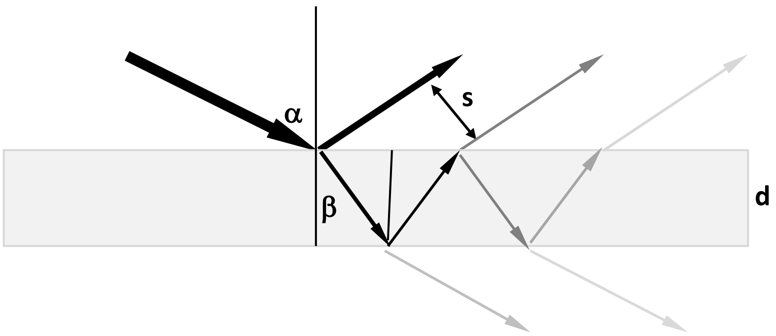
FORTGESCHRITTENE MUSTERLÖSUNG PW 23 1. Runde

A1 Mehrere Bilder

Betrachten wir zunächst die Situation an einer Glasscheibe.

Grundsätzlich wird das Licht der Kerze an zwei Oberflächen reflektiert, nämlich der Vorderseite der Scheibe und nach Eintritt der Strahlen und Brechung an der Rückseite der Scheibe: An Grenzflächen wird ein Teil des Lichtstromes immer reflektiert und an anderer Teil gebrochen (ein weiterer, aber relativ kleiner Teil wird im Glas absorbiert). Deswegen wiederholt sich dieser Vorgang im Glas, so dass das Licht der Kerze mehrere Spiegelbilder liefert (siehe Abbildung).

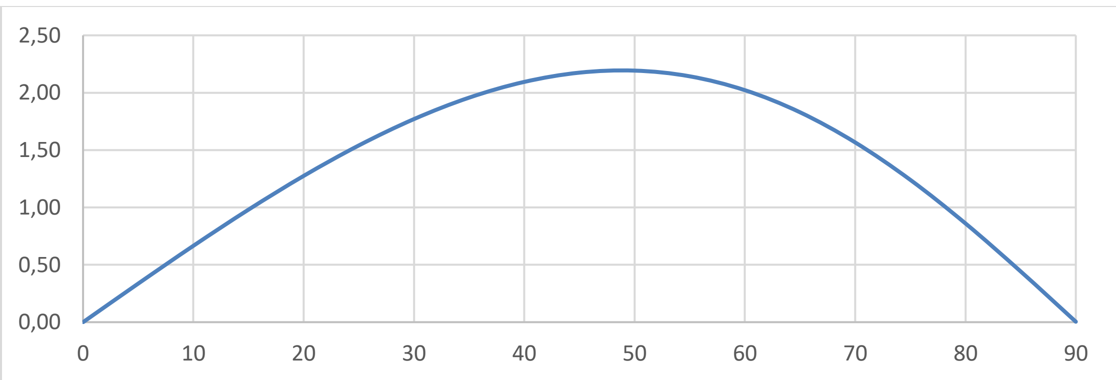


- Man kann also mindestens zwei Spiegelbilder erkennen, das der unmittelbaren Reflektion und das der ersten Reflektion an der Rückseite.

Ab einem genügend großen Sichtwinkel α sind weitere Spiegelbilder sichtbar, allerdings nimmt die Helligkeit immer stärker ab: Da das Verhältnis von gebrochenem und reflektiertem Anteil a des Lichts für alle Winkel α deutlich kleiner als 1 ist, ist die Helligkeit des zweiten Spiegelbildes um den Faktor a^2 weniger hell, die des dritten Spiegelbildes um den Faktor $(1-a)\cdot a^3$ usw.

- Praktisch bedeutet dies, dass mit dem Winkel α die Zahl der sichtbaren Spiegelbilder wächst und deren Helligkeit stetig abnimmt.

Der scheinbare Abstand der Spiegelbilder ist zwar bei jedem Sichtwinkel konstant, ändert sich aber mit der Größe von α. Genauere Überlegungen zeigen $s = 2d \cdot \tan(\arcsin\left(\frac{1}{n} \cdot sin\beta\right)) \cdot \cos\alpha$;
der Graph sieht so aus:



Man erkennt, dass bei Vergrößerung des Einfallswinkels der Abstand der Bilder zunächst zunimmt. Diese Zunahme wird aber immer kleiner, und ab ca. 50° wird der Abstand der Bilder wieder kleiner. Bei Frontalansicht ($\alpha = 0°$) und beim Grenzwinkel ($\alpha = 90°$) liegen die Bilder übereinander. Ebenso erkennt man, dass der scheinbare Abstand der Bilder proportional zur Scheibendicke d ist.

Wenn man jetzt die Situation der Spiegelung an einem Fenster mit mehreren Scheiben untersucht, so ergibt sich sofort, dass die bisherigen Überlegungen für jede der Scheiben gelten.

- Man erhält also für jede Scheibe einen entsprechenden Satz von Spiegelbildern. Da im Allgemeinen der Abstand der Scheiben größer als deren Dicke ist, sind die Sätze der Spiegelbilder (meistens) deutlich getrennt.

A2 Verschiedene Drähte

Grundsätzlich bilden die vier Widerstände eine Brückenschaltung.

Auf den ersten Blick erkennt man, dass es $4! = 24$ Möglichkeiten gibt, die verschiedenen Widerstände auf die vier Plätze anzuordnen, aber:
Ersichtlich hat die Schaltung zwei Symmetrieachsen, eine waagerechte (mitten durch die Widerstandspaare) und eine senkrechte (durch die Verbindung von A und B). Spiegelt man die Schaltung an der waagerechten Achse, so ändert sich lediglich die Polung der Spannung zwischen A und B; spiegelt man die Schaltung an der senkrechten Achse, so ändert sich ebenfalls lediglich die Polung zwischen A und B.

Es gibt also nur sechs wirklich verschiedene Fälle.

In der folgenden Tabelle sind diese sechs Fälle mit den vier berechneten Widerstandswerten dargestellt (R1 und R2 sind die Eisendraht-Widerstände, R3 und R4 die Konstantandraht-Widerstände). Die Widerstandswerte tragen dabei immer die Einheit Ohm, die Spannungswerte die Einheit Volt.
Die angegebenen Teil-Spannungen sind die Spannungsabfälle über den jeweiligen Widerstand.

Uo= 1,5V
U A/B als Differenz der parallel liegenden Teilspannungen berechnet

R1	0,707
R2	1,414
R3	3,537
R4	7,074

								U A/B	Polung A	B
R2	1,414	R3	3,537	U2	0,428	U3	1,072	**0,292**	Minus	
R1	0,707	R4	7,074	U1	0,136	U4	1,364			Plus
R2	1,414	R1	0,707	U2	1,000	U3	0,500	**0,500**	Minus	
R3	3,537	R4	7,074	U1	0,500	U4	1,000			Plus
R2	1,414	R4	7,074	U2	0,250	U3	1,250	**-1,000**	Plus	
R3	3,537	R1	0,707	U1	1,250	U4	0,250			Minus
R2	1,414	R3	3,537	U2	0,428	U3	1,072	**-0,935**	Plus	
R4	7,074	R1	0,707	U1	1,364	U4	0,136			Minus
R2	1,414	R1	0,707	U2	1,000	U3	0,500	**0,000**		
R4	7,074	R3	3,537	U1	1,000	U4	0,500			
R2	1,414	R4	7,074	U2	0,250	U3	1,250	**0,000**		
R1	0,707	R3	3,537	U1	0,250	U4	1,250			

Man erkennt, dass in den letzten beiden Fällen (idealerweise) keine Spannungsdifferenz über der Brücke anliegt; im ersten Fall ist das Verhältnis der jeweils „übereinanderliegenden“ Widerstände gleich, im zweiten Fall das der jeweils „nebeneinanderliegenden“ (Wheatstone’sche Brückenschaltung).

Bei der Durchführung des Experiments sollte erkannt werden, dass sich die 24 Möglichkeiten in sechs Gruppen à vier Möglichkeiten anordnen lassen. Die Spannungsergebnisse innerhalb dieser Gruppen sollten verglichen werden. Ebenso sollten die letzten beiden Fälle erkannt und begründet werden.

A3 Viele Tomaten

Beim Aufbau des Experiments kommt es darauf an, dass der Zylinder auf dem Boden steht und die Waage nicht berührt.

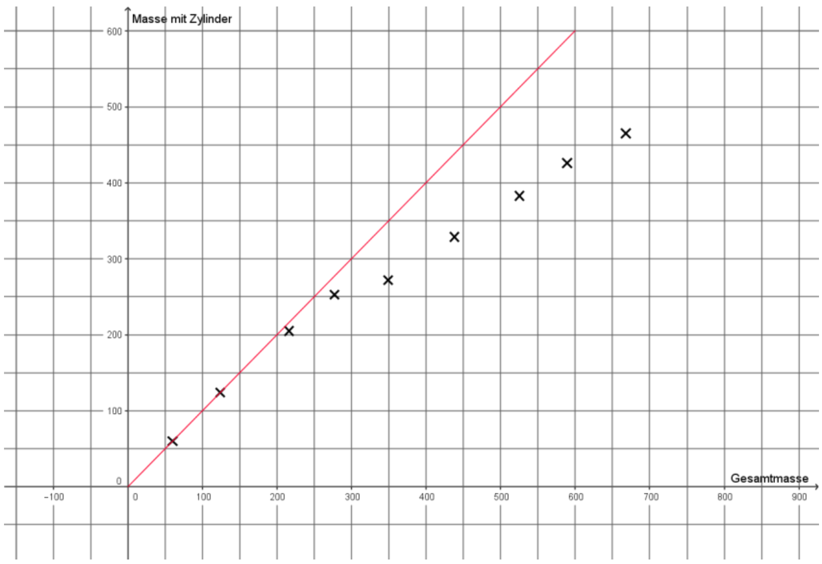
Die Durchführung verlangt, dass man jede einzelne Tomate wiegt, so dass man immer das bekannte Gesamtgewicht der Tomaten mit dem angezeigten Gewicht vergleichen kann – und hierbei möglichst viele Messwerte gewinnt.
Dasselbe gilt entsprechend bei den weiteren Versuchsdurchführungen mit Nüssen, Tischtennisbällen (eher ungeeignet), Äpfeln usw.

Wenn die verwendeten Gegenstände auch nur ein wenig an der Zylinderwand haften, wird das Ergebnis des Experiments sein, dass mit steigender Masse der gewogenen Gegenstände die von der Waage angezeigte Masse immer weiter abweicht, dass also die Differenz zwischen tatsächlicher Masse und von der Waage angezeigten Masse immer größer wird.

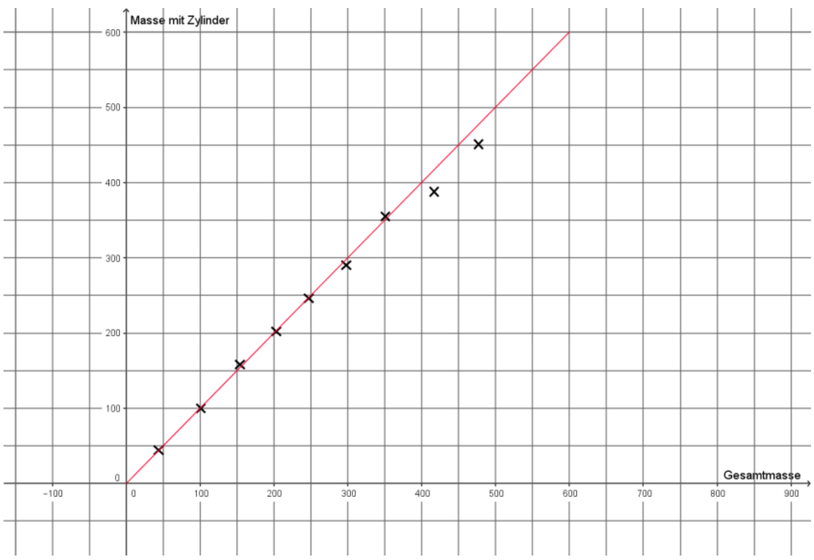
In den beiden folgenden Diagrammen sind die Beobachtungen einer Messung mit relativ großen Strauchtomaten und einer Messung mit relativ kleinen Cocktailtomaten dargestellt:

Strauchtomaten;

„Masse mit Zylinder“ bedeutet Messung mit Zylinder um die Waage



Cocktailtomaten



Erklärung:

Die Gewichtskräfte der einzelnen eingefüllten Tomaten zeigen nicht nur parallel nach unten, denn sie stützen sich ja nicht nur auf die jeweils darunter liegende Tomate (bzw. die Waage) senkrecht nach unten ab. Vielmehr stützen sich die weiter oben befindlichen Tomaten schräg auf den weiter unten liegenden ab und auch an der Zylinderwand. Man könnte von „Kraft-brücken“ sprechen, bis zur umgebenden Zylinder-Hülle reichen. An der Zylinderwand haften die Tomaten, so dass die über die „Kraftbrücken“ eingeleiteten Kräfte zum Teil über die Zylinderwand nach unten geleitet werden. Da der Zylinder selbst nicht auf der Waage positioniert ist, tragen diese abgeleiteten Kräfte nicht zur auf der Waage gemessenen Gewichtskraft bei.
Die Stärke dieses Effekts hängt wesentlich von der Haftreibung zwischen den Gegenständen und der Wand ab: Tomaten eignen sich sehr gut – wegen der verhältnismäßig großen Berührungsfläche und der Haftung der (feuchten) Haut am Zylinder - Nüsse wegen ihrer geringen Haftreibung ziemlich schlecht. Runde Gegenstände zeigen diesen Effekt deutlich besser als kaum kugelförmige Gegenstände.