

# Deckblatt zum Versuch: \_\_\_\_\_

Angaben zum Experiment	
Name: _____	<div style="border-top: 1px solid black; margin-top: 20px;"> Stempel/ Tutor-Unterschrift / Punkte </div>
Gruppennummer: _____	
Tutor: _____	
Datum der Abgabe: _____	

Die nachstehende Checkliste bildet die Anforderungen an den Bericht im PhysikPraktikum ab.

Allgemeines	Ja	Nein	NA
• Abgabe des Berichts erfolgt pünktlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Äußere Form des Berichts ist angemessen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Messdaten liegen dem Bericht bei	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Jede gedruckte Seite enthält Namen und Gruppennummer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Eine Nachbesserung ist erforderlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Strukturierung und Dokumentation	Ja	Nein	NA
• Gliederung des Berichts ist übersichtlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Rechenwege zur Ermittlung des Ergebnisses sind nachvollziehbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Unsicherheiten wurden richtig ermittelt (Fehlerfortpflanzung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Alle quantitativen Ergebnisse enthalten Angaben zur Messunsicherheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Messunsicherheiten und Ergebnisse werden diskutiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Graphische Darstellung	Ja	Nein	NA
• Bildunterschriften sind aussagekräftig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Vollständige Bezeichnung der Achsen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Sinnvolle Skalierung der Achsen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Bei Fit-Analyse: Angabe aller relevanten Parameter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Darstellung der Messunsicherheiten mittels Fehlerbalken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen



## Zusammenfassung

Während des Anfängerpraktikumsseminars haben wir uns mit verschiedenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen, wie die Binomial-, Normal- oder Poissonverteilung, auseinandergesetzt. In diesem Bericht untersuchen wir ein Zufallsexperiment auf seine Zufallsverteilung.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Das Zufallsexperiment</b>	<b>2</b>
1.1	Methode der Durchführung . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Auswertungen</b>	<b>3</b>
2.1	Diagramme . . . . .	3
2.1.1	Ein Strahlteiler . . . . .	3
2.1.2	Drei Strahlteiler . . . . .	3
2.1.3	Fünf Strahlteiler . . . . .	4
2.2	Analyse . . . . .	5
2.3	Zusammenfassung . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Anhang</b>	<b>7</b>
3.1	Code . . . . .	7
3.2	Werte . . . . .	8

# 1 Das Zufallsexperiment

Das Zufallsexperiment, dass wir betrachten, ist das Auftreffen von Photonen auf Strahlteiler verschiedener Anzahl mit verschiedenen Durchlasswahrscheinlichkeiten. Hierbei nehmen wir an dass immer acht Photonen ausgelöst werden und in unser Experiment gelangen. Nun lassen wir die Photonen hintereinander auf die Strahlteiler treffen und untersuchen wie viele Photonen durch alle Strahlteiler gelangt sind. Hierbei ist die Durchlasswahrscheinlichkeit für ein Photon bei allen Strahlteilern gleich. Diesen Versuch führen wir nun für einen, drei und fünf Strahlteiler durch mit Durchlasswahrscheinlichkeiten von ein Viertel, ein Halb und Dreiviertel und das jeweils 500.000.000 Mal und untersuchen dabei die Verteilung der am Ende von allen Strahlteilern durchgelassenen Photonen.

## 1.1 Methode der Durchführung

Wir haben diesen Versuch mithilfe von Java simuliert. Im Anhang ist der Java-Code vorzufinden den wir zur Simulation benutzt haben.

Unserer Programm zur Simulation des Zufallsexperimentes benötigt als Argumente als erstes die Anzahl der Photonen, in unserem Fall acht, dann die Anzahl der Strahlteiler, die Durchlasswahrscheinlichkeit und die Anzahl der Durchführungen des Experimentes, sowie wahlweise den Dateinamen mit Dokumententyp unter dem die Daten abgespeichert werden soll. In diesem Fall werden die Daten nicht ausgegeben, sondern nur als Dokument gespeichert.

Hierbei lassen wir das Programm als erstes testen ob genug Argumente vorhanden sind, sonst gibt es eine Fehlermeldung aus. Als nächstes initialisieren wir die Variablen unseres Programmes als ganze Zahlen beziehungsweise die Wahrscheinlichkeit als Kommazahl. Zusätzlich definieren wir uns die Liste absHaeufigkeit die um eins länger ist als wir Photonen in unser Experiment schicken und die wir benutzen um unsere absoluten Häufigkeiten zu erhalten.

Dann verwenden wir eine For-Schleife die von Null bis zur Anzahl der Durchführungen läuft und nPhotonen gleich unserer Startphotonenzahl setzt. Nun wenden wir in einer inneren For-Schleife, die die Anzahl der Strahlteiler durchläuft, eine Funktion Strahlenteiler auf nPhotonen an und erhalten als Output dieser For-Schleife die Anzahl der durchgelassenen Photonen von dieser Durchführung des Zufallsexperiments. Zum Abschluss erhöhen wir nun in der äußeren For-Schleife an der Stelle unserer Liste absHaeufigkeit, die gleich unserem nach der Durchführung der inneren For-Schleife erhaltenen nPhotonen ist, den Wert um Eins. Hierbei ist es hilfreich, dass Listen in Java mit dem nullten Element beginnen, wodurch wir als das nullte Listenelement das absolute Häufigkeit von Null durchgelassenen Photonen haben können etc. Dies führen wir nun so oft durch wie wir angegeben haben und erhalten so eine Liste mit unseren absoluten Häufigkeiten für unserer Zufallsexperiment.

Als nächstes testen wir mit einem If-Befehl, ob wir das Ergebnis als Dokument speichern sollen oder einfach ausgeben sollen, indem wir die Anzahl unserer Argumente untersuchen.

Als vorletztes definieren wir noch unsere bereits verwendete Funktion Strahlenteiler, wobei wir als erstes unseren Output sout Null setzen, dann durchlaufen wir mit einer For-Schleife alle Photonen die wir in den Strahlteiler schicken und generieren für jedes eine Zufallszahl zwischen Null und Eins und testen ob diese kleiner oder gleich unserer festgelegten Wahrscheinlichkeit ist. Wenn dem so ist erhöhen wir sout um Eins, sonst nicht. Zum Schluss definieren wir noch die Funktion, die unsere Output-Datei generiert. Hierbei durchlaufen wir mit einer For-Schleife unsere Liste absHaeufigkeit und schreiben diese in die entsprechende Zeile des Dokuments in der Form „durchgekommene Photonen“; „absolute Häufigkeit“.

## 2 Auswertungen

### 2.1 Diagramme

#### 2.1.1 Ein Strahlteiler

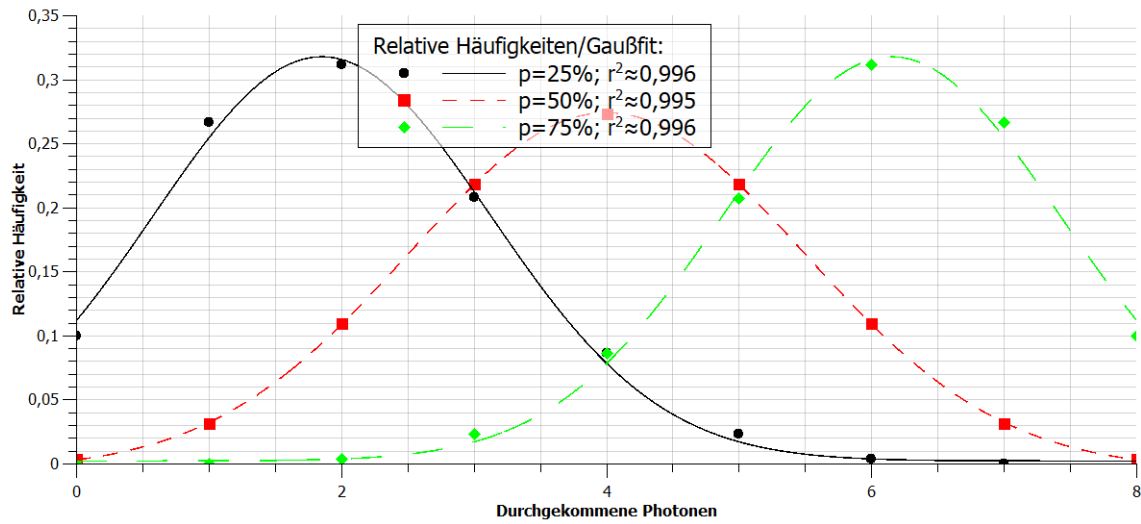


Abbildung 1: Dargestellt sind die relativen Häufigkeiten aufgetragen gegen die durchgekommenen Photonen, bei einem Strahlteiler. Es wurden 500 Millionen Versuche durchgeführt.

#### 2.1.2 Drei Strahlteiler

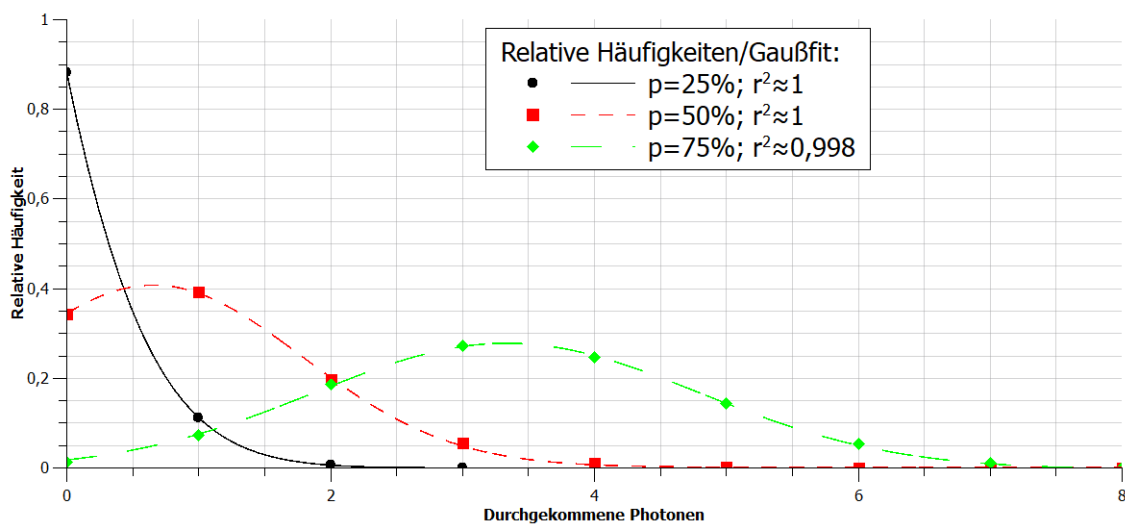


Abbildung 2: Dargestellt sind die relativen Häufigkeiten aufgetragen gegen die durchgekommenen Photonen, bei drei Strahlteilern. Es wurden 500 Millionen Versuche durchgeführt.

### 2.1.3 Fünf Strahlteiler

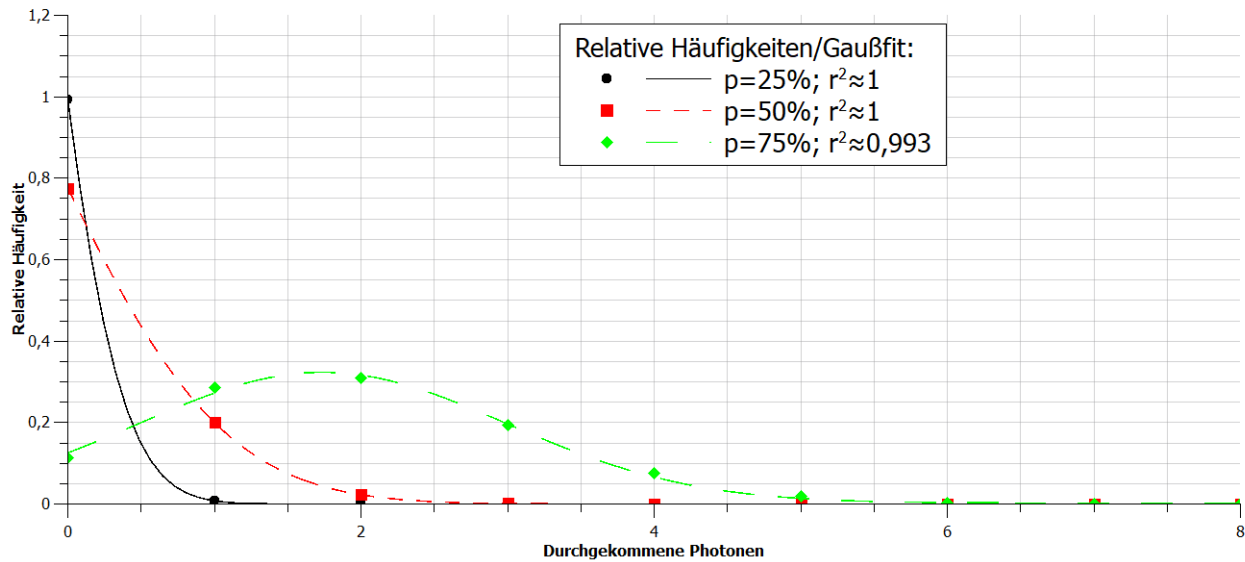


Abbildung 3: Dargestellt sind die relativen Häufigkeiten aufgetragen gegen die durchgekommenen Photonen, bei fünf Strahlteilern. Es wurden 500 Millionen Versuche durchgeführt.

## 2.2 Analyse

Dies sind die verwendeten Formel:

Binomialverteilung( $n$ : Anzahl Versuche,  $P$ : Wahrscheinlichkeit Erfolg,  $k$ : Untersuchter Wert):

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

Normalverteilung( $\sigma^2$ : Varianz,  $\mu$ : Erwartungswert,  $x$ : Untersuchter Wert):

$$P(X = x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad \mu = \sum_{i=1}^k x_i \cdot p_i, \quad \sigma^2 = n \cdot p \cdot (1 - p)$$

Poissonverteilung( $\lambda$ ):

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$$

Da im folgendem nicht gefittet wurde, muss der  $r^2$ -Wert manuell ausgerechnet werden::

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - P(X = x))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

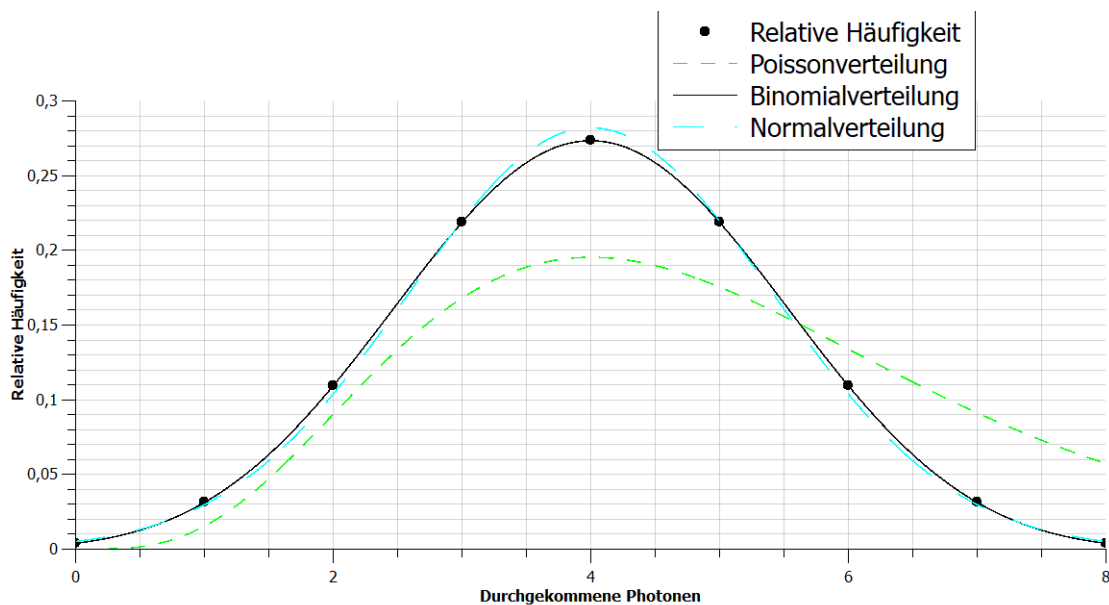


Abbildung 4: Relative Häufigkeit aufgetragen auf durchgekommene Photonen, angenähert durch Poisson-, Binomial- und Normalverteilung. Es wurde 1 Strahlteiler mit einer Durchlasswahrscheinlichkeit von 50% simuliert und 500 Millionen Versuche durchgeführt.  
 $r^2$ : Poisson  $\approx 0,79$ ; Normal  $\approx 0,998$ ; Binom  $\approx 1$

In diesem Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass unser Zufallsexperiment keiner Poissonverteilung folgt. Des Weiteren ist zu erkennen, dass eine Normalverteilung durchaus als gute Näherung betrachtet werden kann. Es ist aber auch sichtbar, dass bei diesen Versuchsparametern eine Binomialverteilung die höchste Übereinstimmung vorzuweisen hat. Dies legt die Vermutung nahe, dass unser Zufallsexperiment auch ein Bernoulli-Versuch ist.

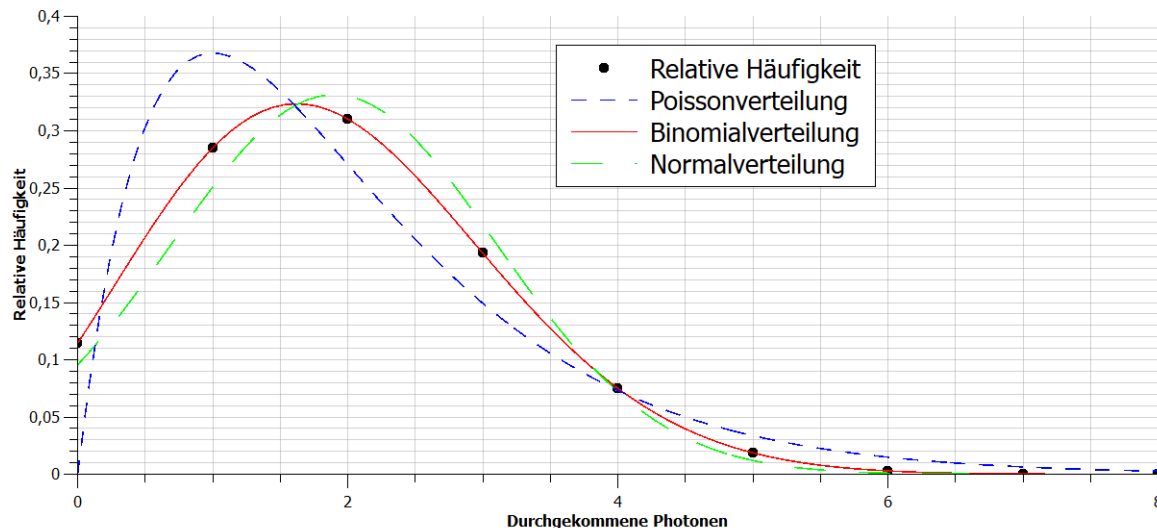


Abbildung 5: Relative Häufigkeit aufgetragen auf durchgekommene Photonen, angenähert durch Poisson-, Binomial- und Normalverteilung. Es wurden 5 Strahlteiler mit einer Durchlasswahrscheinlichkeit von 75% simuliert und 500 Millionen Versuche durchgeführt.  
 $r^2$ : Poisson  $\approx 0,8$ ; Normal  $\approx 0,98$ ; Binom  $\approx 1$

Es ist zu erkennen, dass auch bei diesen Versuchsparametern dieselbe Beobachtung getätigt werden kann wie bei Diagramm 4, nämlich dass eine Binomialverteilung eines Bernoulli-Versuchs der Kettenlänge acht vorliegt. Damit haben wir eine Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment, da man aus unserem Versuchsaufbau auf eine Binomialverteilung schließen kann. Da man bei einem Bernoulli-Versuch nur zwei Auskomm-Möglichkeiten hat, bei uns durchkommen oder nicht, und dann die Anzahl der Treffer, bei uns die Anzahl der durchgekommenen Photonen, untersucht, ist unser Zufallsexperiment in der Theorie ein Bernoulli-Versuch und dies wurde durch die Ausführung des Zufallsexperiments bestätigt.

## 2.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich über dieses Experiment sagen, dass es in diesem Fall eine hohe Übereinstimmung des theoretischen und des experimentellen Ergebnisses gibt. Abschließend sei nur noch gesagt, dass es sicherlich für die Größe der Übereinstimmung, die wir erreicht haben, ein Vorteil war, dass wir zu jeder Konfiguration unserer Versuchsparameter 500 Millionen Durchführungen durchgeführt haben, da sich so Abweichungen besser wieder rausmitteln konnten.

## 3 Anhang

### 3.1 Code

---

```
package kuhn.domenik;

import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;

public class PhotonSim {

    public static void main(String[] args) {

        if(args.length<4){
            System.out.println("Syntax:");
            System.out.println("photonSim <StartPhotonen> <Anzahl Strahlenteiler> <Durchlass  

                Warscheinlichkei> <Anzahl Durchlaeufer> [Output File Name]");
            System.exit(0);
        }
        System.out.println();

        int runs = Integer.parseInt(args[3]);
        int startPhotonen = Integer.parseInt(args[0]);
        int nStrahlenTeiler = Integer.parseInt(args[1]);
        double p = Double.parseDouble(args[2]);
        int[] endPhotonen = new int[runs];
        int[] absHaeufigkeit = new int[startPhotonen+1];

        for(int i=0; i<runs; i++){
            int nPhotonen = startPhotonen;
            for(int k=0; k<nStrahlenTeiler; k++){
                nPhotonen = strahlenTeiler(nPhotonen,p);
            }
            endPhotonen[i]=nPhotonen;
            absHaeufigkeit[nPhotonen]++;
        }

        if(args.length==5){
            csvWriter(args[4],absHaeufigkeit);
        }else{
            System.out.println("Durchgekommene Photnen\t\tAbsolute Haeufigkeit");
            for(int i = 0; i<startPhotonen+1;i++){
                System.out.println(i+"\t\t\t"+absHaeufigkeit[i]);
            }
        }
    }

    public static int strahlenTeiler(int photonen, double p){
        int sout=0;
        for(int i=0; i<photonen;i++){
            if(Math.random()<=p)sout++;
        }
        return sout;
    }
}
```



```

public static void csvWriter(String path, int[] data){
    try {
        FileWriter fw = new FileWriter(path);
        for(int i=0; i<data.length; i++){
            fw.write(i+";"+data[i]+"\\n");
        }
        fw.close();
    } catch (IOException e) {
    }
}
}
}

```

### 3.2 Werte

1 Strahlteiler						
	25% Durchlass		50% Durchlass		75% Durchlass	
#DP	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
0	50.060.590	0,10012118	1.952.901	0,003905802	7.793	1,5586e-05
1	133.481.859	0,266963718	15.621.636	0,031243272	183.433	0,000366866
2	155.705.375	0,31141075	54.684.469	0,109368938	1.922.575	0,00384515
3	103.843.189	0,207686378	109.374.310	0,21874862	11.533.646	0,023067292
4	43.260.603	0,086521206	136.733.468	0,273466936	43.254.905	0,08650981
5	11.535.075	0,02307015	109.362.826	0,218725652	103.817.466	0,207634932
6	1.922.542	0,003845084	54.692.025	0,10938405	155.734.561	0,311469122
7	183.095	0,00036619	15.626.048	0,031252096	133.482.836	0,266965672
8	7.672	1,5344e-05	1.952.317	0,003904634	50.062.785	0,10012557

3 Strahlteiler						
	25% Durchlass		50% Durchlass		75% Durchlass	
#DP	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
0	440.816.470	0,88163294	171.803.814	0,343607628	6.238.437	0,012476874
1	55.973.348	0,111946696	196.339.304	0,392678608	36.428.388	0,072856776
2	3.109.143	0,006218286	98.188.913	0,196377826	93.022.782	0,186045564
3	99.084	0,000198168	28.042.870	0,05608574	135.767.124	0,271534248
4	1.930	3,86e-06	5.010.695	0,01002139	123.848.086	0,247696172
5	25	5e-08	571.731	0,001143462	72.299.885	0,14459977
6	0	0	41.039	8,2078e-05	26.389.380	0,05277876
7	0	0	1.607	3,214e-06	5.504.504	0,011009008
8	0	0	27	5,4e-08	501.414	0,001002828

Author1: Domenik Kuhn 10011073

Author2: Finn Feuerstarke 10011078

Gruppe: 220

---

5 Strahlteiler						
	25% Durchlass		50% Durchlass		75% Durchlass	
#DP	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
0	496.109.350	0,9922187	387.855.414	0,775710828	57.255.964	0,114511928
1	3.877.288	0,007754576	100.085.542	0,200171084	142.504.954	0,285009908
2	13.333	2,6666e-05	11.300.032	0,022600064	155.176.959	0,310353918
3	29	5,8e-08	728.933	0,001457866	96.568.486	0,193136972
4	0	0	29.295	5,859e-05	37.552.673	0,075105346
5	0	0	776	1,552e-06	9.350.079	0,018700158
6	0	0	8	1,6e-08	1.456.188	0,002912376
7	0	0	0	0	129.671	0,000259342
8	0	0	0	0	5.026	1,0052e-05