels Doppler-Radar ermittelter v_0) ergänzt (graue Rauten). Eingetragen ist auch eine Näherungsfunktion.*.....7
Abbildung 10: *Spannungs-Zeit-Diagramm des B481AU (Doppler-Radar-Antenne).* 8
Abbildung 11: *Waterfall-Diagramm des B481AU (Doppler-Radar-Antenne).* 9
Abbildung 12: *Waterfall-Diagramm des B481AU (Doppler-Radar-Antenne).* 9
Abbildung 13: *Übersicht über die erhaltenen v-Messergebnisse mittels B481, B471 und B571.*.....10
Abbildung 14: *Mündungsnaher Geschwindigkeitsverlauf des Geschosses.* 10
Abbildung 15: *Die x- und y-Koordinaten der 3 Schuss samt einiger statistische Werte.* 10
Abbildung 16: *Auch wenn die Messsoftware die Trefferauswertung nach mehreren statistischen Kennwerte (z.B. R50,R100,…) erlaubt, wurden hier neben der Koordinaten des Treffermittelpunktes lediglich zwei Größen ausgegeben und zwar die Summe des halben Bereichsumfangs (A+B) sowie der maximale Abstand des entferntesten Schusses vom Treffermittelpunkt.*.....11
Abbildung 17: *Die Grafik der 3-Schuss-Serie. Am linken Bild ist die gesamt Target-Trefferfläche abgebildet, während das rechten Bild ein Detail davon zeigt.* 11
Abbildung 18: *Der Export eines *.csv-Files aus einem abgeschlossenem Messauftrag.* 11
Abbildung 19: *Auszug aus einem *.csv-File. Dieses kann in z.B. Excel weiter verarbeitet werden. Hier aufgelistet sind die ersten Druckwerte der einzelnen Messstellen (Ch1 bis Ch4) der 3 Schüsse. Die Messfrequenz (Samplingrate) ist auf 400ps eingestellt, d.h. alle 0,0004ms wird ein Druckwert abgespeichert, was für die Messdauer von ca. 4ms eine Datenmenge von 10.000 Druckwerten pro Kurve ergibt.*.....12
Abbildung 20: *Ballistische Daten der verwendeten Munition. [SELLIER 2015]*.....13

4.) Literaturverzeichnis

[PRÜMMER 1987] R. Prümmer (1987), *Explosivverdichtung pulvriger Substanzen*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 13-978-3-642-82903-1.

[SELLIER 2015] http://www.sellier-bellot.cz/en/product/rifle-ammunition/rifle-ammunitions-training-fmj/products/detail/219/, 17.06.2015

5.) Anhang

Anhang 1: LA1-Angabe
Anhang 2: BWF 3000 - Messprotokoll
Anhang 3: C.I.P.-Datenblatt TDCC 308Win.

Anhang 1: LA1-Angabe

Laboratorium LA1

EUREGIO HTBLVA FERLACH
HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH

Gegenstand	**Laboratorium LA1**
Klasse	**4AHMBW**
Titel	**ballistische Messtechnik**
Aufgabenstellung	Erarbeiten Sie für ein vorgegebenes Kaliber drei bis zehn ballistische Messgrößensätze (siehe Messaufgabe). Verwenden Sie dazu das Lichtschrankensystem HPI B471, das Doppler-Radar-System HPI B481, das Target System HPI B571, das Gasdruckmesssystem HPI B214 mit einem bzw. mehreren geeigneten Piezoquarzen (GP2, GP6 bzw. GP8 oder QP6000) sowie der zugehörigen Software BWF (Ballistic WorkFrame) HPI B3000. Erstellen Sie ein Protokoll, eine Präsentation und ein EXCEL-File zur weiteren Verarbeitung in den Gegenständen "Angewandt Mathematik (AM)" sowie "Ballistik, Waffenoptik und Munitionslehre (BWOM)".
Messaufgabendetails	Kaliber: **308 Win. Sellier&Bellot 11,7g/180gr FMJ** Bestimmung folgender Messwerte: Mündungsgeschwindigkeit: v_0 mündungsnahe Geschoßverzögerung: a_0 Geschwindigkeit nach 4m: v_4 Geschwindigkeit nach 10m: v_{10} x-Koordinate rel. zur Laufseelenachse bei 10m: x_{10} y-Koordinate rel. zur Laufseelenachse bei 10m: y_{10} maximaler Gasdruck nach C.I.P.: p_{max} **3** weitere **p** zur Geschwindigkeitsbestimmung **im Lauf**
Beurteilungsgrundlage	Protokoll (laut Vorlage) Rechercheteil theoretische Grundlagen zur Messmethodik Funktion Messgeräte Arbeitsteil Erklärung Messaufbau (inkl. Skizzen) Messwertermittlung Handhabung der Messgeräte Handhabung der Mess-Software Vergleich p-t-Kurve B3000 vs. p-t-Kurve EXCEL Präsentation (laut Vorlage) Erklärung Messaufbau (inkl. Skizzen) Messwertermittlung Ergebnisdiskussion EXCEL-Messwerttabelle Ausfertigungsqualität
Kompetenzbereich	– ausgewählte Kompetenzbereiche aus den fachtheoretischen Pflichtgegenständen (hier: BWOM, WATS) – Qualitätssicherung

Seite 1 / 3

Laboratorium LA1

EUREGIO HTBLVA FERLACH
HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH

Beurteilung	Beurteilt wird einerseits das abgegebene Protokoll hinsichtlich Termintreue Fachkompetenz Selbstständigkeit Umfang Dokumentation inkl. Vorlagentreue und andererseits die Endpräsentation der eigenen Messaufgabe mit der Diskussion der Messergebnisse hinsichtlich Aufbau und Umfang der Präsentation fachliche Kompetenz (inkl. Fragenbeantwortung) sprachliche Kompetenz
Relevante(r) Deskriptor(en)	Die Schülerinnen und Schüler: – kennen Sicherheitsmechanismen, Schutzeinrichtungen und die relevanten Vorschriften; – beherrschen den verantwortungsvollen Umgang mit Waffen und Munition und können Prüfungen regelkonform durchführen; – können Prüfpläne erstellen und mögliche Fehlerquellen erkennen sowie Mess- und Prüfgeräte fachgerecht bedienen; – können die Ergebnisse von Messungen verarbeiten, interpretieren und die für Fehlerursachen verantwortlichen Maschinen und Anlagen erkennen; – können die Qualität der Produkte beurteilen und Methoden zur Qualitätsoptimierung erarbeiten; – können geeignete Prüfverfahren für Werk- und Hilfsstoffe auswählen und an entsprechenden Mess- und Prüfgeräten fachgerecht durchführen; – können theoretisch erstellte Modelle mit gemessenen Größen vergleichen und eventuelle Abweichungen interpretieren; – können ballistische Vorgänge messtechnisch erfassen, diese mit Hilfe von Modellen beschreiben und unter Verwendung technischer Hilfsmittel berechnen; – können die Ergebnisse ballistischer Messungen und Berechnungen interpretieren; – kennen die Komponenten und Aufbau von Munition und verstehen die Funktion und Aufgabe unterschiedlicher Munitionstypen;
Lehrstoff	Beschusswesen; Verhalten am Schießstand, sicherheitsrelevante Manipulation mit der Waffe; Transportbestimmungen für Waffen und Munition, allgemeines Schießwesen; Messverfahren zur Beschreibung der Wirkung von Geschossen; Kennzahlen für die Wirkung von Geschossen.

Seite 2 / 3

Laboratorium LA1

Methodisch/Didaktische Hinweise	Zuvor: – Sicherheitsunterweisung – Wiederholung und Abprüfung der Schießstattordnung (Unterschriftenblatt) – Einführung in die ballistische Messtechnik Parallel: – Waffenanalyse (Einzel- bzw. Gruppenarbeit) Arbeitsaufteilung: – Gruppengrößenabhängig Gruppenarbeit von 4-6 Schülern (halbe Gruppe)
Hilfsmittel	HPI Messgeräte, HPI Software, HPI Kalibrations-Set B202, analoge sowie digitale Messgeräte (zB Maßband, Laserentfernungsmesser, Lasernivelliergerät, Maschinen-Wasserwaage), Ziellinienprüfgerät, Laser-Patrone, Bore-Sight, Protokollvorlage, Präsentationsvorlage, Bedienungsanleitungen, Fachbibliothek, Internet
Zeitbedarf in Minuten	*gesamt: 11 Laboreinheiten =11x3x50min. = 1650min.* *dieser Teilbereich:* 3 Laboreinheiten = 3x3x50min. = 450min. *zuvor gemeinsam:* Sicherheitsunterweisung & Messgeräteeinschulung 2 Laboreinheiten = 2x3x50min. = 300min. Fachbibliothek 1 Laboreinheiten = 1x3x50min. = 150min. *danach gemeinsam:* Präsentation & Expertenrunde (mit Befragungen) 2 Laboreinheiten = 2x3x50min. = 300min.
Ersteller/in/nen	DI Ing. Florian Mayer
Schule/Dienststelle	EUREGIO HTBLVA FERLACH
letztes Änderungsdatum	10.09.2014

Anhang 2: BWF 3000 - Messprotokoll

Messprotokoll
Schusskanal
EUREGIO HTBLVA FERLACH

EUREGIO HTBLVA FERLACH
HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH

Basisdaten

Name	4AHMBW_308Win_p1p2p3p4_v0_v10_x10y10
Datum des Versuchs	28.05.2015 10:27:50
MesstechnikerIn Name	**4AHMBW**
Versuchsreihe	**4AHMBW_S&B_308Win._11,7g_IMST**

System

B214 SC (Gasdruckmessung - SignalConditioner)

Name	B214SC
Type	B214SC
Serial Number	101

B214 ADC (Gasdruckmessung - AnalogDigitalConditioner)

Name	B214ADC
Type	B214ADC
Serial Number	310231

Meßquarz (Transducer)

Name	GP6 (Sn.:6613)
Type	GP 6
Serial Number	6613
Name	GP6 (Sn.:6614)
Type	GP 6
Serial Number	6614
Name	GP6 (Sn.:6615)
Type	GP 6
Serial Number	6615
Name	GP6 (Sn.:6616)
Type	GP 6
Serial Number	6616

B471 Lichtschranke

Name	B471 Light Screen
Type	B471 Light Seceen
Serial Number	0001

B481 Doppler Radar

Name	B481-AU Antenna Unit
Type	B481-AU
Serial Number	110039

B571 Target

Name	B571 Target System
Type	B571
Serial Number	21007

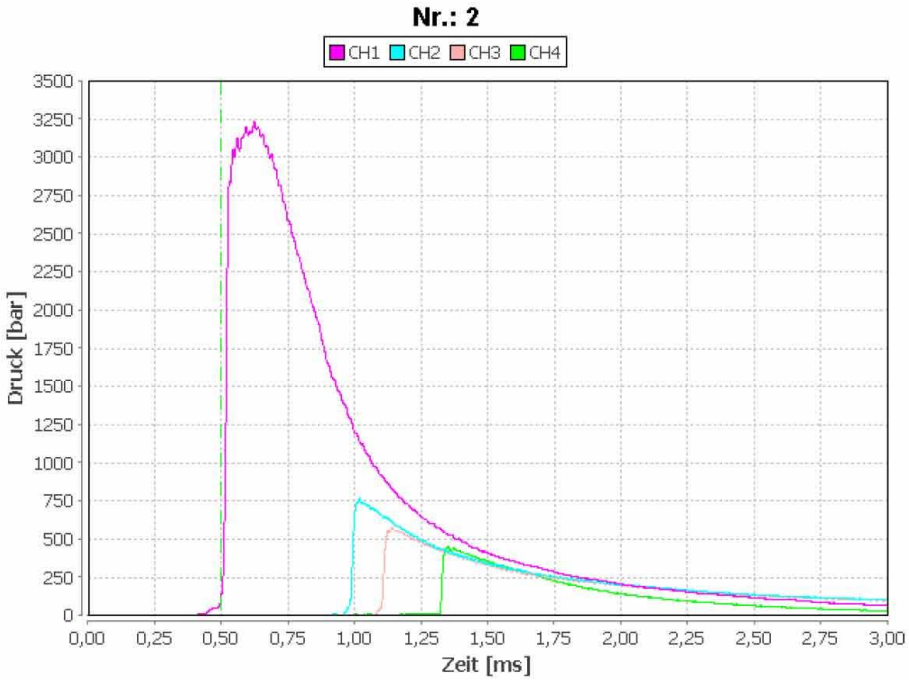
4AHMBW - 28.05.2015 10:27:50 Seite 1 / 8

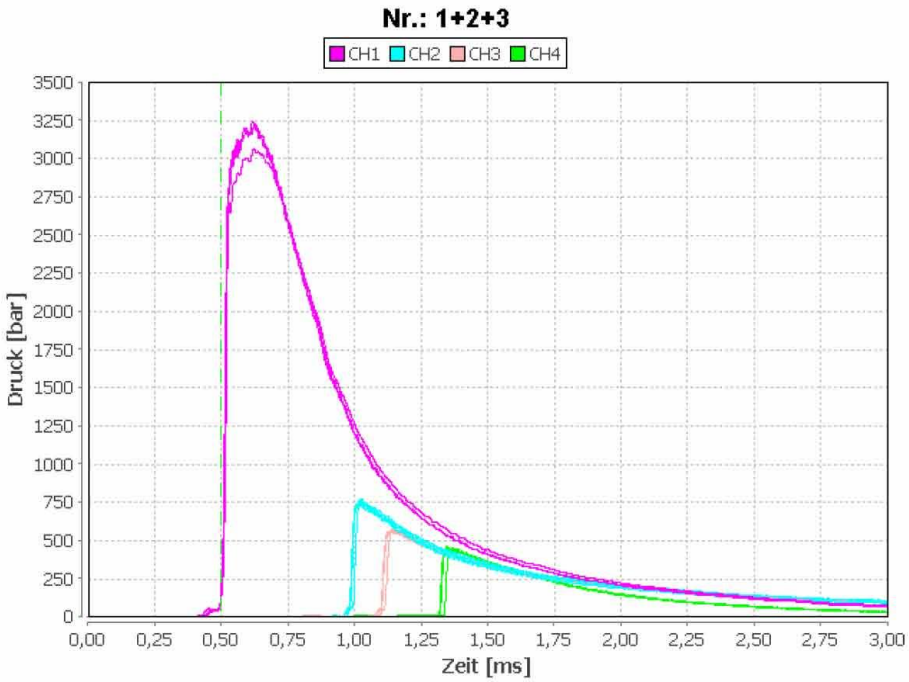
Messprotokoll

Schusskanal

EUREGIO HTBLVA FERLACH

EUREGIO HTBLVA FERLACH — HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH





4AHMBW - 28.05.2015 10:27:50 Seite 4 / 8

Messprotokoll
Schusskanal
EUREGIO HTBLVA FERLACH

EUREGIO HTBLVA FERLACH
HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH

Differenzmesskurven (Difference Graphics):

EPVAT:

EPVAT Results
EPVAT Warnings

CIP:

Pressure string
PII string
Energy string
Conclusion string

Add On Fields:

Add On Field as defined

B481 Doppler Radar

Setup		
	Expected max. Vo	750,0
	Max. distance measured	40,0
	Pre - Trigger	5,0
	Trigger Source	Interner Trigger Sensor
	Position X	0,107
	Position Y	-0,0
	Position Z	-0,415
	Remark	
	Distance to Acoustic Sensor	1,0
	Air Temperature	21,0
	Trigger Delay	7,0
FFT	FFT Mode	AUTOMATIC
	FFT Time	56,0
	FFT Points	2048
	FFT Zero Padding	1024
	FFT Delta T	0,056
	FFT Sensitivity	5,0
DAQ	Type	B481-JB Junction Box
	Serial Number	B481-JB
	DAQ Device Name	110038
	Sample Rate	B481DAQ110038
	Scale	1,25
	Type	5,0
Antenna	Name	B481-AU Antenna Unit
	Type	B481-AU
	Serial Number	110039
	Sensor Delay	100
	Frequency	24,15

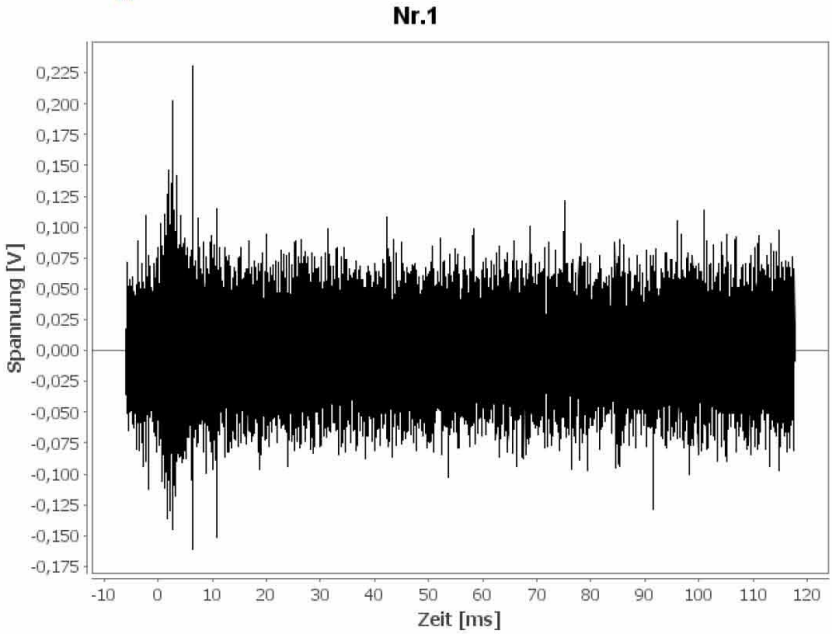
4AHMBW - 28.05.2015 10:27:50 Seite 5 / 8

Messprotokoll
Schusskanal
EUREGIO HTBLVA FERLACH

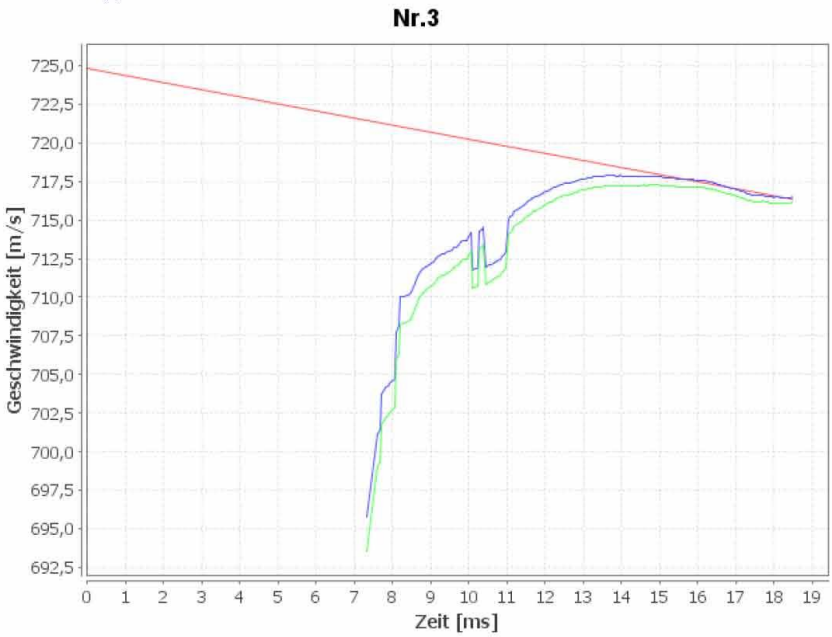
EUREGIO HTBLVA FERLACH
HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH

Messkurven (Graphics):

Doppler



v(t)

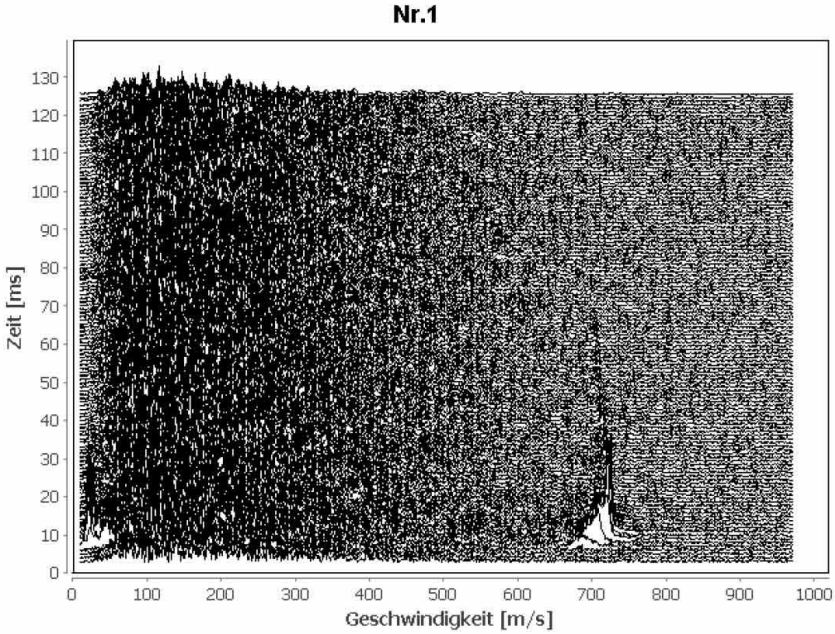


4AHMBW - 28.05.2015 10:27:50 Seite 6 / 8

Messprotokoll
Schusskanal
EUREGIO HTBLVA FERLACH

EUREGIO HTBLVA FERLACH
HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH

Waterfall



a(s)

a(t)

s(t)

v(s)

B571 Target System

Ergebnisauflistung (Result):

Result Table

Berechnung	Wert[mm]
Mittlerer Treffpunkt X	-218,1
Mittlerer Treffpunkt Y	120,6
Summe A+B	5,6
Größte Entfernung	4,1

Statistic

null	**null**

Groups

Limits

Mittlere max. Gasdruck im zulässigen Bereich

4AHMBW - 28.05.2015 10:27:50 Seite 7 / 8

Messprotokoll

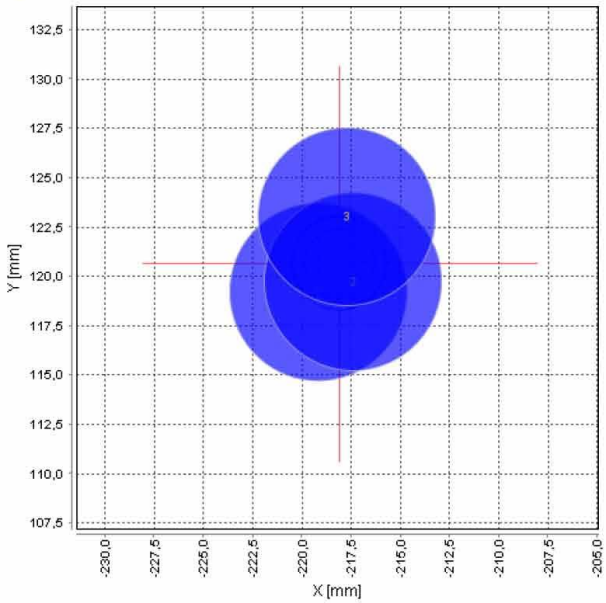
Schusskanal

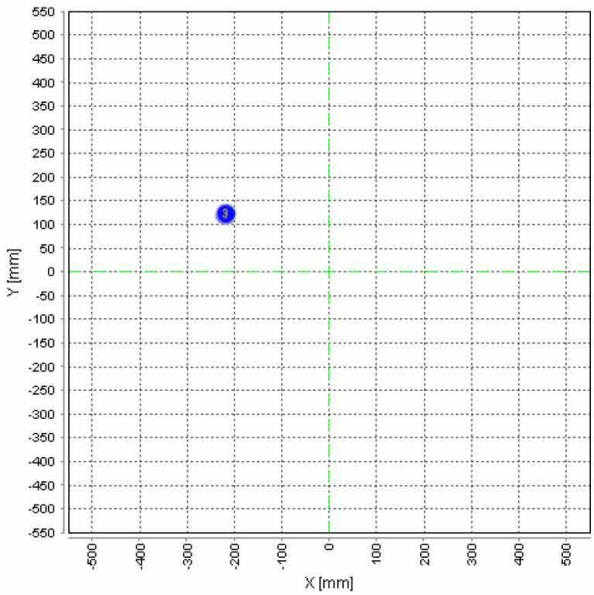
EUREGIO HTBLVA FERLACH

EUREGIO HTBLVA FERLACH — HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- & VERSUCHSANSTALT FERLACH

Messkurven (Graphics):

Graphic





28.05.2015	Messgruppe 3 - Hofer	*Unterschrift Hofer*
Datum	Messtechniker	Unterschrift

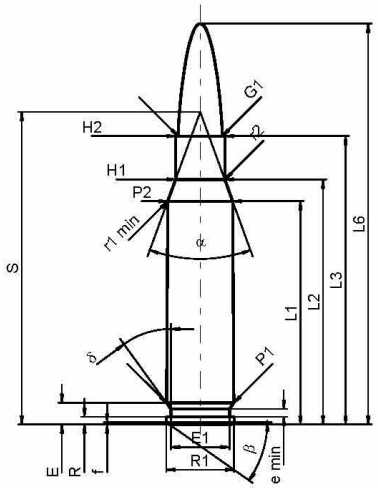
4AHMBW - 28.05.2015 10:27:50 Seite 8 / 8

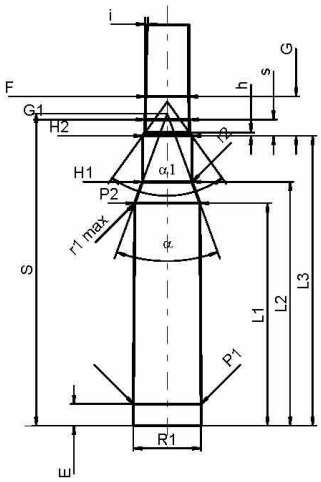
Anhang 3: C.I.P.-Datenblatt TDCC 308Win.

Tabellen der Abmessungen der Patronen und Patronenlager

Die Zustimmung der C.I.P. zur Vervielfältigung der C.I.P.-TDCC durch die HTBLVA-Ferlach im Zuge ihrer Lehr- und Veröffentlichungstätigkeit liegt bei Prof. DI Ing. Florian Mayer vor.

TABELLE I	308 Win.	TAB.	I
	Ursprungsland: US	Datum	84-06-14
		Revision	02-05-15





Maßstab 1:1

PATRONE MAXI

Längen			
L1 ¹)	=	39.62	-0.20
L2 ¹)	=	43.48	-0.20
L3 ¹)	=	51.18	
L4	=		
L5	=		
L6	=	71.12	
Hülsenboden			
R	=	1.37	
R1	=	12.01	
R3	=		
E	=	3.85	
E1	=	10.39	
e min	=	1.40	
δ	=	36°	
f	=	0.38	
β	=	35°	
Pulverkammer			
P1	=	11.96	
P2 ¹)*	=	11.53	-0.20
Schulterkonus			
α *	=	40°	
S *	=	55.46	
r1 min	=	0.76	
r2	=	3.18	
Hülsenhals			
H1 *	=	8.72	
H2 ¹)	=	8.72	
Geschoss			
G1 ¹)	=	7.85	
G2	=		
F	=		
L3+G ¹)	=	58.16	
Drücke (Energien)			
Mech. elektr. Wandler			
Pmax	=	4150 bar	
PK	=	4773 bar	
PE	=	5190 bar	
M	=	25.00	
EE	=	3920 Joule	
Verschiedene Daten			
Fe ¹)	=	0.10	
delta L	=	0.10	

PATRONENLAGER MINI

Längen			
L1	=	39.48	
L2	=	43.28	
L3 ¹)	=	51.44	
Stoßboden			
R	=		
R1	=	12.03	
R2	=		
R3	=		
r	=		
Pulverkammer			
E	=	3.85	
P1 ¹)	=	11.99	
P2 *	=	11.56	
Schulterkonus			
α ¹)*	=	40°	
S *	=	55.36	
r1 max	=	0.76	
r2	=	3.68	
Hülsenhals			
H1 *	=	8.79	
H2 ¹)	=	8.74	
Geschossübergang			
G1 ¹)*	=	7.87	
G ¹)	=	6.98	
α1 *	=	71°26'	
h	=	0.60	
s	=	2.89	
i ¹)*	=	1°45'	
w	=		
Lauf			
F ¹)*	=	7.62	
Z ¹)	=	7.82	
Züge			
b	=	4.47	
N	=	4	
u	=	305.00	
Q	=	47.51	mm²

Bemerkungen: 1) Kontrolle aus Sicherheitsgründen
* Grundmaße

Maße in << mm >>
Maße und Toleranzen für Messläufe

ANHANG CR 1

Vervielfältigung, auch auszugsweise, ohne Zustimmung der C.I.P. verboten.