

## Abstract

Ein Streuer wird mit Projektilen beschossen. Durch den Zusammenhang von Streuwinkel  $\theta$  und Stoßparameter  $b$  wird der Radius des Streuers bestimmt. Der ermittelte Wert beträgt  $R_1 = 2,9 \pm 0,3\text{cm}$ . Der Durchmesser des Streuers wird als Referenzwert mit einem Lineal gemessen. Dieser Wert beträgt  $R_0 = 2,9 \pm 0,2\text{cm}$ . Die Kompatibilität dieser Werte bestätigt die Messmethode und die ihr zugrunde liegende Theorie.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Ziel des Versuches und Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>2 Versuchsaufbau</b>	<b>4</b>
<b>3 Durchführung und Messergebnisse</b>	<b>5</b>
<b>4 Auswertung der Ergebnisse</b>	<b>7</b>
<b>5 Fehlerdiskussion</b>	<b>11</b>
<b>6 Verzeichnis</b>	<b>13</b>
6.1 Quellenverzeichnis . . . . .	13
6.2 Abbildungsverzeichnis . . . . .	13
6.3 Tabellenverzeichnis . . . . .	13

# 1 Ziel des Versuches und Aufgabenstellung

Der Versuch führt in die Physik der Streuung von Teilchen ein und visualisiert den Streuvorgang. Es werden kleine Metallkugeln (Projektile) auf einen zylindrischen Streuer (Target) geschossen und daran gestreut. Aus der Abhängigkeit des Streuwinkels vom Streuparameter wird der Durchmesser des Streuers bestimmt.

## 2 Versuchsaufbau

Durch eine Schussvorrichtung können kleine Metallkugeln (Radius  $r$ ) mittels Luftdruck auf einen vertikal ausgerichteten Zylinder (Radius  $R$ ) geschossen werden. Die Schussvorrichtung lässt sich seitlich verschieben, wodurch man den Stoßparameter  $b$  variieren kann. An der Verschiebeeinrichtung ist eine Skala angebracht, durch die man erkennen kann, wie groß der Stoßparameter  $b$  ist. Um den Zylinder herum befindet sich ein runder Metallrahmen, an dessen Innenseite druckempfindliches Papier angebracht ist. Wenn man kleine Metallkugel auf den Zylinder schießt, werden diese gestreut. Der Streuwinkel  $\theta$  hängt vom eingestellten Stoßparameter  $b$  ab. Die Auftreffsorte der Kugeln am Metallrahmen werden durch kleine Punkte auf dem druckempfindlichen Papier sichtbar und können nach Ende des Versuches ausgemessen werden. Aus Sicherheitsgründen wird beim Schießen ein Plexiglasdeckel auf den Metallrahmen gelegt.

In Abbildung 1[1] ist der Versuchsaufbau schematisch abgebildet. Der Winkel  $\beta$  entspricht dem Einfallswinkel bzw. Ausfallswinkel der Projektile und  $s$  entspricht dem Radius des Metallrahmens. Punkt  $A$  entspricht dem Auftreffort der Projektile, wenn kein Streuer vorhanden wäre. Punkt  $B$  entspricht dem Auftreffort der Projektile, wenn sie gestreut werden. Punkt  $D$  entspricht dem Schnittpunkt von Metallrahmen und einer gedachten Linie, die parallel zur auslaufenden Flugbahn des Projektils verläuft und durch den Mittelpunkt des Zylinders geht.

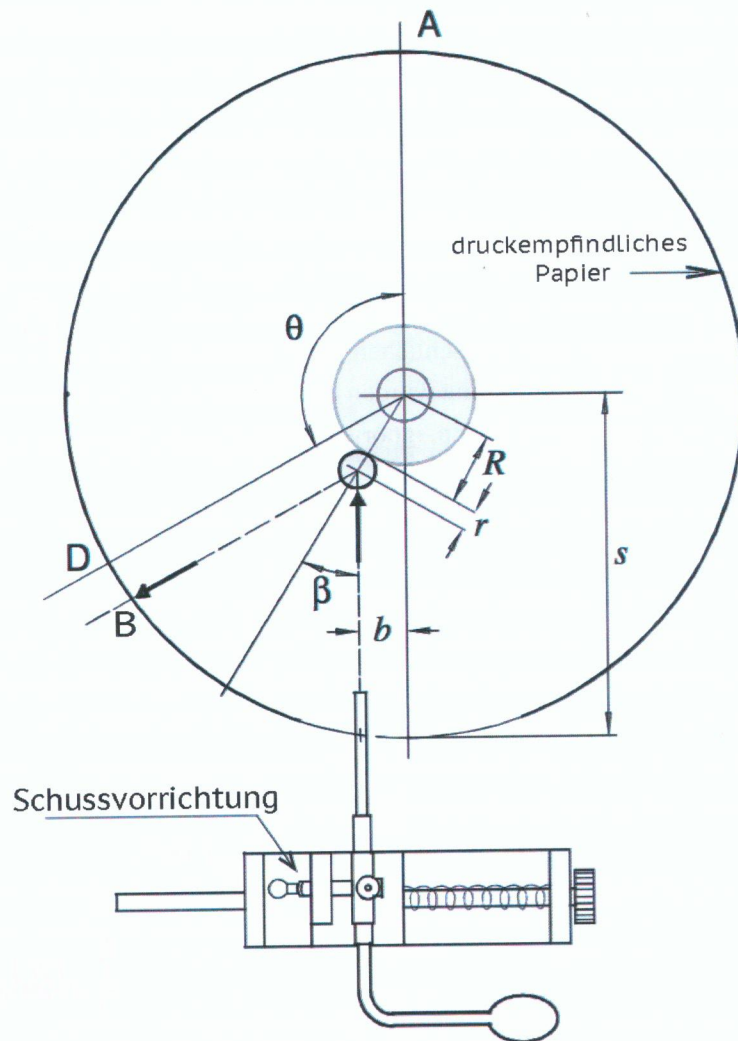


Abbildung 1: Schematischer Versuchsaufbau.

### 3 Durchführung und Messergebnisse

Der Radius der kleinen Metallkugeln beträgt  $r = 0,2175\text{cm}$  [2].

Mit Hilfe eines langen Lineals werden die Größen  $s$  und  $R_0$  (zum späteren Vergleich) bestimmt. Die Standardunsicherheiten ergeben sich durch Ablesungenauigkeit und Angelgeungenauigkeit des Lineals.

$$s = 31,3 \pm 0,2\text{cm}$$

$$R_0 = 2,9 \pm 0,2\text{cm}$$

Zuerst wird die grobe Position der Schussvorrichtung  $b_0$  bestimmt, bei der der Stoßparameter Null ist. Dies ist für die Position der Fall, bei der die Metallkugeln ohne Streuung zurückreflektiert werden. Das

druckempfindliche Papier wird an der Innenseite des Metallrahmens angebracht. Das Papier wird durch ein umlaufendes Band an den Metallrahmen gedrückt, sodass es nicht verrutschen kann. Mit Hilfe eines Lineals wird der Punkt A markiert.

Es werden insgesamt zwölf verschiedene Stoßparameter gewählt, mit denen jeweils 20 kleine Metallkugeln auf den Zylinder geschossen werden.

Nach den Schüssen wird der Papierstreifen aus dem Metallrahmen genommen und es wird für jeden Stoßparameter grafisch der mittlere Auftreffort der Projektile bestimmt. Der Abstand vom mittleren Auftreffort zu dem Punkt A wird mit  $x$  bezeichnet. Die Standardunsicherheit beträgt  $u_x = 0,8\text{cm}$  für alle  $x$ -Werte, da der Wert  $x$  durch Abschätzungen mit dem menschlichen Auge bestimmt wird und somit das Potential für Fehleinschätzungen groß ist. Für die Abschätzung wurden die Auftrefforte, die mehrere Zentimeter von der Hauptansammlung der Auftrefforte entfernt liegen, ignoriert. Eine so große Entfernung deutet auf Fehler der Schussmaschine hin.

Hier sollte das eigentlich für jeden Punkt einzeln abgelesen werden.  
 dem.  
 20 ± 68% der Punkte

Leertaste

Die signifikanten Stellen des Papierstreifens mit den Auftrefforten der Metallkugeln befinden sich im Anhang (Abbildung 3 bis 13).

In der folgenden Tabelle 1 sind die eingestellten Stoßparameter  $b$  und die dazugehörigen Abstände  $x$  zu sehen. Alle Stoßparameter links von  $b_0$  haben ein negatives Vorzeichen und alle Stoßparameter rechts von  $b_0$  haben ein positives. Alle Abstände  $x$  links von Punkt A haben ein negatives Vorzeichen, alle Abstände rechts von Punkt A haben ein positives Vorzeichen.

Die Standardunsicherheit  $u_b = 0,1\text{cm}$  ergibt sich aus der Ablesegenauigkeit und ist für alle Stoßparameter gleich, da der Stoßparameter immer mit der gleichen Methode abgelesen wird.

Tabelle 1: Stoßparameter  $b$  und Messwerte der Abstände  $x$

Messung	$b \pm 0,1$ in cm	$x \pm 0,8$ in cm
1	1,0	86,6
2	1,5	76,6
3	2,0	65,2
4	2,5	52,9
5	3,0	36,5
6	3,5	3,7
7	-1,0	-77,5
8	-1,5	-65,1
9	-2,0	-52,4
10	-2,5	-34,5
11	-3,0	-3,3
12	-0,5	-85,9

} Notation

## 4 Auswertung der Ergebnisse

Bei Messung 11 (mit Stoßparameter  $b_{11} = -3,0 \pm 0,1 \text{ cm}$ ) und Messung 6 (mit Stoßparameter  $b_6 = 3,5 \pm 0,1 \text{ cm}$ ) sind sie Projektile nicht am Zylinder gestreut worden, sondern bereits daran vorbei geflogen. Hier ist der Stoßparameter bereits größer gewählt als der Radius des Zylinders. Die Projektile werden nicht gestreut, daher beträgt der Streuwinkel in der Theorie Null Grad.

Der Streuwinkel wird durch die Formel

$$\theta = \frac{\widehat{AD}}{s} \approx \frac{\widehat{AB} - |b|}{s} = \frac{|x| - |b|}{s} \quad [3] \quad \text{Referenz besser in dem Text!}$$

berechnet und die Standardunsicherheit des Streuwinkels  $\theta$  ergibt sich über die Gaußschen Fehlerfortpflanzung durch

$$u_\theta = \sqrt{(s^{-1} \cdot u_x)^2 + (-s^{-1} \cdot u_b)^2 + \left(\frac{b-x}{s^2} \cdot u_s\right)^2}$$

Für jeden Stoßparameter wird  $\cos(\theta/2)$  berechnet. Die Standardunsicherheit von  $\cos(\theta/2)$  ergibt sich über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung und beträgt

$$u_{\cos(\theta/2)} = \sqrt{(-0,5 \cdot \sin(\theta/2) \cdot u_\theta)^2} \quad \text{Nicht konsistent}$$

In der folgenden Tabelle 2 befinden sich die Beträge der Stoßparameter  $|b|$ , die zu jedem Stoßparameter berechneten Streuwinkel  $\theta$  und  $\cos(\theta/2)$ .

Tabelle 2: Betrag der Stoßparameter  $|b|$ , Streuwinkel  $\theta$  und  $\cos(\theta/2)$ .

Messung	$ b  \pm 0,1$ in cm	$\theta \pm 0,03$ in ° $\rightarrow$ Eher in rad!	$\cos(\theta/2) \pm 0,015$
1	1,0	2,73	0,201
2	1,5	2,39	0,363
3	2,0	2,02	0,532
4	2,5	1,61	0,693
5	3,0	1,07	0,860
6	3,5	0,01	1,000
7	1,0	2,44	0,342
8	1,5	2,03	0,547
9	2,0	1,61	0,693
10	2,5	1,02	0,872
11	3,0	0,01	1,000
12	0,5	2,73	0,205

Es ist zu erkennen, dass bei Messung 6 und Messung 11, der Streuwinkel nicht Null Grad beträgt. Dies deutet auf einen systematischen Fehler der Schussvorrichtung hin.

Der Betrag vom Stoßparameter  $|b|$  wird gegen  $\cos(\theta/2)$  aufgetragen. Dies ist in Abbildung 2 zu sehen. In Abbildung 2 sind zwei Ausgleichsgeraden eingezeichnet. Ausgleichsgerade 1 gehört zu den Werte von Messung 1-6, Ausgleichsgerade 2 gehört zu den Werte von Messung 7-12. Die Steigung für die Ausgleichsgerade berechnet sich jeweils durch

$$c = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

und der y-Achsenabschnitt berechnet sich durch

$$a = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Die Standardunsicherheit der Steigung der Ausgleichsgeraden berechnet sich durch die Formel

$$u_c = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum (y_i - (a + c \cdot x_i))^2} \cdot \sqrt{\frac{n}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}$$

und die Standardunsicherheit des y-Abschnittes berechnet sich durch die Formel

$$u_a = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum (y_i - (a + c \cdot x_i))^2} \cdot \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}$$

In der folgenden Tabelle 3 ist die Steigung und der y-Abschnitt für jeweils Ausgleichsgerade 1 und Ausgleichsgerade 2 zu sehen.

Tabelle 3: Steigung und y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden.

Ausgleichsgerade	$c$ in cm	$a$ in cm
1	$3,09 \pm 0,04$	$0,37 \pm 0,03$
2	$3,05 \pm 0,09$	$-0,12 \pm 0,06$

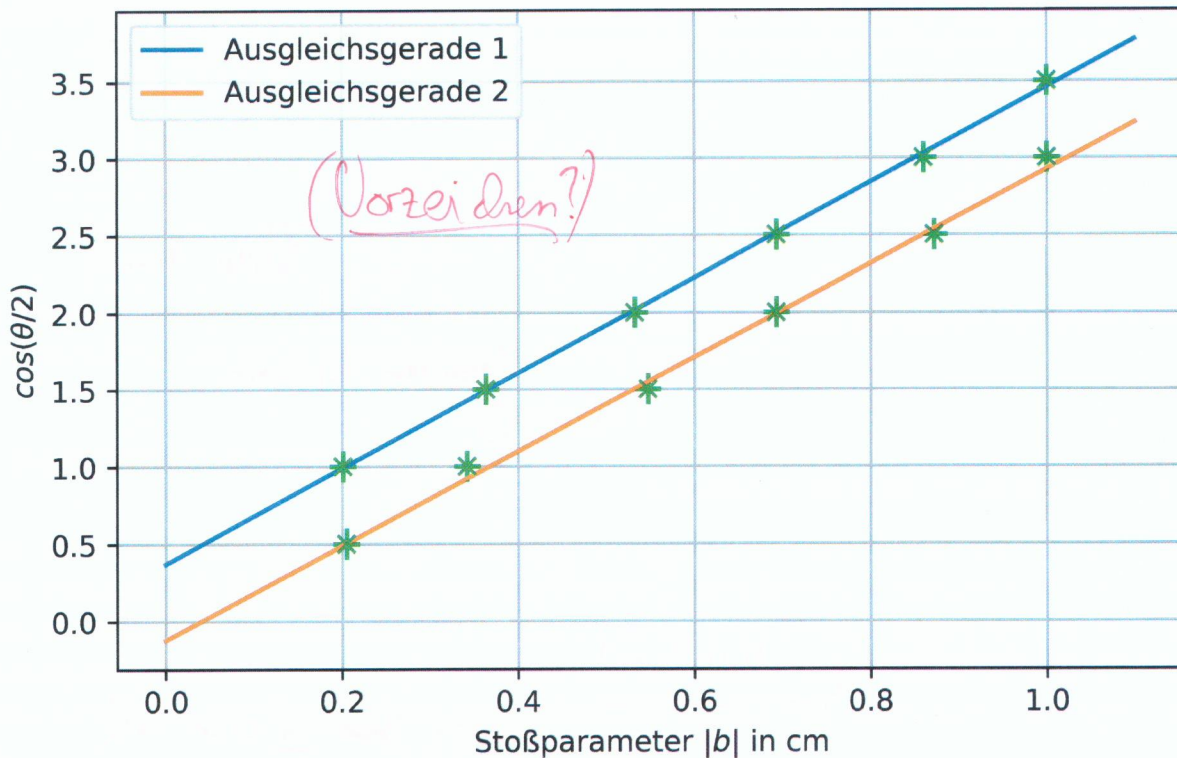


Abbildung 2: Betrag von Stoßparameter  $|b|$  gegen  $\cos(\theta/2)$ . Ausgleichsgerade 1 verläuft durch die Wertepaare von Messung 1-6 und Ausgleichsgerade 2 verläuft durch die Wertepaare der Messung 7-12.

Da der Versuchsaufbau symmetrisch ist, sollten idealerweise die Werte der beiden Steigungen identisch sein und beide y-Achsenabschnitte gleich Null betragen.

Da die y-Achsenabschnitte nicht Null betragen, ist anzunehmen, dass ein systematischer Fehler bei der Bestimmung von  $b_0$  aufgetreten ist. Dieser Fehler tritt auf, weil die Position der Schussvorrichtung nicht exakt so justiert war, dass die Metallkugeln ohne Ablenkung zurückreflektiert werden. Es ist schwierig die Flugbahn abgeschossener Metallkugeln mit dem Auge zu verfolgen, somit entstehen Ungenauigkeiten. Eine exaktere Lokalisierung von  $b_0$  ergibt sich durch

$$b_{neu} = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

und die Standardunsicherheit auf  $b_{neu}$  ergibt sich durch

$$u_{b_{neu}} = \sqrt{(0,5 \cdot u_{a_1})^2 + (0,5 \cdot u_{a_2})^2}$$

Der genauere Ort von  $b_{neu}$  befindet sich  $0,24 \pm 0,03$  cm rechts von dem ursprünglichen Ort  $b_0$ . Trotz der Korrektur mit dem genaueren Wert  $b_{neu}$  ergeben die y-Achsenabschnitte der Ausgleichsgeraden nicht genau Null, was auf einen systematischen Fehler hindeutet.



Der Mittelwert der Steigungen der Ausgleichsgeraden wird für die weitere Auswertung berechnet. Mittelwert und die Standardabweichung des Mittelwertes werden mit folgenden Formeln berechnet:

$$\bar{c} = \frac{1}{2} \sum |c_i|$$

$$u_{\bar{c}} = \sqrt{(|c_1| \cdot u_{c_2})^2 + (|c_2| \cdot u_{c_1})^2}$$

Falsche Formel!

Der Mittelwert der Beträge der Steigungen beträgt

$$\bar{c} = 3,1 \pm 0,3 \text{ cm.}$$

Kerzzeichen; Klammern!

Es ergibt sich für Winkel  $\beta$  aus Abbildung 1:

$$\sin \beta = \sin \frac{2\beta}{2} = \sin \frac{\pi - \theta}{2} = \cos \frac{-\theta}{2} = \cos \frac{\theta}{2}$$

Daraus und aus der Formel

Nicht kursiv!

$$\sin \beta = \frac{b}{r+R} \quad [4]$$

Besser in den Text!

folgt der Zusammenhang zwischen  $b$  und  $\theta$ :

$$b = \sin \beta \cdot (r+R) = (r+R) \cdot \cos \frac{\theta}{2}$$

Die Steigung der Ausgleichsgeraden entspricht also jeweils  $(r+R)$ .

Der durch die experimentellen Werte ermittelte Radius des Zylinders  $R_1$  berechnet sich durch

$$R_1 = \bar{c} - r$$

Die Standardunsicherheit auf den Wert  $R_1$  berechnet sich nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung durch

$$u_{R_1} = \sqrt{(1 \cdot u_c)^2}$$

In der folgenden Tabelle 4 ist der mit dem Lineal gemessene Wert  $R_0$  zu sehen und der durch experimentelle Werte ermittelte Wert  $R_1$ .

Tabelle 4: Ergebnisse für den Durchmesser des Zylinders.  $R_0$  ist der mit dem Lineal gemessene Wert und  $R_1$  ist der durch experimentelle Werte ermittelte Wert.

$R_0$ in cm	$R_1$ in cm
$2,9 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,3$

$R_0$  und  $R_1$  stimmen in einem <sup>(1- $\sigma$ )</sup> Bereich überein, die beiden Werte sind somit kompatibel, wodurch die Messmethode und die ihr zugrundeliegende Theorie bestätigt wird.

## 5 Fehlerdiskussion

Eine Quelle der Ungenauigkeit tritt am Anfang der Durchführung des Versuchs auf, wenn Punkt A markiert wird. Dieser wird als Referenzpunkt genutzt, um die Länge  $x$  zu bestimmen, woraus der Winkel  $\theta$  bestimmt wird. Ein fehlerhaftes Bestimmen dieses Punktes würde den einen systematischen Fehler für  $\theta$  ergeben. Dadurch, dass der Aufbau symmetrisch ist und zu beiden Seiten von Punkt A Kugeln gestreut werden und später der Mittelwert der Steigungen der Ausgleichsgeraden gebildet wird, gleicht sich diese Ungenauigkeit aus.

Bei Bestimmen des Stoßparameters  $b$  können Ableseungenauigkeiten auftreten, welche aber als gering eingestuft werden im Vergleich zu den anderen Fehlerquellen. Der anfänglich bestimmte Wert  $b_0$  ist ungenau, was an dem y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden ersichtlich wird. Der korrigierten Ort von  $b_0$ , der sich  $0,24 \pm 0,03$  cm weiter rechts von dem ursprünglichen Ort befindet, ist ebenfalls nicht genau, da auch mit dieser Korrektur die y-Achsenabschnitte der Ausgleichsgeraden nicht Null ergeben würde. Somit ist zu folgern, dass es andere systematische Fehler gibt, wodurch diese Abweichung entsteht. Dadurch, dass der Radius des Zylinders aus der Steigung bestimmt wird, spielt diese Ungenauigkeit keine große Rolle.

Der Mittelwert der Auftrefforte der Kugeln wurde grafisch mit dem Auge abgeschätzt und bietet somit die größte Quelle für Ungenauigkeiten. Einige Kugeln trafen mehrere Zentimeter entfernt von dem Hauptauftrittsort der übrigen Kugeln auf. Dies kann daran liegen, dass sowohl <sup>der</sup> Zylinder, als auch <sup>die</sup> Kugeln nicht perfekt rund sind, eventuell kleine Dellen haben und somit die Streuung am Zylinder verfälscht wird. Außerdem ist es möglich, dass die Schussvorrichtung Fehler hat und nicht jede Kugel gleich abschießt. Da die Schüsse von Hand durch Drücken eines luftgefüllten Gummiballons ausgelöst werden, sind Abweichungen in der Konsistenz der Schüsse möglich. Nach längerem Benutzen der Schussvorrichtung bildet sich ein Grad an der Austrittsöffnung, was ebenfalls eine Quelle für systematische Fehler darstellt. <sup>Grat</sup>

Es ist zu erkennen, dass die Standardunsicherheit auf den Wert  $R_1$  größer ist als die auf den Wert  $R_0$ . Dies ist zu erwarten, da in die Standardunsicherheit von  $R_0$  nur aus dem Fehler der Abmessung mit dem Lineal kommt, somit nur aus einer Fehlerquelle. Die Standardunsicherheit von  $R_1$  stammt aus den Ungenauigkeiten der primären Messgrößen  $b$ ,  $x$  und  $s$ , somit aus mehreren Fehlerquellen. Dabei ist der Fehler auf  $x$  mehr als vier mal so groß als der Fehler auf  $s$  und acht mal so groß wie der Fehler auf  $b$  und trägt somit am meisten zu Gewicht.

Durch die Kompatibilität von  $R_0$  und  $R_1$  ist anzunehmen, dass die Fehler ausreichend abgeschätzt worden sind und keine systematischen Fehler das Ergebnis beeinflusst haben. Theorie und Messmethode werden von dem Ergebnis bestätigt.

## 6 Verzeichnis

### 6.1 Quellenverzeichnis

- [1] Versuchsanleitung zum Physiklabor für Anfänger\*innen, Teil 1, Seite 39, Abbildung 2.8 (geringfügige Veränderung der Beschriftungen), Stand 08/2018
- [2] Versuchsanleitung zum Physiklabor für Anfänger\*innen, Teil 1, Seite 40, Stand 08/2018
- [3] Versuchsanleitung zum Physiklabor für Anfänger\*innen, Teil 1, Seite 37, Stand 08/2018
- [4] Versuchsanleitung zum Physiklabor für Anfänger\*innen, Teil 1, Seite 37, Stand 08/2018

### 6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Versuchsaufbau.

Abbildung 2: Stoßparameter  $b$  gegen  $\cos(\theta/2)$ .

### 6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stoßparameter  $b$  und Messwerte der Abstände  $x$ .

Tabelle 2: Stoßparameter  $b$ , Streuwinkel  $\theta$  und  $\cos(\theta/2)$ .

Tabelle 3: Steigung und y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden.

Tabelle 4: Ergebnisse für den Durchmesser des Zylinders.

## Anhang

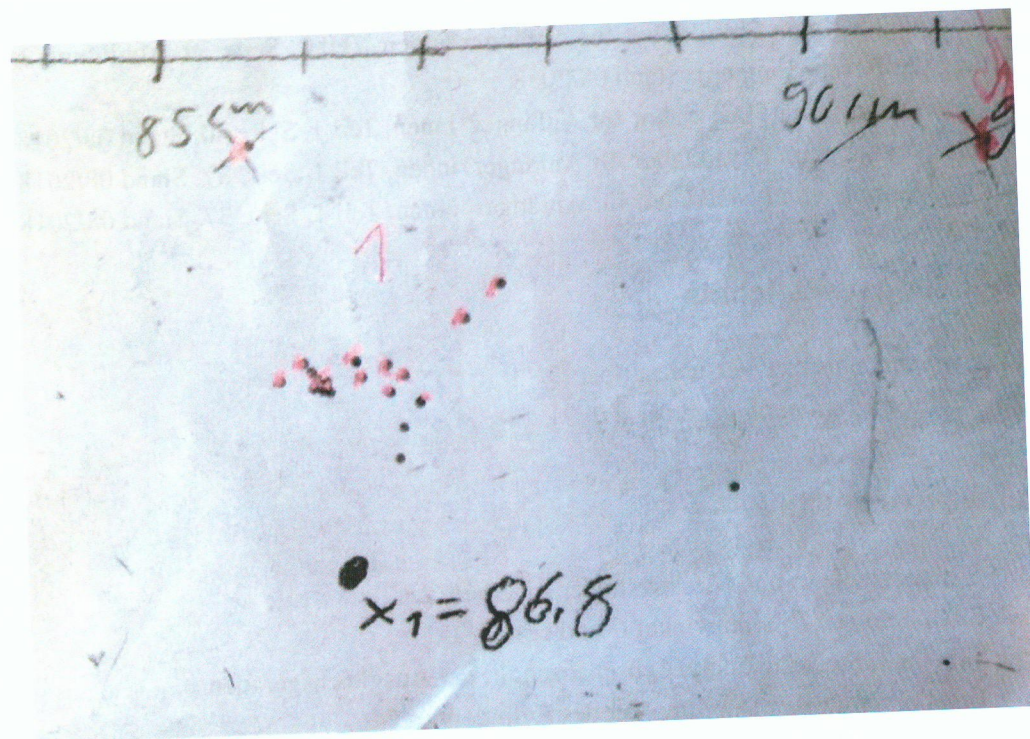


Abbildung 3: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 1.

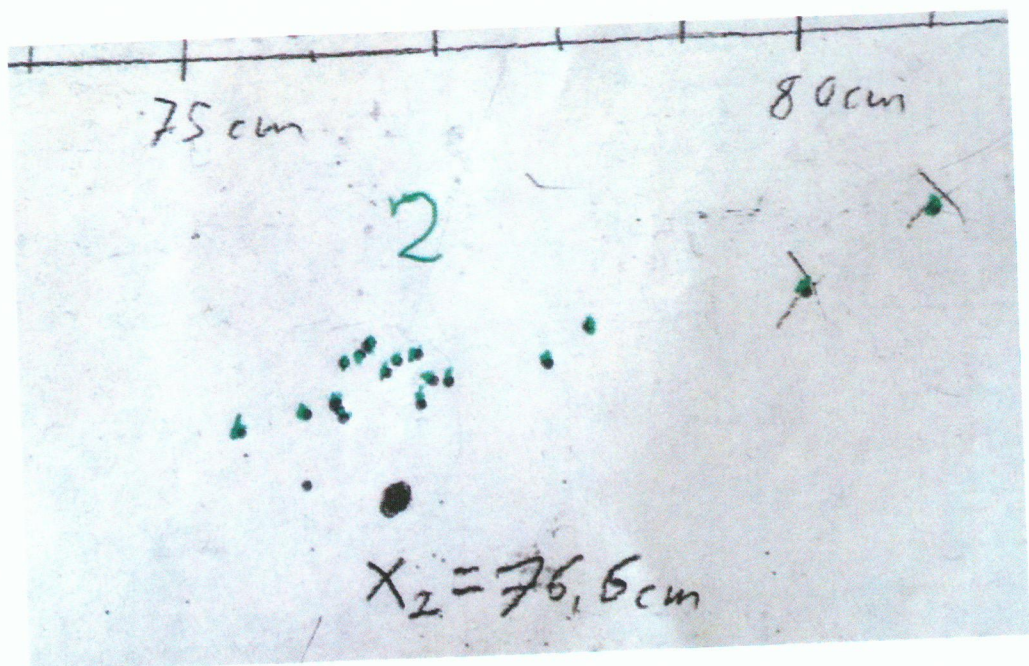


Abbildung 4: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 2.

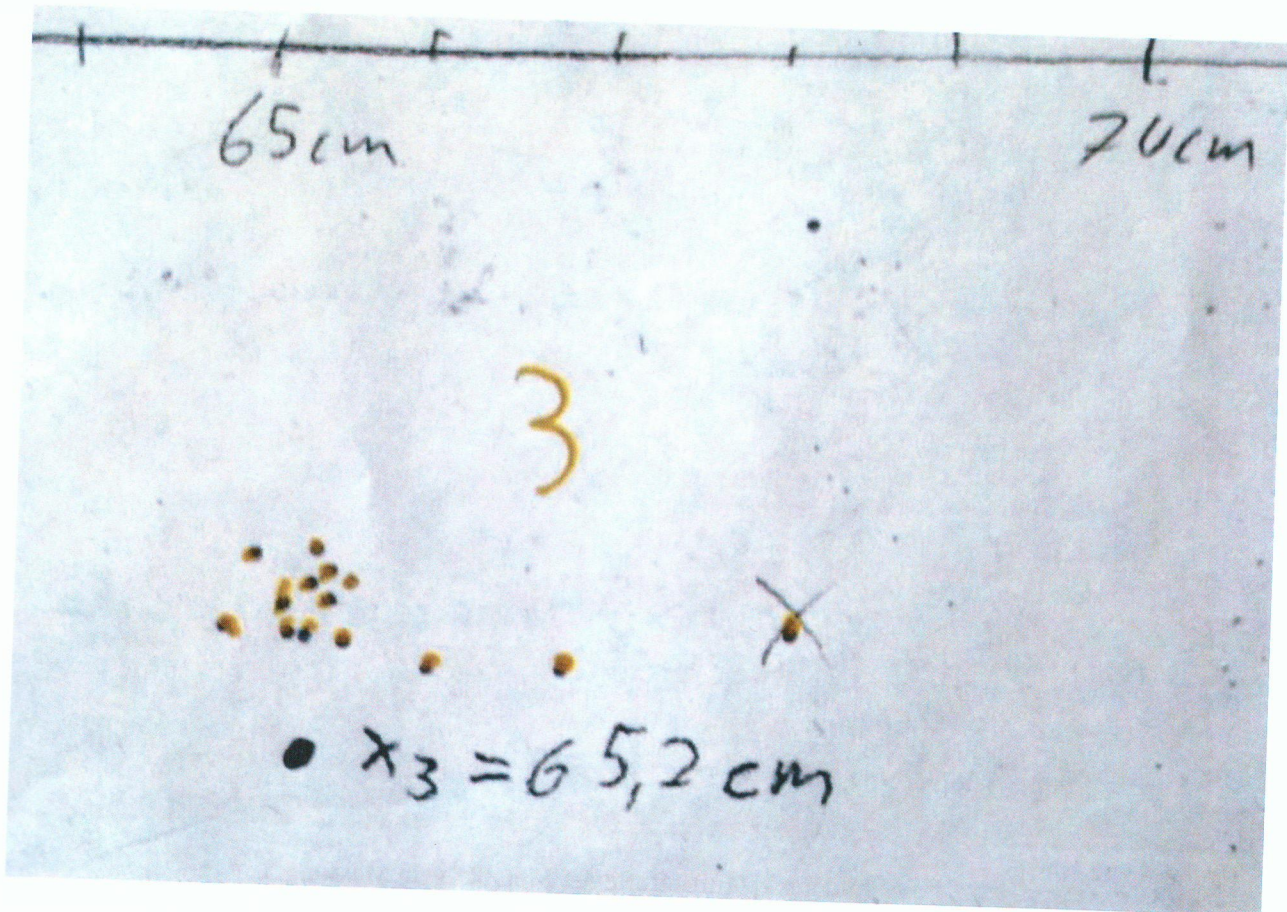


Abbildung 5: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 3.

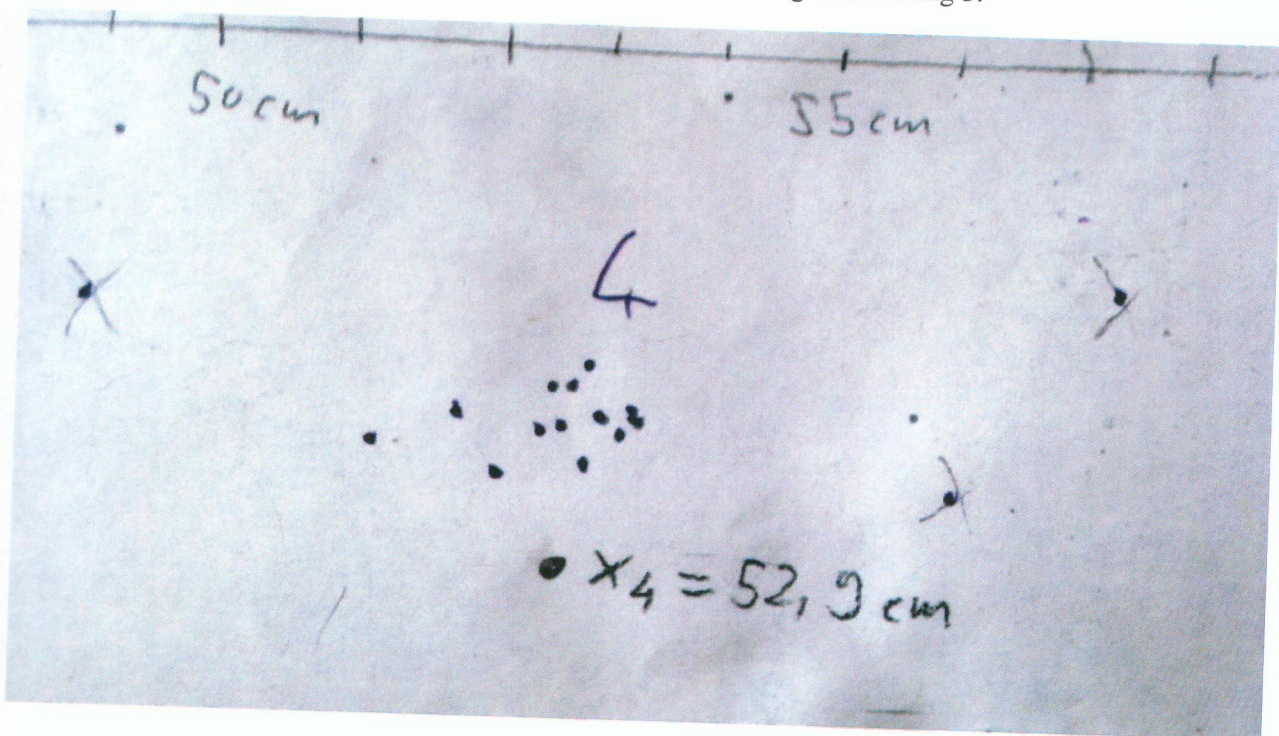


Abbildung 6: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 4.

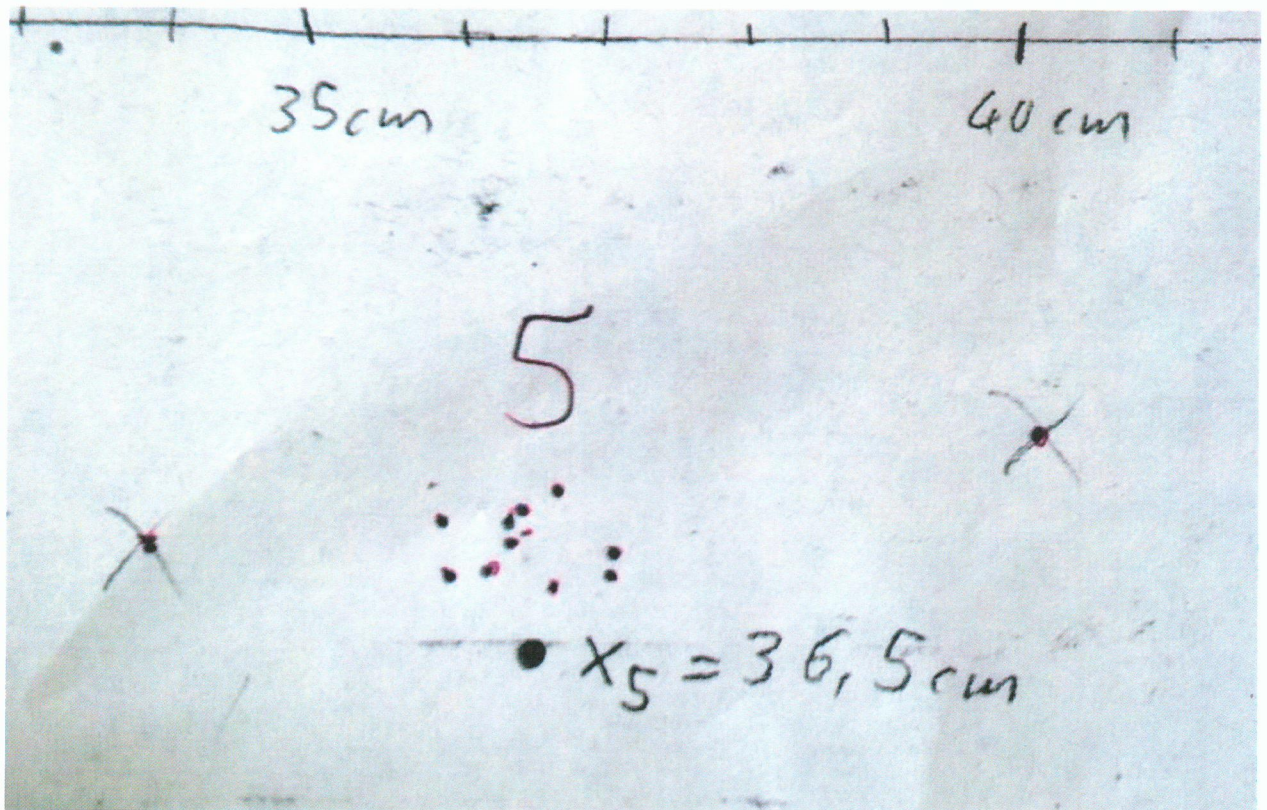


Abbildung 7: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 5.

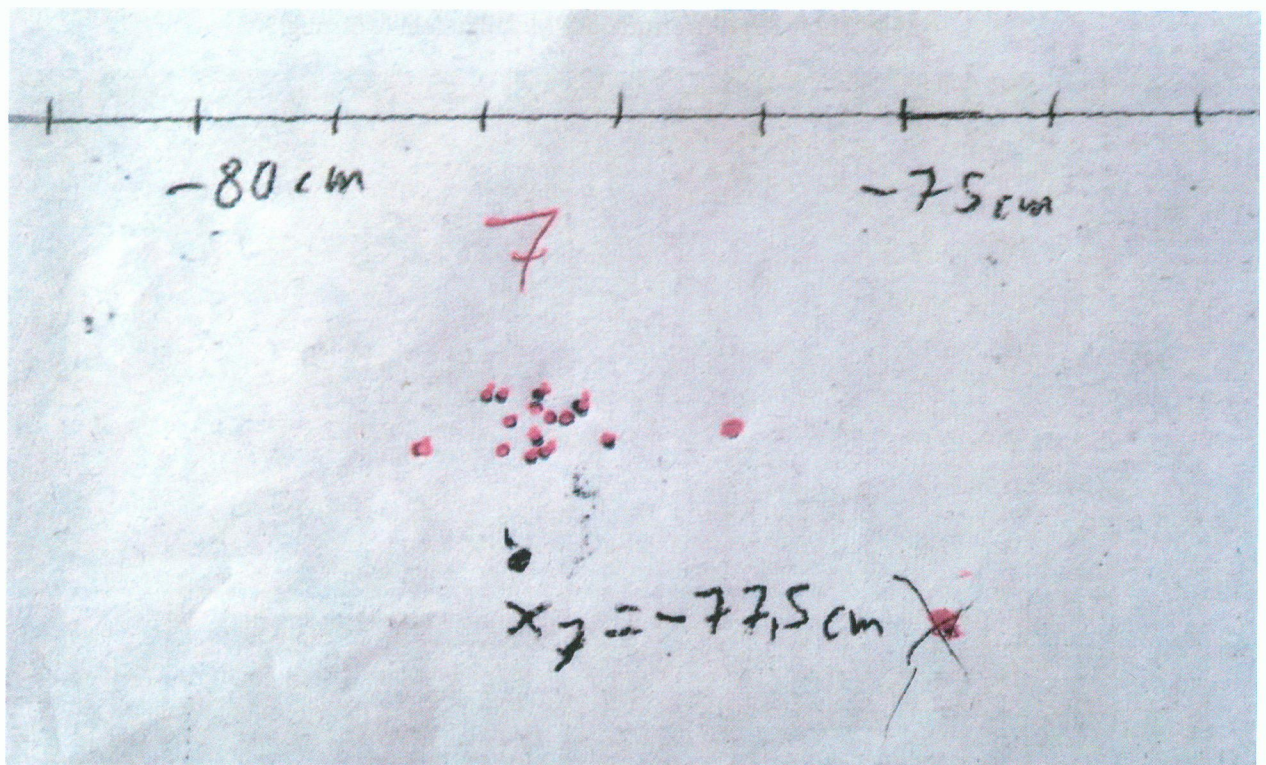


Abbildung 8: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 7.

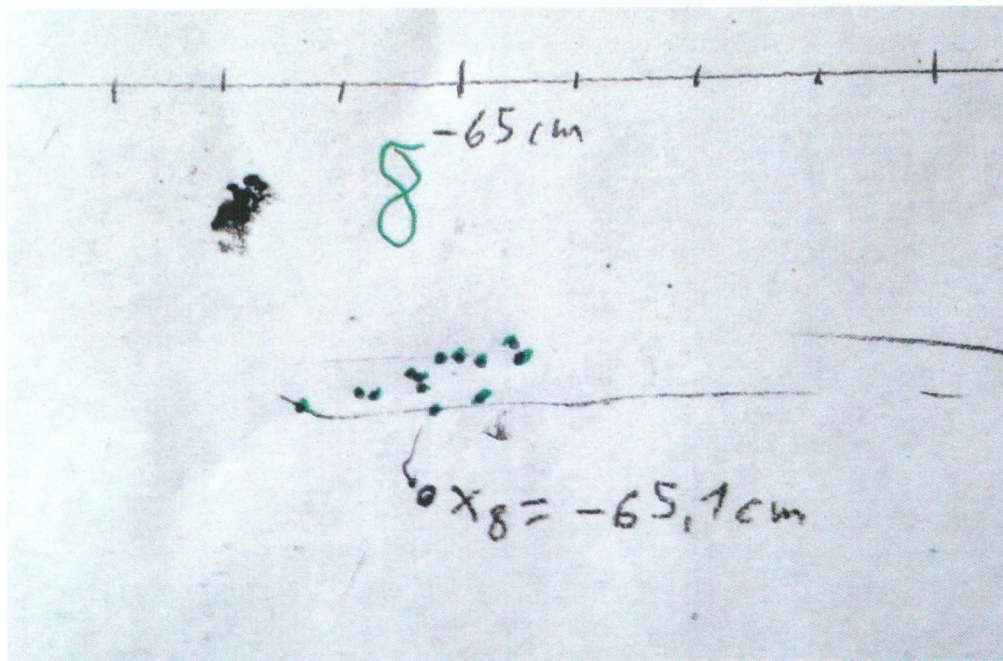


Abbildung 9: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 8.

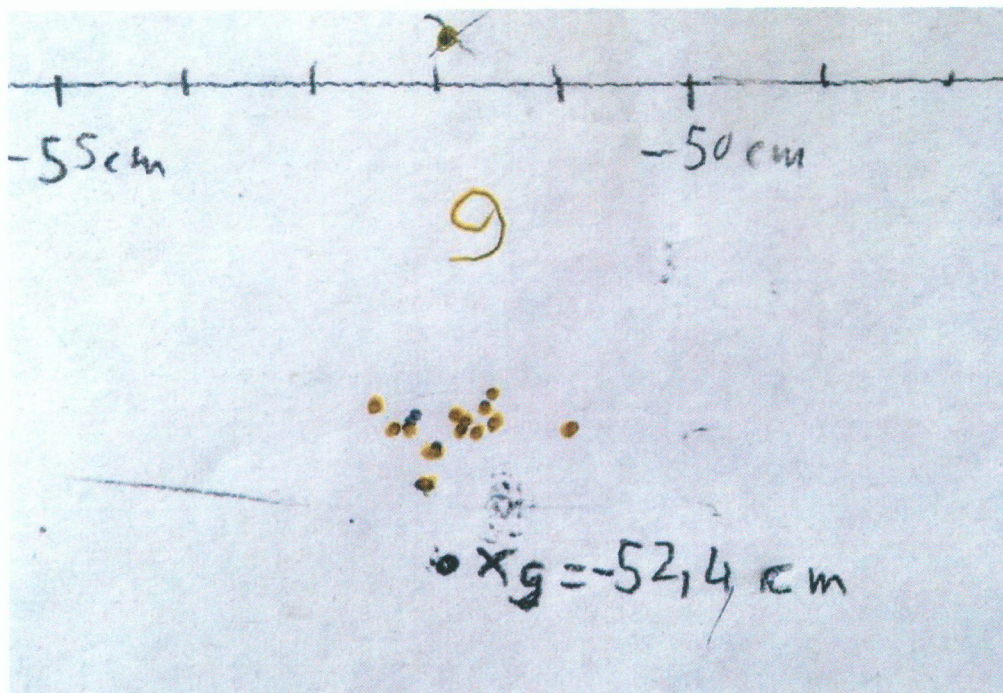


Abbildung 10: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 9.



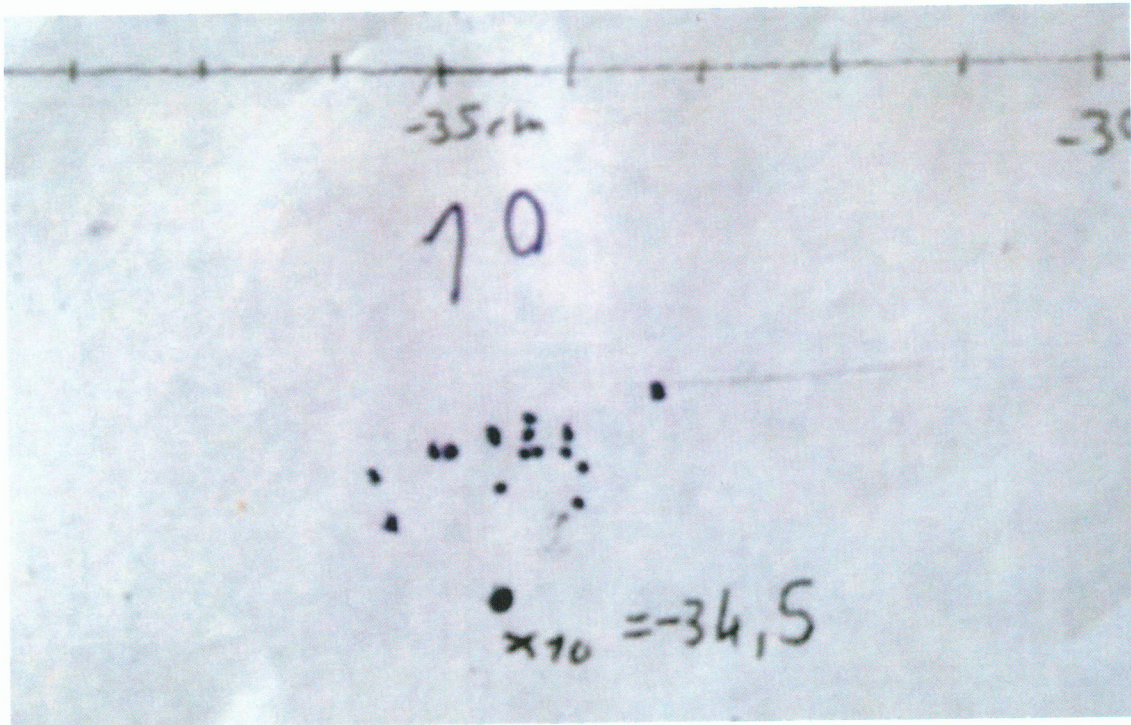


Abbildung 11: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 10.

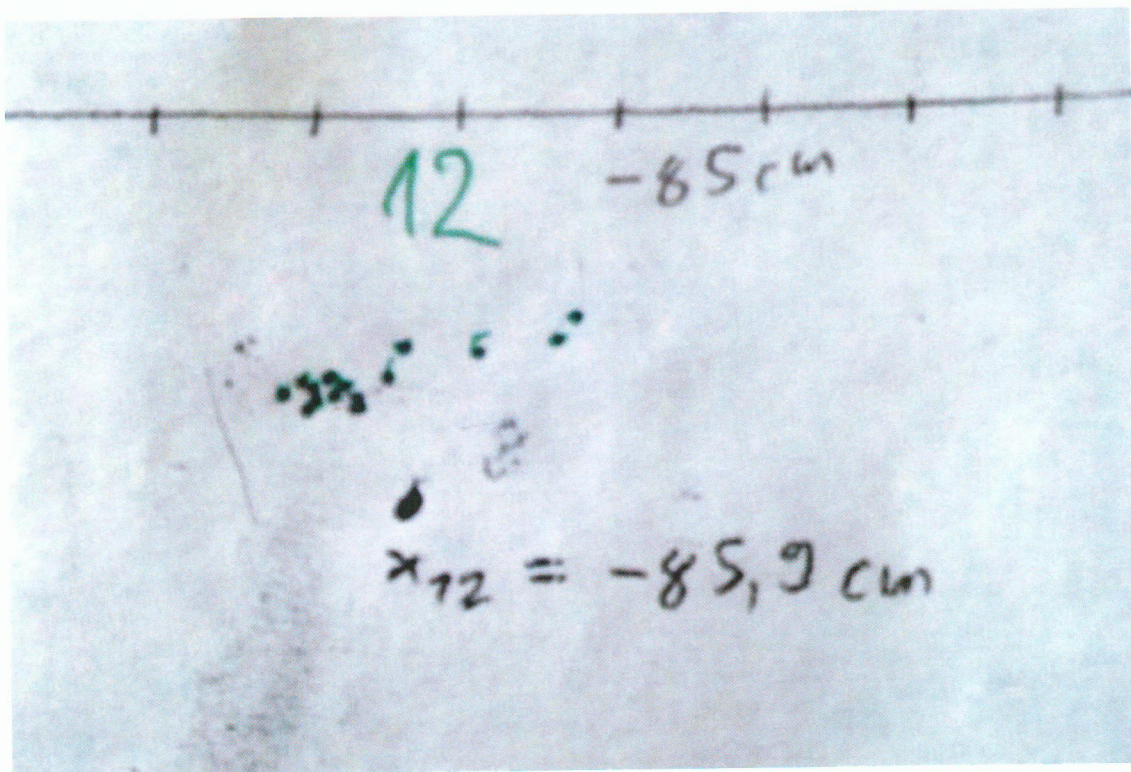


Abbildung 12: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 12.

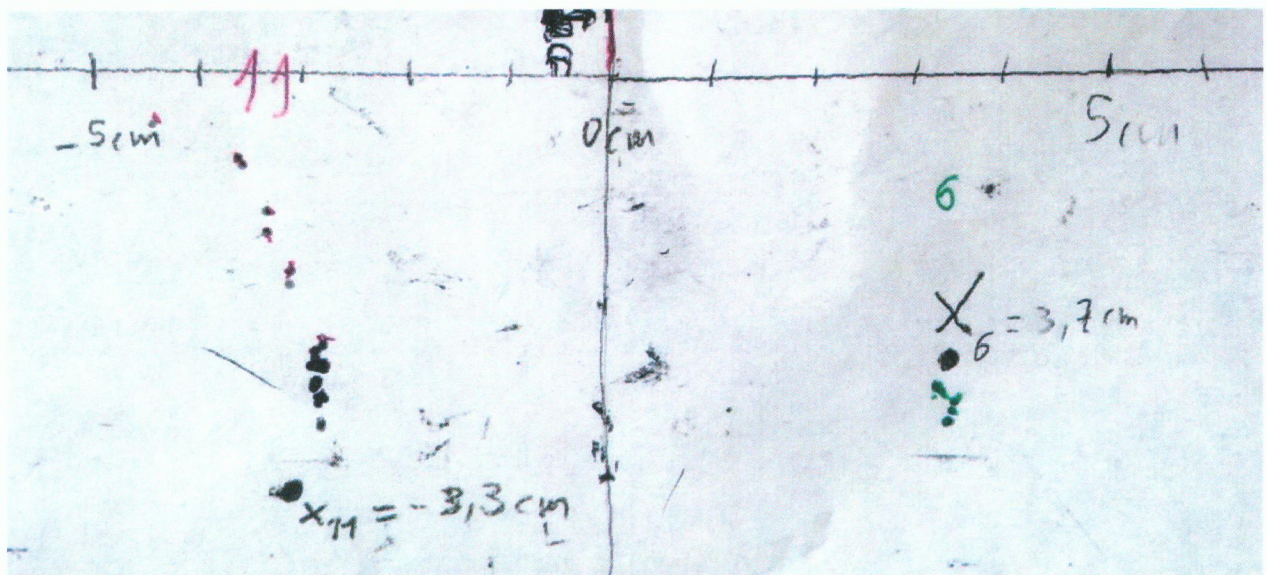


Abbildung 13: Auftrefforte der Metallkugeln Messung 6 und Messung 11. Punkt A befindet sich direkt zwischen den Auftrefforten von Messung 6 und 11.

Versuch 14, 28.9.18 Sarah + Alian ♡

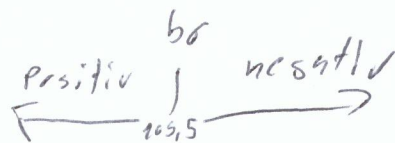


- einzeichnen von Punkt A kann ungenau sein, ~~weil mit~~ (war schon eingezeichnet, aber mit nicht ganz genau)

Mitte Zylinder bis Außenrand:  $S = 31,3 \pm 0,2 \text{ cm}$  Ablesefehler  
Anlegungsfehler  
genau Mitte eben  
 Radius Zylinder:  $R = 2,9 \pm 0,2 \text{ cm}$   
 Radius:  $r \approx 0,2 \text{ cm}$

- $b=0$  finden eventuell nicht ganz genau

Stoßparameter = 0:  ~~$b_0$~~  ~~440~~  $b_0$  bei 109,5 auf 5 halb



(je Stoßparameter zu schuss)

Stoßparameter 1:  $b_1 = -1,0 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 2:  $b_2 = -1,5 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 3:  $b_3 = -2,0 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 4:  $b_4 = -2,5 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 5:  $b_5 = -3,0 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 6:  $b_6 = -3,5 \pm 0,1 \text{ cm}$

↑ geht an Zylinder vorbei

• je mehr Stoßparameter desto mehr Kugeln  
 gehen nach oben/unten "unterschiedlich"  
 • manchmal außerhalb von Drachpapier  
 → Schüsse werden nicht mit ausgewertet  
 → ganz schiefe Schüsse sieht man nicht

Stoßparameter 7:  $b_7 = 1,0 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 8:  $b_8 = 1,5 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 9:  $b_9 = 2,0 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 10:  $b_{10} = 2,5 \pm 0,1 \text{ cm}$

Stoßparameter 11:  $b_{11} = 3,0 \pm 0,1 \text{ cm}$  ← geht an Zylinder vorbei

Stoßparameter 12:  $b_{12} = 0,5 \pm 0,1 \text{ cm}$

NT 28.09.18

Ca