

Beschuss großer Gelatineblöcke – Prüfkriterien

Ergebnisse zu Vorversuchen mit der ballistischen Prüfsimulanz Gelatine

15.03.2024, Bundesinstitut für Risikobewertung

Ingo Rottenberger, Annett Martin, Ellen Ulbig, Johann Höcherl
Abt. 8/FG: 8SZ Abt. 3/FG: 33 Abt. 8/FG: 84 Universität der Bundeswehr

Ziel der Vorversuche

Klärung von Fragestellungen aus den internationalen Fachgesprächen am BfR

Welche Vorversuche wurden durchgeführt?

VV 1: Ermittlung der Kerntemperatur von Gelatineblöcken während der Abkühlphase

VV 2: Einfluss der Gelatinegussform auf Ergebnisse bei Beschussversuchen

VV 3: Einfluss der Lagerdauer von Gelatineblöcken auf Ergebnisse bei Beschussversuchen

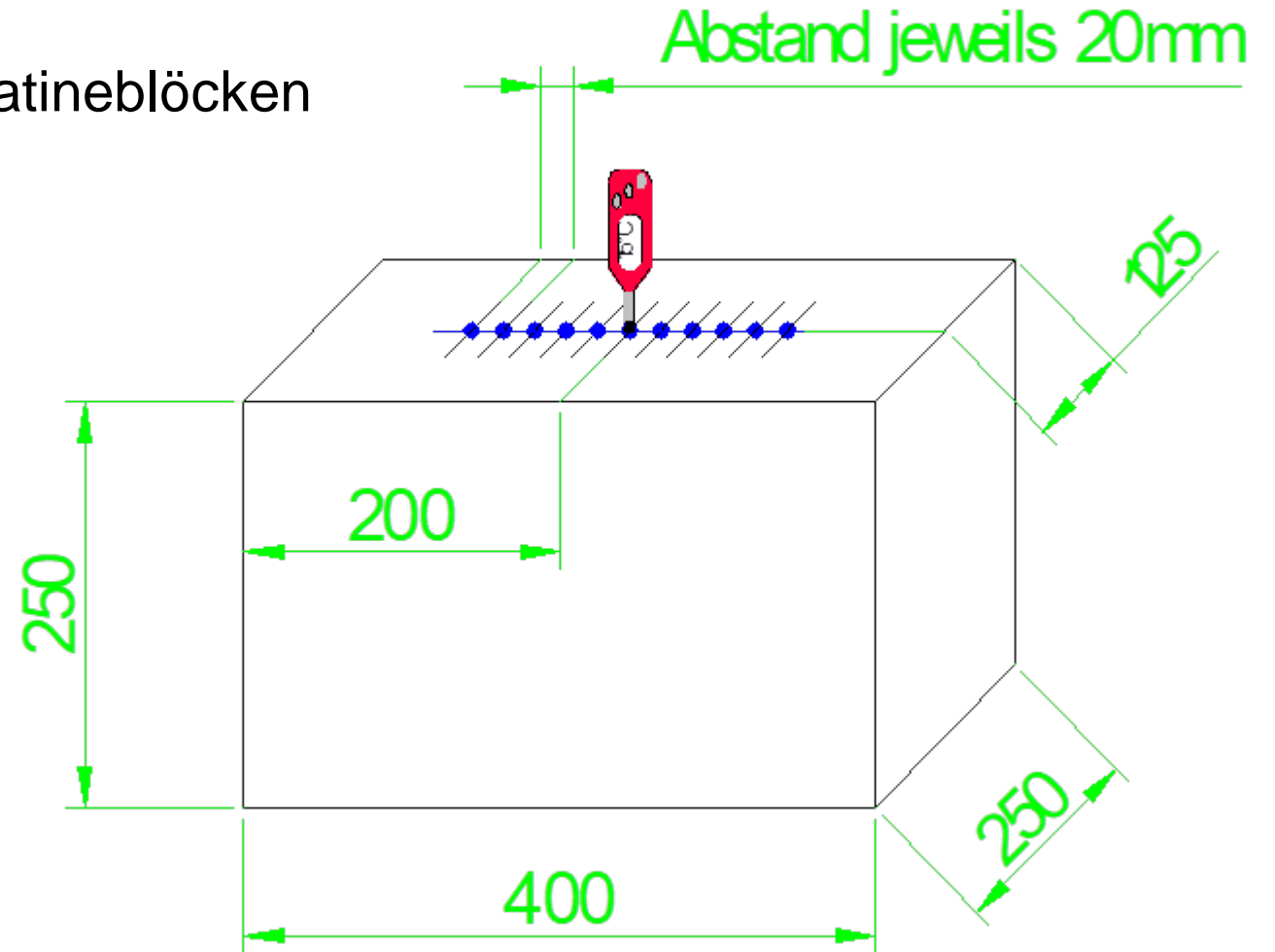
Durchführung im Beschussamt Ulm

Beteiligte: Ingo Rottenberger, Ellen Ulbig

Statistik: Annett Martin

Vorversuch 1

Ermittlung der Kerntemperatur von Gelatineblöcken während der Abkühlphase



Vorversuch 1

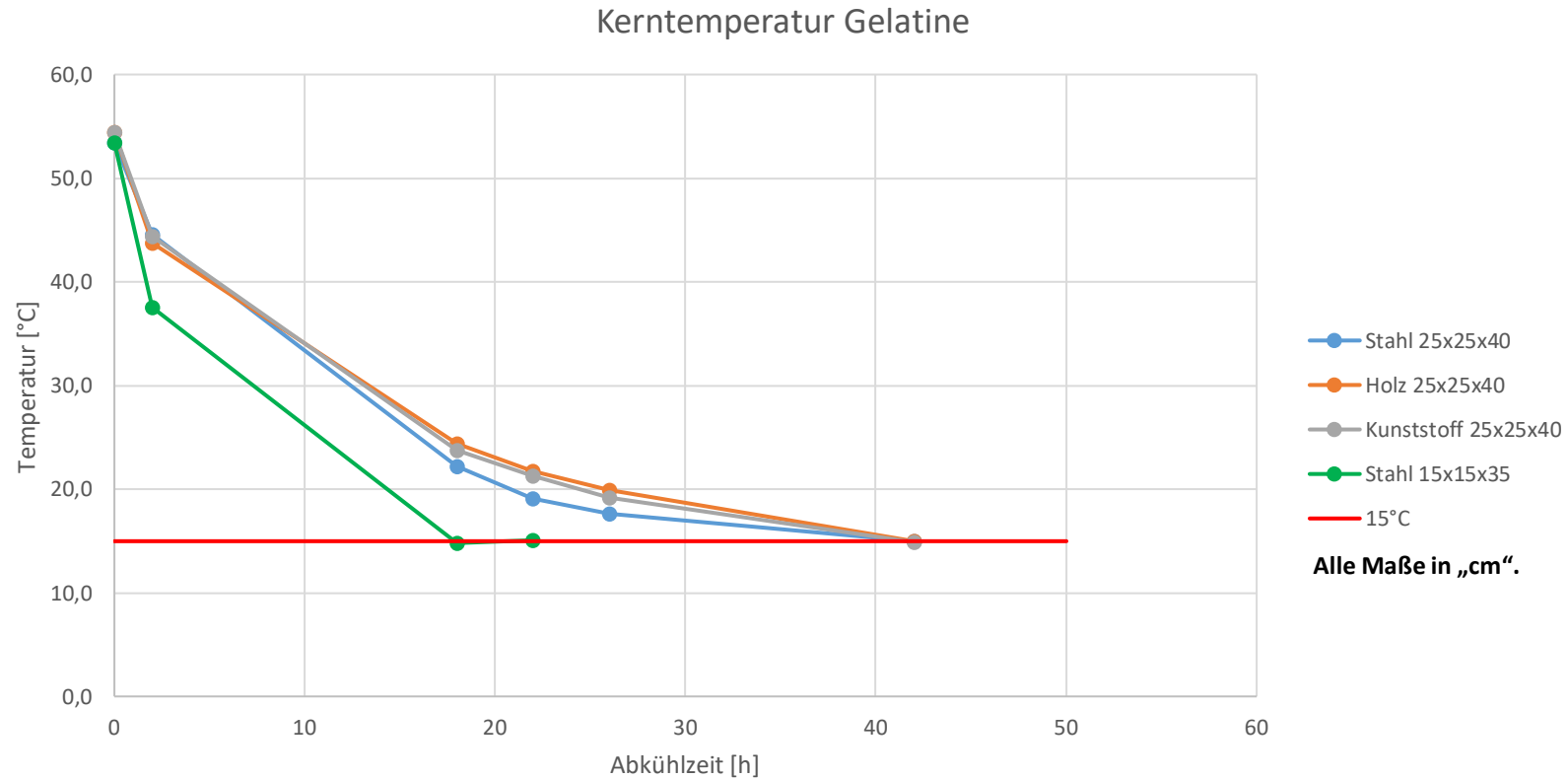
Ergebnisse:

Beschussamt Ulm

Tag	Uhrzeit	Abkühldauer [h]	Stahl [°C]	Holz [°C]	Kunststoff [°C]	Block 15cm x 15cm x 35cm [°C]	Bemerkungen
15.11.2021	14:00	0	53,5			53,5	Blöcke gegossen
15.11.2021	16:00	2	44,6			37,6	
16.11.2021	08:00	18	22,2			14,8	Gelatine aus Form 15 x 15 x 35 entnommen Gelatine aus Form 25 x 25 x 40 entnommen
16.11.2021	12:00	22	19,1		Messung beendet	15,1	
16.11.2021	16:00	26	17,7				
17.11.2021	08:00	42	15,0				Messung beendet
22.11.2021	14:00	0		54,5	54,5		Blöcke gegossen
22.11.2021	16:00	2		43,8	44,4		
23.11.2021	08:00	18		24,4	23,8		
23.11.2021	12:00	22		21,8	21,3		
23.11.2021	16:00	26		19,9	19,2		Blöcke aus Formen genommen
24.11.2021	08:00	42		15,0	14,9		Messungen beendet

Vorversuch 1

Ergebnisse:



Für alle Gussformmaterialien (25cm x 25cm x 40cm): Mindestkühlzeit 42 Stunden bis zum Erreichen von 15°C Kerntemperatur

Vorversuche 2 + 3

Beschussplanung und -durchführung im Beschussamt Ulm

Ablauf BfR-Versuche

	Woche 1						Woche 2						Woche 3					
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa
Kunststoff F	K		L2															
Kunststoff F	K		L2															
Metall L4			M			L4												
Metall L4			M			L4												
Metall L7		M				L7												
Metall L7		M				L7												
Kunststoff F							K		L2									
Holz F							H		L2									
Metall L4								M			L4							
Metall L7								M			L7							
Holz F													H		L2			
Holz F													H		L2			
Metall L2 F				M		L2												
Metall L2 F				M		L2												
Metall L2 F										M		L2						

Summen

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	Summe
Herstellen/Konditionieren	2	2	2	2			2	2		1			2						15
Auslagern/Lagern			2	2	2	2			2	2		1				2			15
Beschuss					2		2	2		2	2		2			1	2		15

Konditionierung Metall/Holz/Kunststoff	M/H/K
L2	L2
L4	L4
L7	L7
Beschuss	

Quelle: BA Ulm

Vorversuch 2

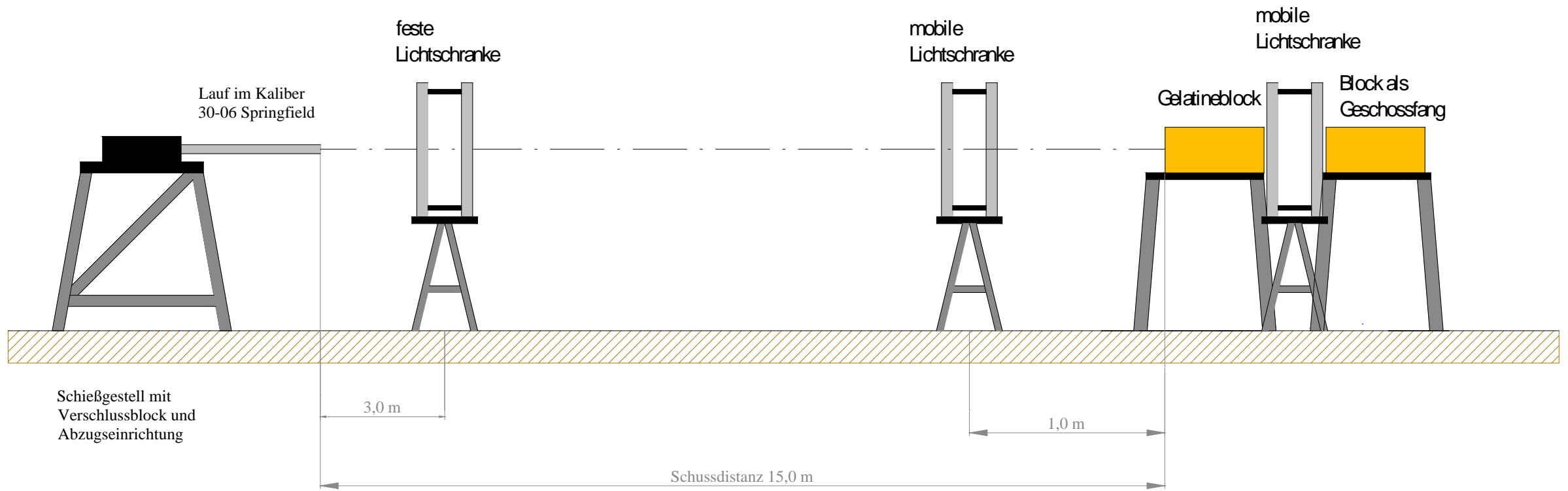
Einfluss der Gelatinegussform auf Ergebnisse bei Beschussversuchen



Hypothese:

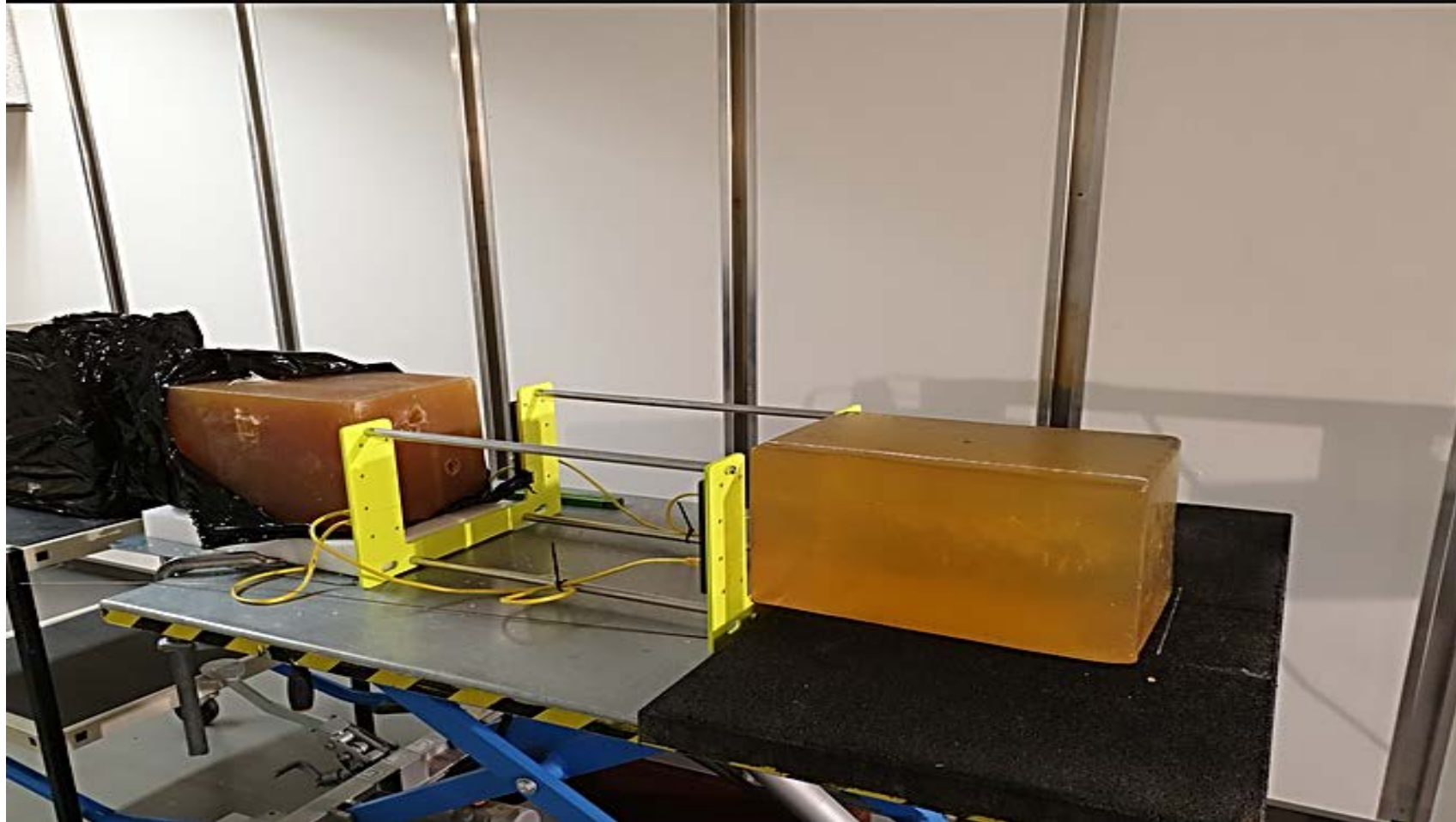
Ein nachträgliches Erwärmen der Metallgussformen hat keinen signifikanten Einfluss auf die Risslängenausbildung in großen Gelatineblöcken im Vergleich zur Verwendung anderer Gussformen.

Vorversuch 2

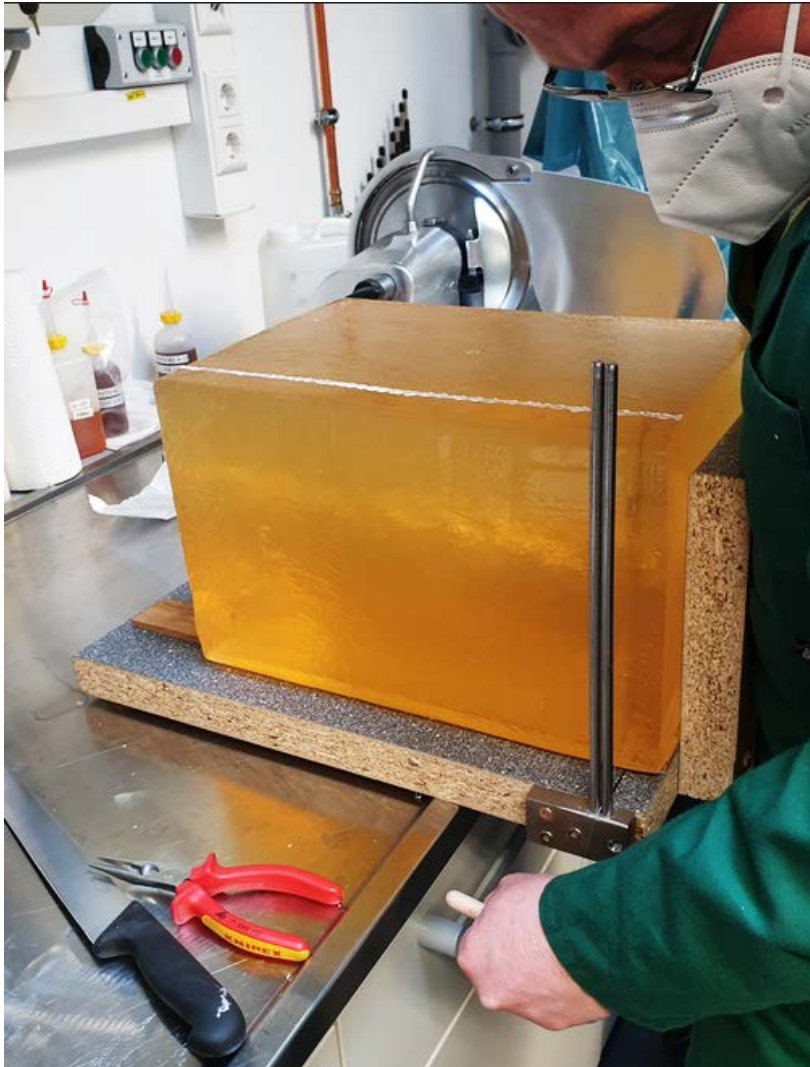


Zeichnung nicht maßstäblich!

Vorversuch 2



Vorversuch 2

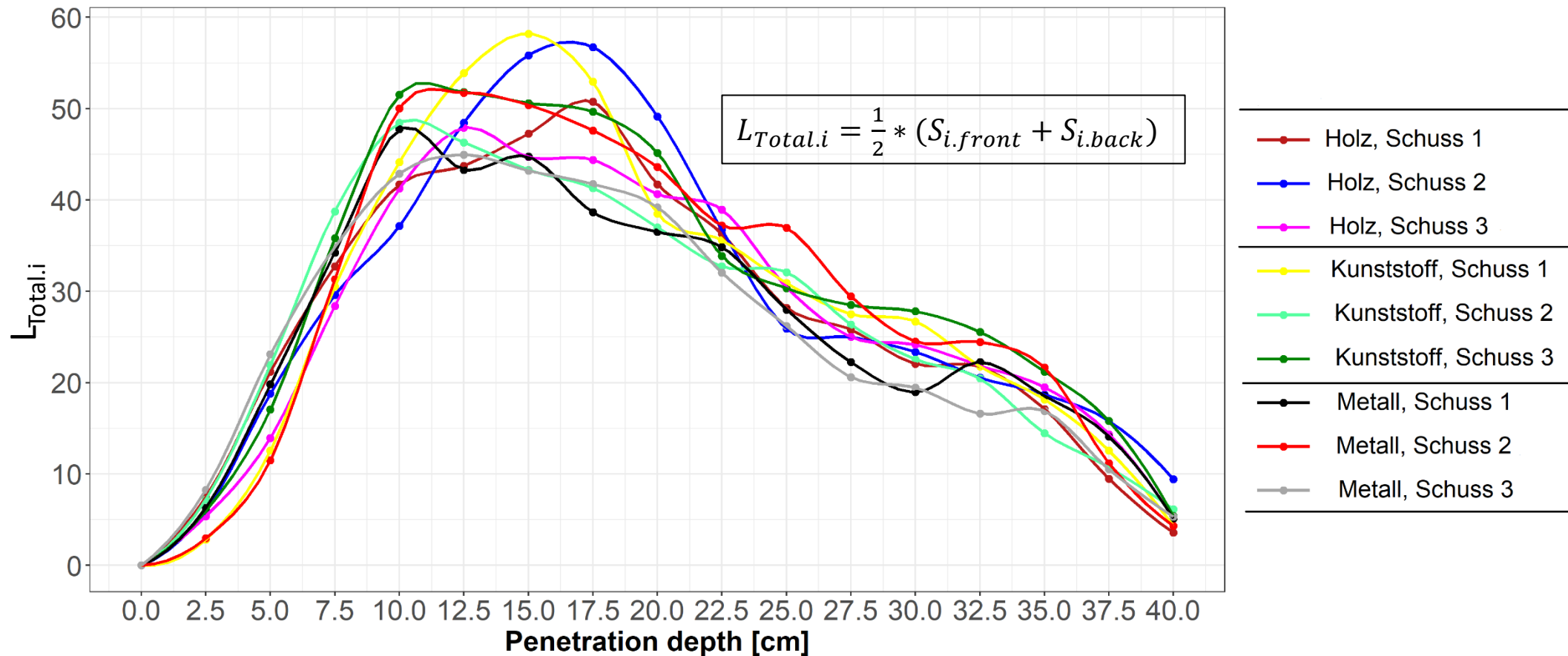


Vorversuch 2

Vorversuche 2+3 - Gelatine													
Geschoss:	Barnes TTSX	10,7 g	(165 grains)	Kaliber: 30-06 Springf.				Nr.: #30368					
	VZiel nom.	700 m/s	VTol.:	±10 m/s									
Beschusstag	Beschuss-Nr.	Umgebungsbedingungen		Geschoss								Lage der Geschosspitze	
		Temperatur [°C]	Luftfeuchtigkeit [%]	mZiel [g]	VZiel [m/s]	EZiel [J]	Eindringtiefe [cm]	Ø _{maxRest}	mRest [g]	VRest [m/s]	E _{Rest} [J]	Tiefe [cm]	radialer Abstand [mm]
25.03.2022	Kunststoff F - 1	20,5	21,5	10,69	708	2677	75	12,4	10,65	-	-	nichts gefunden	
	Kunststoff F - 2	20,5	22,2	10,69	701	2629	77	12,0	10,47	219	251	6,2	24
28.03.2022	Metall L2 F - 1	20,0	26,1	10,69	691	2550	75	12,3	10,63	240	305	3,0/6,0/>30,0	6/20/0
	Metall L2 F - 2	20,2	26,7	10,69	710	2697	64	12,1	10,63	248	326	4,0/7,0/10,0	7-8/16/43
29.03.2022	Metall L4 - 1	20,6	23,7	10,69	704	2648	75	12,4	10,64	228	277	3	18
	Metall L4 - 2	20,8	25,8	10,69	707	2670	55	13,1	10,61	169	151	2,5/5,5/10,5/20,5	12/20/9,5/63
31.03.2022	Metall L7 - 1	21,3	35,4	10,69	708	2682	64,5	12,7	10,63	213	242	2/10,6	10/14
	Metall L7 - 2	21,4	35,6	10,69	709	2690	65	11,7	10,29	180	167	3,1	18
01.04.2022	Kunststoff F - 3	21,2	28,3	10,69	696	2585	67,5	12,4	10,62	244	315	4,5/7,5/35	7/9/8
	Holz F - 1	21,2	29,0	10,69	704	2648	77	12,1	10,64	227	274	3,3/5,2/5,2/23	0,5/9/18/71
04.04.2022	Metall L4 - 3	21,0	18,1	10,69	699	2611	70	12,2	10,63	217	250	2,8/3,3/4,7/14,7	5/8/20/28
	Metall L2 F - 3	21,1	19,1	10,69	696	2589	63	12,4	10,46	217	246	2,9/4,3/5,3	0/24/0
07.04.2022	Metall L7 - 3	21,4	33,3	10,69	699	2615	>40	-	-	94	-	6,5/7,7	31/35
08.04.2022	Holz F - 2	21,5	29,1	10,69	705	2655	70	12,7	10,65	81	35	5/3,7/4,3/4,3/14,7	10/0/5/11/48
	Holz F - 3	21,3	31,1	10,69	694	2577	53	12,3	10,63	254	344	2,5/5,0/7,3/10	8/5/16/26

Vorversuch 2 – Verläufe der Risslängen bei Verwendung verschiedener Gussformen

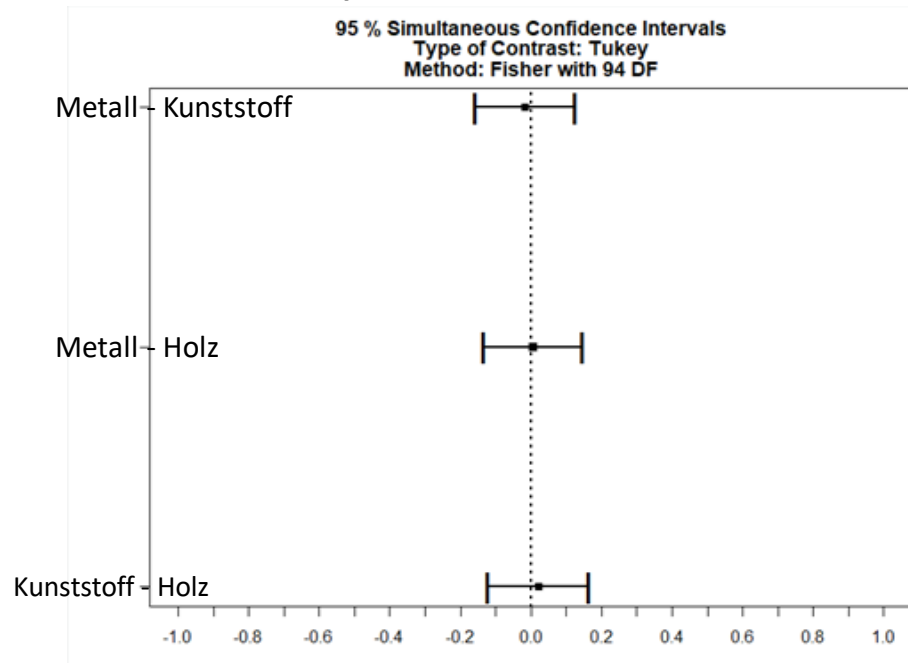
2 Tage Lagerdauer



Vorversuch 2 – Vergleich der Risslängen bei Verwendung verschiedener Gußformen

1. Univariate Analyse

Nichtparametrischer Post-hoc-Test nach Tukey



2. Multivariate Analyse

Generalisiertes additives Modell (GAM)



Verlauf der Risslängen entlang der Eindringtiefe ist nicht linear.



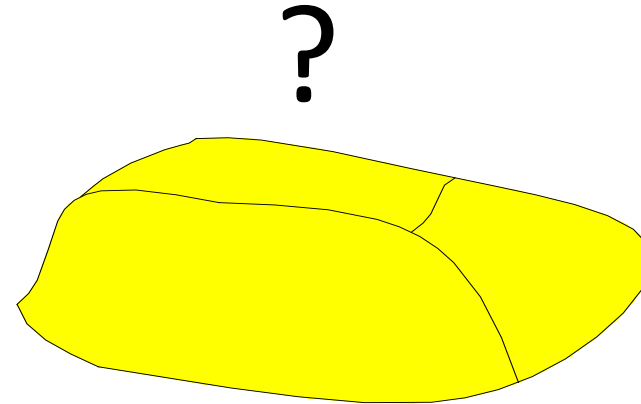
$$\begin{aligned} \log(L_{Total,i}) &= \beta_0 + s(\text{penetration depth}, bs = "cr", k=5) \\ &+ s(\text{shot}, bs = re) + \text{casting form} + \varepsilon \end{aligned}$$

Referenz: Metallgussform

Ergebnis: Kein Unterschied in Risslängen bezüglich der Gussform.

Vorversuch 3

Einfluss der Lagerdauer von Gelatineblöcken auf Ergebnisse bei Beschussversuchen

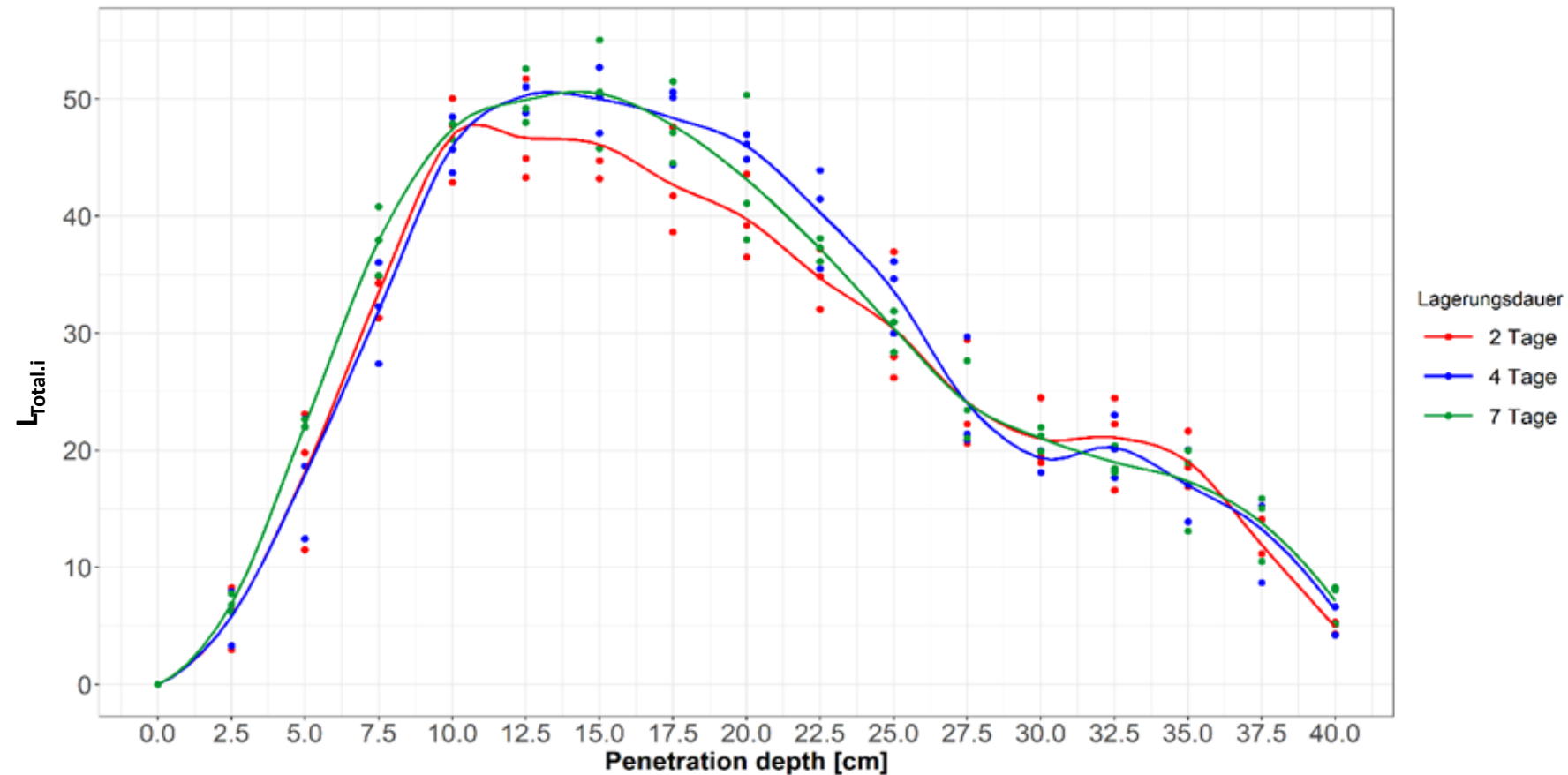


Hypothese:

Die Lagerdauer hat einen signifikanten Einfluss auf die Risslängenausbildung in großen Gelatineblöcken.

Vorversuch 3 – Verläufe der Risslängen bei unterschiedlicher Lagerdauer

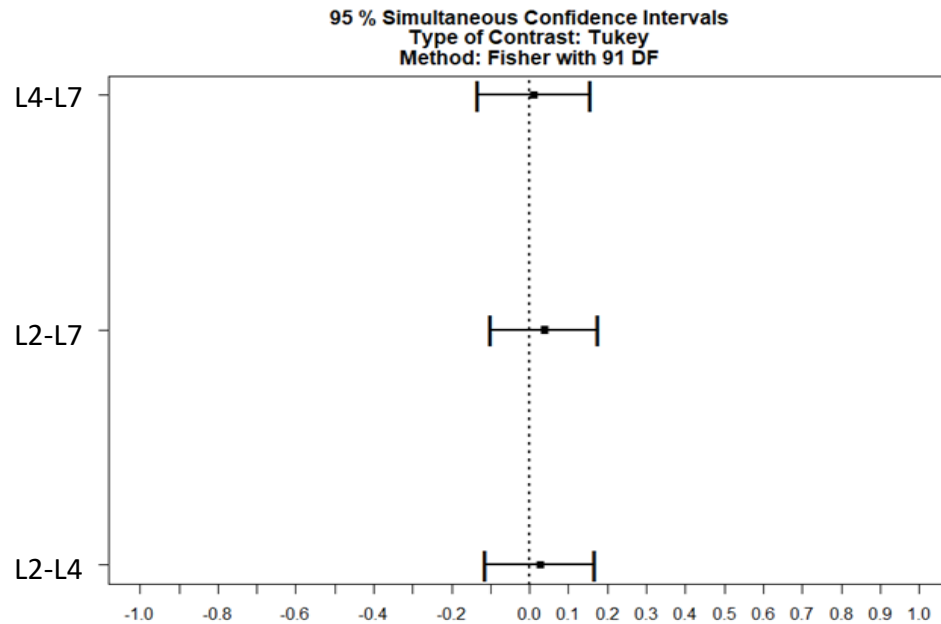
Metallgussformen



Vorversuch 3 – Vergleich der Risslängen bei unterschiedlicher Lagerdauer (Metallgussform)

1. Univariate Analyse

Nichtparametrischer Post-hoc-Test nach Tukey



2. Multivariate Analyse

Generalisiertes additives Modell (GAM)

↓
Verlauf der Risslängen entlang der Eindringtiefe ist nicht linear.

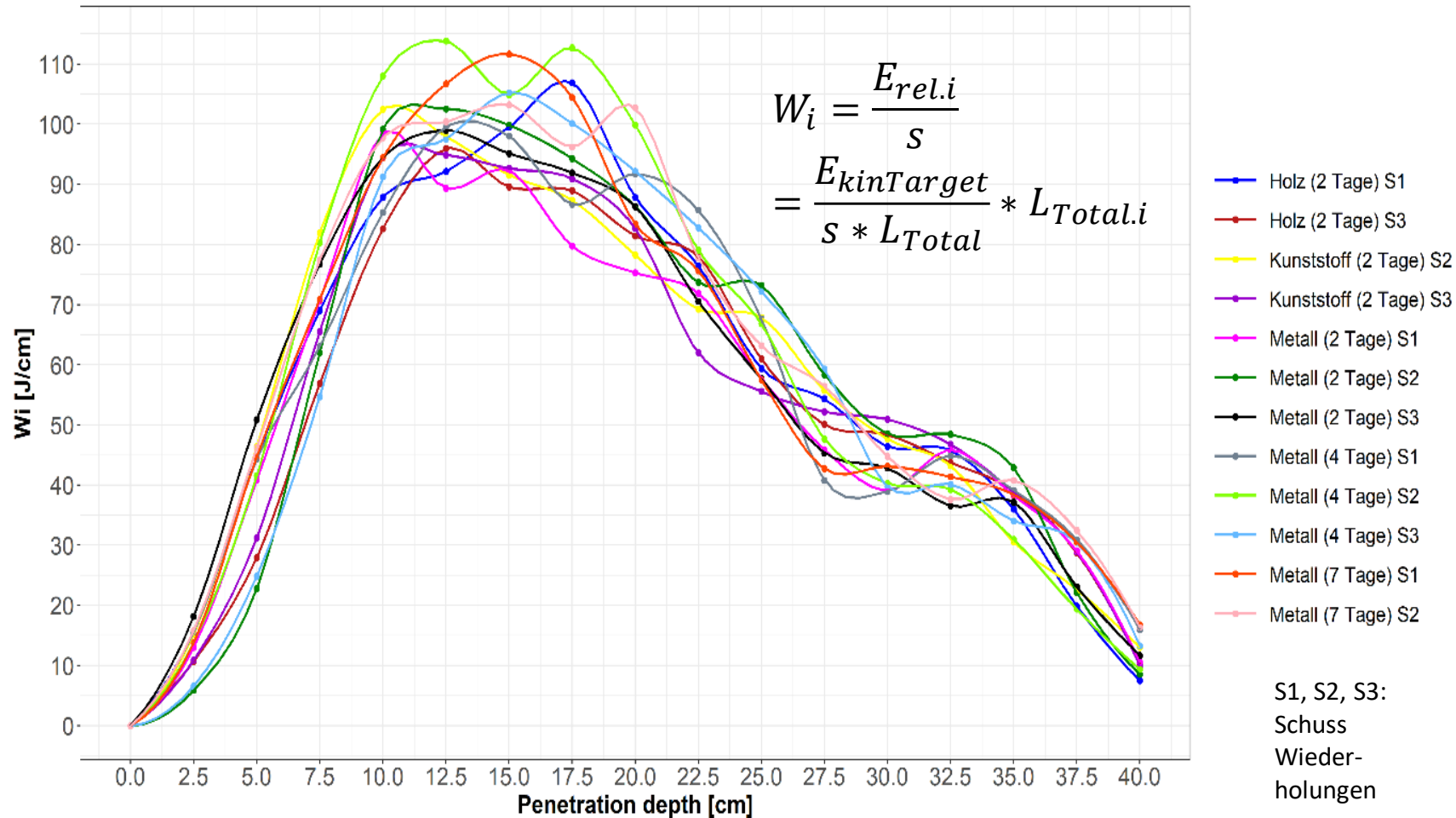
↓

$$\begin{aligned} \log(L_{Total,i}) &= \beta_0 + s(\text{penetration depth}, bs = "cr", k=5) \\ &+ s(\text{shot}, bs = re) + \text{storage period} + \varepsilon \end{aligned}$$

Referenz: 7 Tage Lagerdauer

Kein Unterschied bezüglich der Lagerdauer. (Es gibt lediglich einen Trend im GAM-Modell, dass die Risse nach 7 Tagen Lagerdauer länger ($p=0,07$) sind im Vergleich zu 2 Tagen Lagerdauer).

Weitere Ergebnisse - Wirksamkeitsbetrachtungen



Wirksamkeitsmaximum:

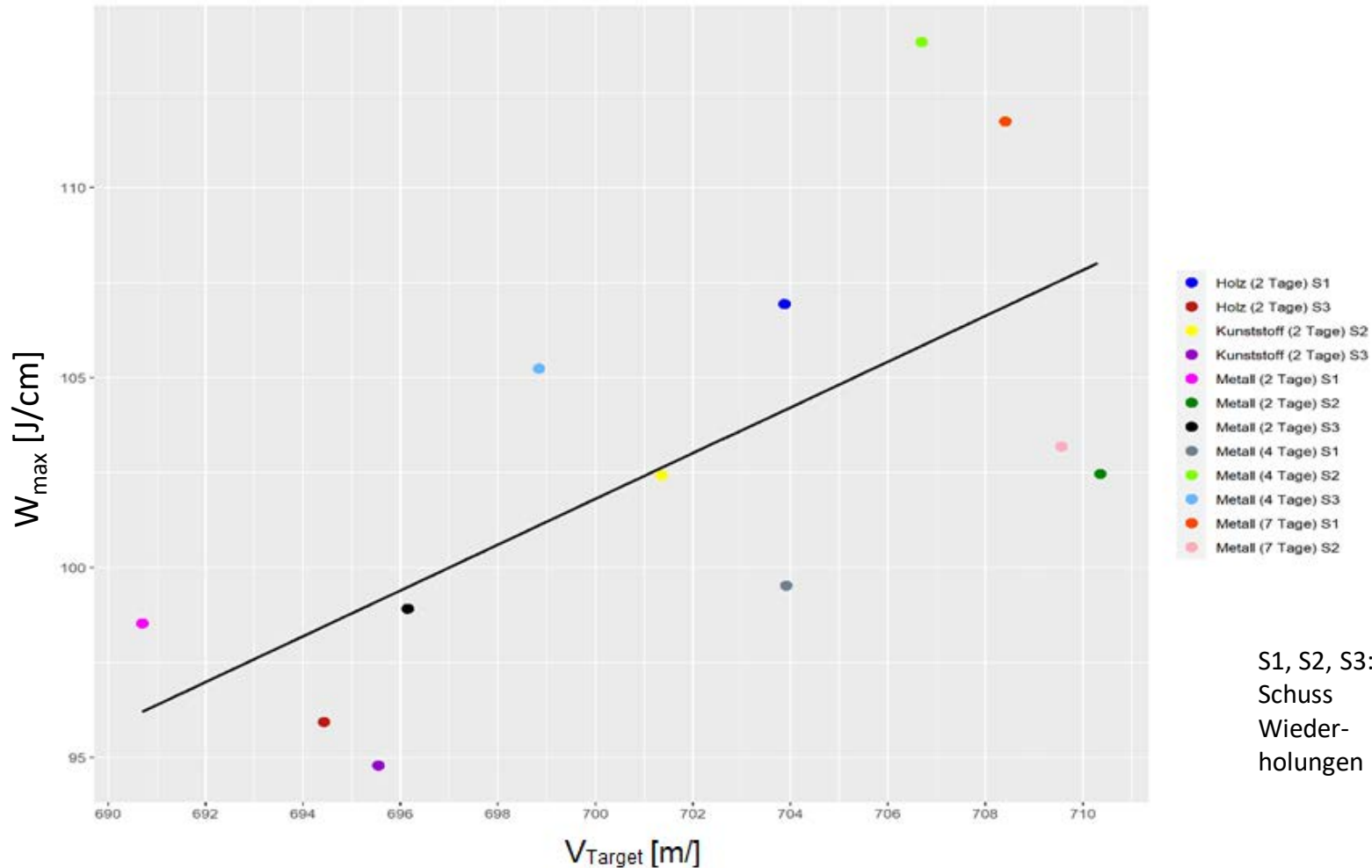
Max: 113,8 J/cm
(Metallgussform, 4 Tage Lagerdauer, Schuss 2)

Min: 94,8 J/cm
(Kunststoffgussform, 2 Tage Lagerdauer, Schuss 3)

↓

Differenz 19 J/cm (~ 17%)!

Weitere Ergebnisse – Zusammenhang W_{\max} und V_{Ziel}

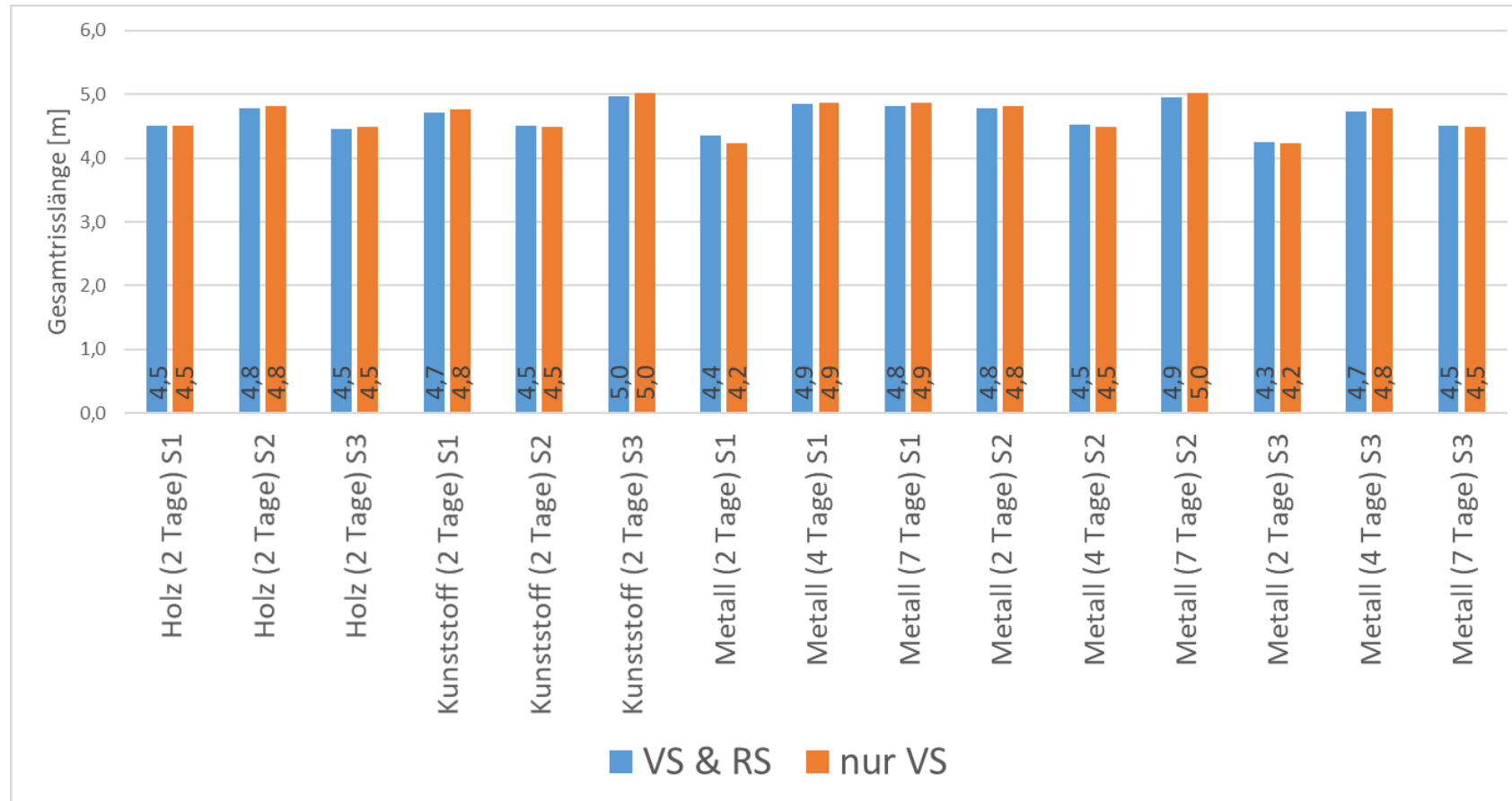


$$y = 0.6x - 320, R^2=0,44$$

Mit steigender
Zielgeschwindigkeit nimmt
Geschosswirksamkeit zu!

Wie erwartet!

Weitere Ergebnisse – Vergleich Gesamtrisslängen Vorderseite (VS) & Rückseite (RS) mit Risslängen nur VS



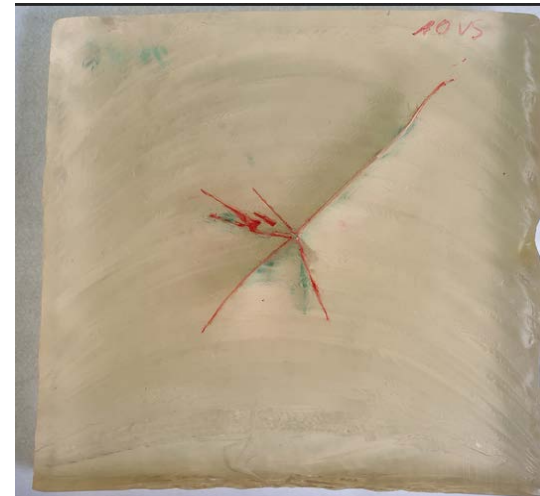
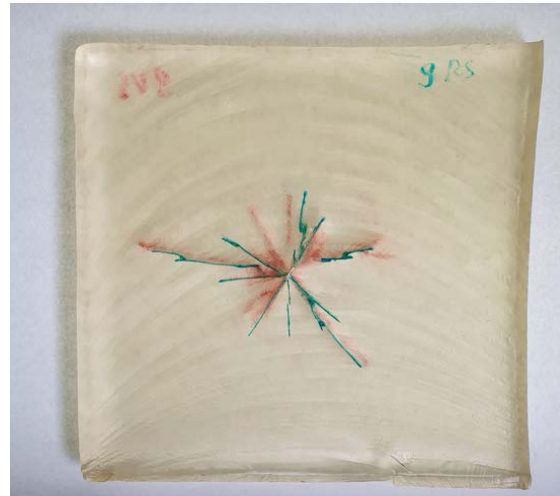
Kein Unterschied ($p=0,2$ Wilcoxon-Test) zwischen Gesamtrisslängen bei Messung VS und RS im Vergleich zur Messung nur VS.

S1, S2, S3:
Schuss
Wiederholungen

Sonstige Ergebnisse

Richtung der Risslängen

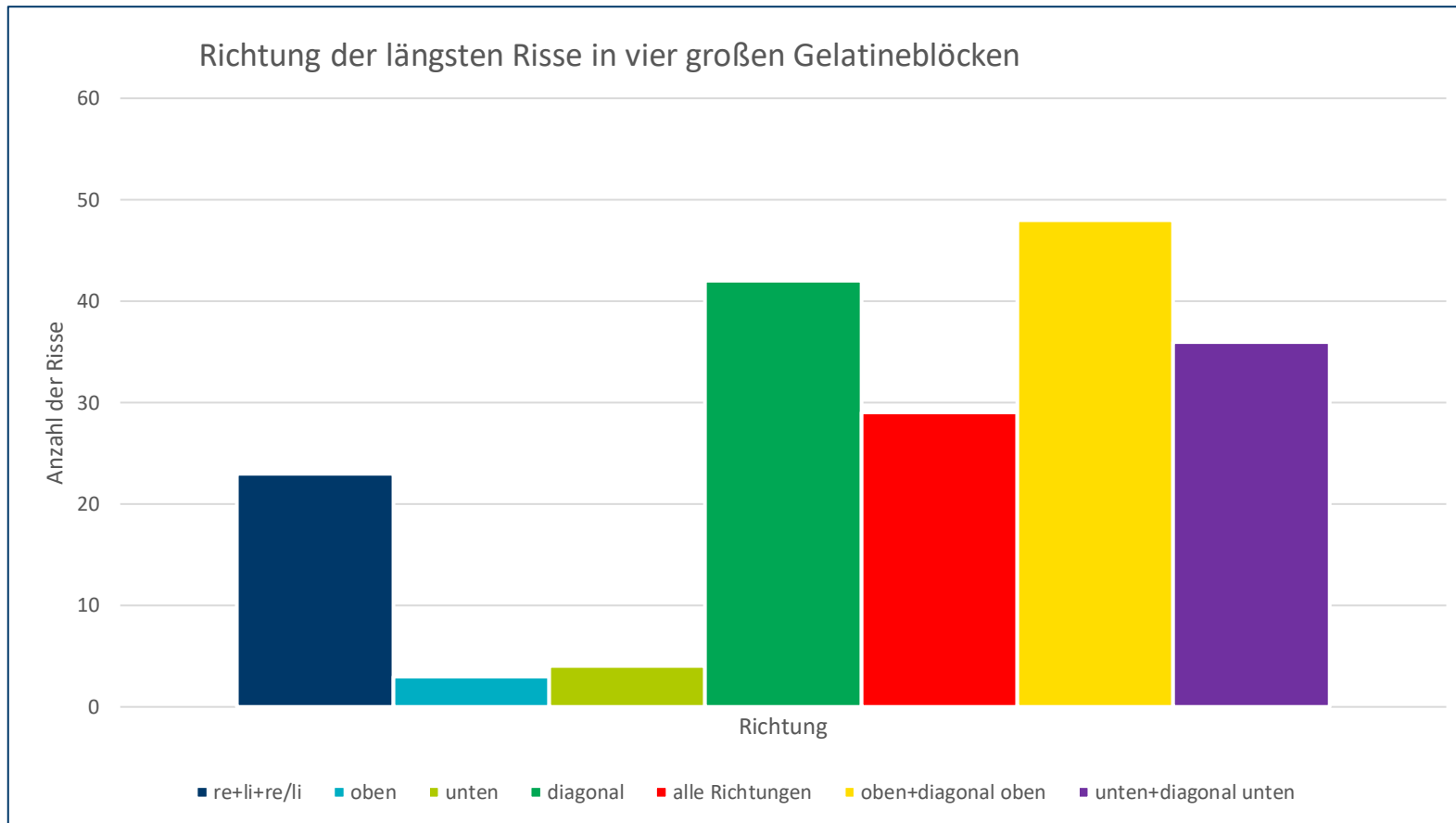
Fragestellung: Hat die Beschussunterlage „Regupol“ für Gelatineblöcke einen Einfluss auf die Ausprägung der Risslängen?



Ausgewertet wurden 104 Fotografien von Gelatineblockscheibenseiten (4 große Gelatineblöcke).

Sonstige Ergebnisse

Richtung der Risslängen



In „oben + diagonal oben“ sind alle Risse entgegen der Auflagefläche und in „unten + diagonal unten“ sind alle Risse zur Auflage hin zusammengefasst.

Die Ausprägung der längsten Risse ist willkürlich und ohne Präferenz zur Auflagefläche unten – allerdings mit Tendenz nach oben.

Sonstige Ergebnisse

Risse länger als 75mm

Blockbezeichnung	Anzahl der Risse >75mm	Risse pro Einheit
Holz/Schuss 1 - L2	2	3
Holz/Schuss 2 - L2	1	
Holz/Schuss 3 - L2	0	
Kunststoff/Schuss 1 - L2	4	10
Kunststoff/Schuss 2 - L2	3	
Kunststoff/Schuss 3 - L2	3	
Metall/Schuss 1 - L2	0	7
Metall/Schuss 2 - L2	4	
Metall/Schuss 3 - L2	3	
Metall/Schuss 1 - L4	1	15
Metall/Schuss 2 - L4	7	
Metall/Schuss 3 - L4	7	
Metall/Schuss 1 - L7	5	15
Metall/Schuss 2 - L7	2	
Metall/Schuss 3 - L7	8	
Gesamt:	50	

Hinweis:

Die meisten dieser Risse waren noch länger (einige teilweise bis 115mm)!

Aufgrund der Auswertung bis zu den Vergabelungen sind diese in den Tabellen meist nicht in der gesamten Länge erfasst worden!

Sonstige Ergebnisse

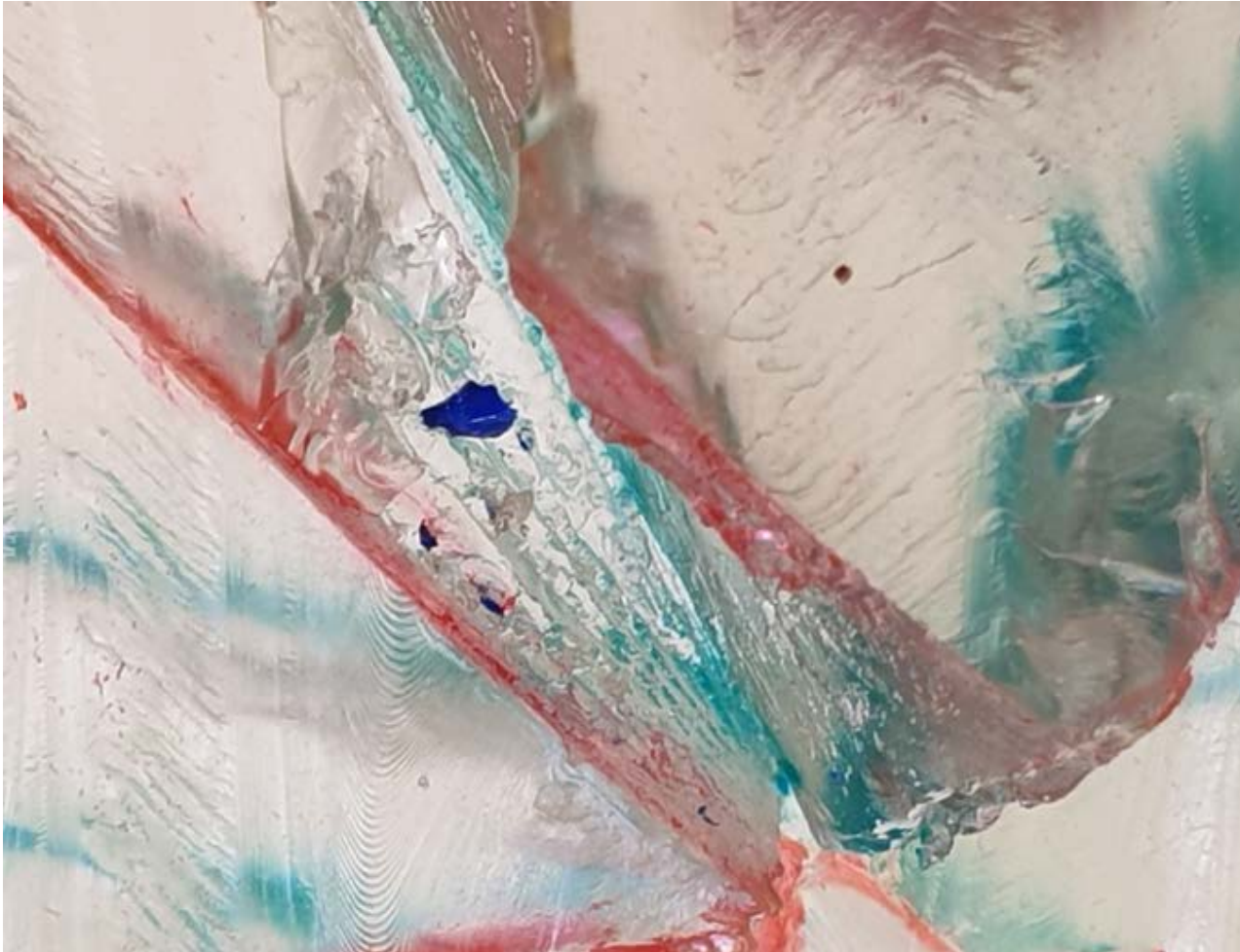
Risse länger als 75mm

Schlussfolgerungen:

- im Durchschnitt mehr als 3 Risse über 75mm pro beschossenen Block
- bei mittigem Schuss auf den kleinen Block (Kantenlänge 150mm) wären diese über den Rand hinaus gerissen
- kleine Gelatineblöcke erfordern für diesen Energiebereich (rund 2900 Joule) eine deutlich höhere Anzahl von Versuchswiederholungen

Sonstige Ergebnisse

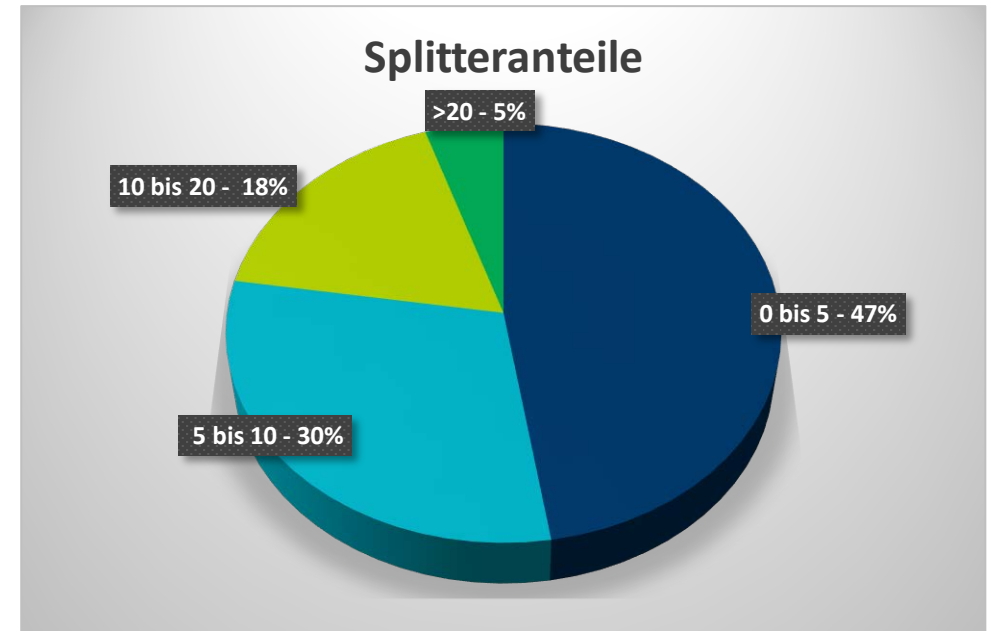
Kunststoffpartikel-Verteilung



insgesamt: 40 Splitter



Anzahl der Splitter			
0 mg bis 5 mg	5,01 mg bis 10 mg	10,01 bis 20 mg	>20 mg
19	12	7	2

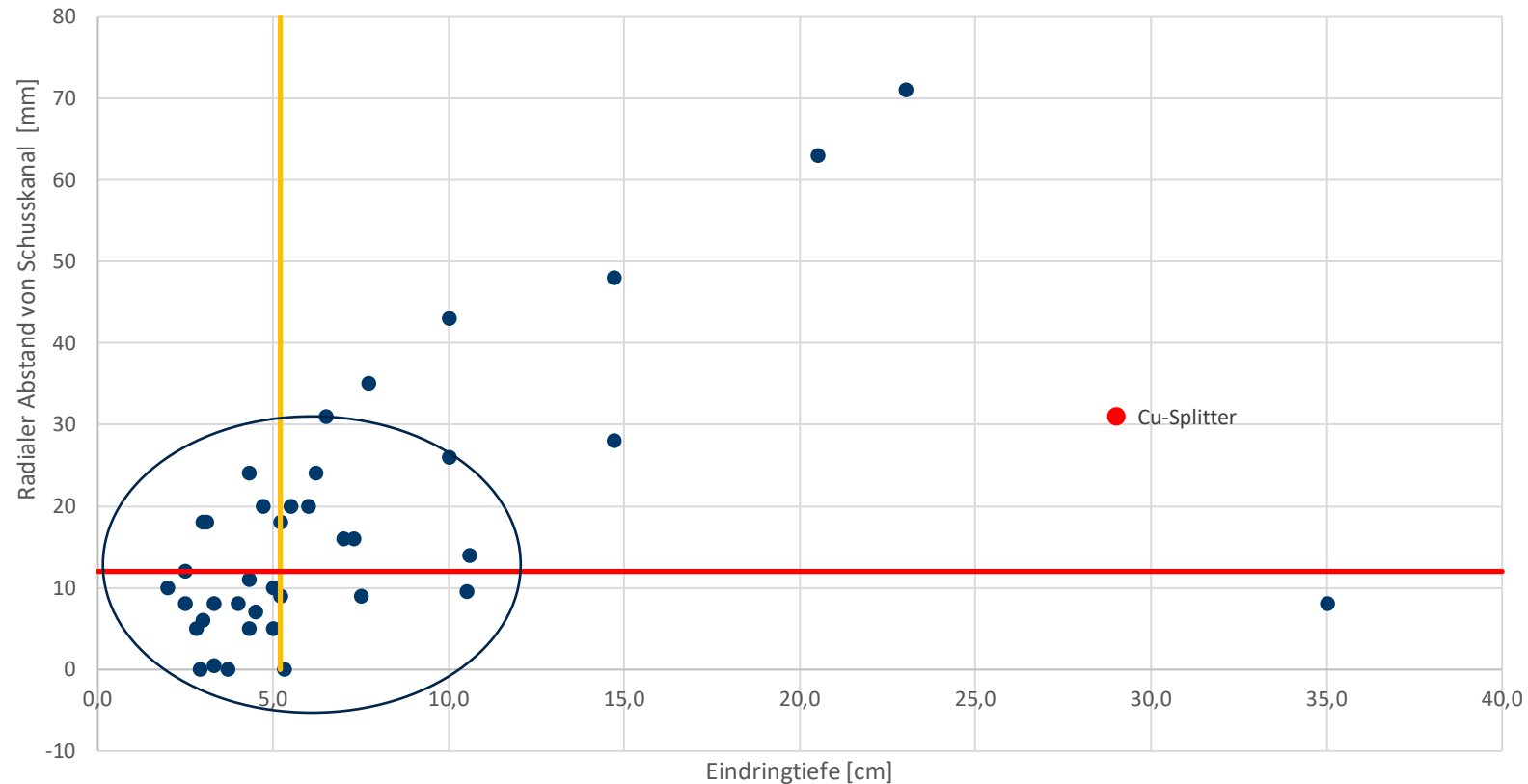


Sonstige Ergebnisse

Kunststoffpartikel-Verteilung



Geschosspitzenfragmente (Kunststoff - Barnes TTSX) in Gelatine



Median Splittermasse	7,8mg
Median Eindringtiefe	5,2cm
Median Radialer Abstand	12 mm
Eindringtiefe <=12cm	34 von 40
Radialer Abstand <=30mm	33 von 40

Zusammenfassung der Ergebnisse - I

- Die Abkühlung eines großen Gelatineblockes auf 15°C bei einer Raumtemperatur von 15°C benötigt unabhängig vom Gussformmaterial maximal 42 Stunden.
- Das Gussformmaterial hat keinen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei Risslängenmessungen.
- Die Lagerdauer bis 7 Tage hat keinen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei Risslängenmessungen.
- Risslängen über 75 mm (bis zu 115 mm) zeigen, dass kleine Gelatineblöcke auch bei Energien bis 2.900 Joule aufgerissen werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse – II

- Die Abweichungen der maximalen Wirksamkeit betragen über die Versuche 17%.
- Für die Absicherung eines Wertes (W_{\max}) werden mindestens 5 Versuchswiederholungen (95%ige Sicherheit) benötigt.
- Die Auswertung nur der Vorderseite der Gelatineblockscheiben ergab keinen signifikanten Unterschied zur Auswertung der Vorder- und Rückseite.

Danke

Beschussamt Ulm und an dessen Mitarbeiter

für die Durchführung der Versuche und die Möglichkeit, kostenlos zwei zusätzliche Versuche (Fragmentierung (Frau Haase und Frau Krüger) sowie Diabolo-Eindringtiefe (Rottenberger) durchführen zu können.

Herrn André Schröder (Fa. OMI)

für die unkomplizierte Bereitstellung der Holzgussformen und

Prof. Johann Höcherl

für die langen und angeregten Diskussionen zum Geschossverhalten in Gelatine.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ingo Rottenberger

T +49 30 18412-28908

Ingo.Rottenberger@bfr.bund.de

Bundesinstitut für Risikobewertung

bfr.bund.de



gültig für Texte, die vom BfR erstellt wurden
Bilder/Fotos/Grafiken sind ausgenommen, wenn nicht anders gekennzeichnet

BfR | Risiken erkennen –
Gesundheit schützen

Verbraucherschutz zum Mitnehmen

BfR2GO – das Wissenschaftsmagazin des BfR


bfr.bund.de/de/wissenschaftsmagazin_bfr2go.html

Folgen Sie uns

 @bfrde | @bfren | @Bf3R_centre

 @bfrde

 youtube.com/@bfr_bund

 social.bund.de/@bfr

 linkedin.com/company/bundesinstitut-f-r-risikobewertung

 soundcloud.com/risikobewertung