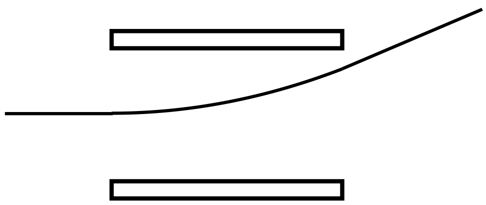
a)

- Beim Beschleunigen durchlaufen die Elektronen eine Spannung von $U = 200\,\text{V}$. Geht man davon aus, dass die Anfangsgeschwindigkeit vernachlässigt werden kann, so besitzen die Elektronen nach dem Durchlaufen der Beschleunigungsstrecke die Kinetische Energie $E = e \cdot U$. Weiter gilt aber auch allgemein für die kinetische Energie $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$, so dass man diese Formel nach der Geschwindigkeit auflösen kann:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 &= e \cdot U \\ v &= \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 200}{9,11 \cdot 10^{-31}}}\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 8,4 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\,.\end{aligned}$$

- Nach der Beschleunigungsstrecke bewegen sich die Elektronen bis zum Eintritt in den Kondensator gleichförmig mit der Geschwindigkeit $v_0 = 8,4 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Treten diese in den Kondensator ein, so bleibt die Ausgangsgeschwindigkeit erhalten, sie wird jedoch mit einer zu oberen Kondensatorplatte hin beschleunigten Bewegung überlagert, es entsteht hierdurch eine Parabelflugbahn innerhalb des Kondensators. Außerhalb des Kondensators erfahren die Elektronen keine beschleunigende Kraft mehr, so dass sie sich mit der Endgeschwindigkeit bei austritt aus dem Kondensator weiter bewegen.



- Für die Richtung parallel zu den Kondensatorplatten gelten die Weg-Zeit und die Gschwindigkeits-Zeit Gesetze einer gleichförmigen Bewegung:

$$x(t) = v_0 \cdot t \quad v_x(t) = v_0\,.$$

Senkrecht zu den kondensatorplatten hingegen führt das Teilchen eine beschleunigte Bewegung durch:

$$y(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad v_y(t) = a \cdot t$$

Für die Beschleunigung $a$ gilt:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{e \cdot E}{m} = \frac{e \cdot U}{m \cdot d} = \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 20}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 0,01}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 3,5 \cdot 10^{14}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\,.$$

Die Elektronen durchfliegen den Kondensator in der Zeit

$$T = \frac{S}{v_0} = \frac{0,040}{8,4 \cdot 10^6}\,\text{s} \approx 4,8 \cdot 10{-}9\,\text{s}\,.$$

Diese haben sich in dieser Zeit im Kondensator um eine Strecke

$$y_1 = y(T) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot T^2 = \frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot 10^{14} \cdot (4,8 \cdot 10^{-9})^2\,\text{m} \approx 4,0 \cdot 10^{-3}\,\text{m}$$

senkrecht zu den Kondensatorplatten bewegt. Sie besitzen hierbei die Geschwindigkeit:

$$v_y(T) = 3,5 \cdot 1014 \cdot 4,8 \cdot 10^{-9}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 1,7 \cdot 10^6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\,.$$

Bis die Elektronen den Schirm erreichen benötigen sie die Zeit

$$t = \frac{s}{v_0}$$

Es gilt also für die in dieser Zeit in $y$-Richtung zurückgelegte Strecke:

$$y_2 = v_y(T) \cdot t = v_y(T) \cdot \frac{s}{v_0} = \frac{v_y(T)}{v_0} \cdot s = \frac{1,7 \cdot 10^6}{8,4 \cdot 10^6} \cdot 0,14\,\mathrm{m} \approx 0,028\,\mathrm{m}\,.$$

Der Abstand von der Mitte $M$ entspricht dann der Summe der in $y$-Richtung zurückgelegten Strecke:

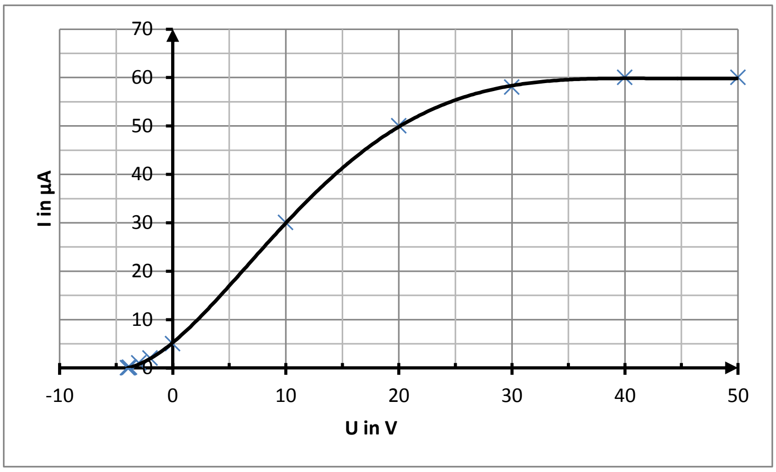
$$y = y_1 + y_2 = 4\,\mathrm{mm} + 28\,\mathrm{mm} = 32\,\mathrm{mm}\,.$$

- Die Elektronen erfahren im Kondensator eine Kraft nach oben, weshalb die Lorentzkraft nach unten zeigen muss, um die elektrische Kraft zu kompensieren. Die Orientierung des Magnetfelds erhält man dann mit der Dreifingerregel der linken hand:
  - Der Daumen zeigt in Bewegungsrichtung, also nach rechts.
  - Der Mittelfinger weist in Richtung der Kraft.
  - Der Zeigefinger gibt die Richtung des Magnetfeldes an, dieses muss in die Zeichenebene hinein zeigen.

  Fliegen die Elektronen durch den Kondensator ungehindert durch, so gilt das Kräftegleichgewicht $F_{el} = F_L$. Hieraus lässt sich die Flussdichte ermitteln:

$$\begin{aligned} e \cdot E &= e \cdot v \cdot B \\ B &= \frac{E}{v} = \frac{U}{v \cdot d} \\ &= \frac{20}{0,01 \cdot 8,4 \cdot 10^6}\,\mathrm{T} = 2,4 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{T}\,. \end{aligned}$$

b)




c)
- 
  - Für Spannungen kleiner -3,8V ist die Stromstärke null.
  - Zwischen -3,8V und 0V steigt die Stromstärke nicht-linear an.

  - Im Bereich zwischen 0V und 20V steigt die Stromstärke linear an.
  - Ab ca. 30V steigt die Stromstärke nicht mehr weiter an.

- Die Kathode wird geheizt, so dass Elektronen aus ihr austreten können und bilden hierbei eine Raumladungswole. Die Elektronen besitzen hierbei eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit $v_0$, so dass diese trotz negativ geladener Anode zu dieser gelangen können. Ab -3,9V gelangen keine Elektronen mehr zu Anode, so dass die maximale Energie der ausgelösten Elektronen 3,9eV beträgt.
  Wird die Spannung von 0V ab weiter erhöt, so wird die Raumladungswolke abgebaut, es gelangen immer mehr Elektronen zur Anode, weshalb die Stromstärke steigt. Ab 40V gelangen alle Ausgelösten Elektronen zur Anode, so dass die Stromstärke nicht mehr weiter steigt.

d)
- Trifft Licht einer bestimmten Wellenlänge auf die Kathode, so kann die Energie der Photonen auf die Elektronen im Material der Kathode übertragen werden. Ist die Energie der Photonen groß genug, so können die Elektronen aus dem Material herausgelöst werden, der restliche Teil der Enegier geht in Kinetische Energie der Photonen über. Wird die komplette Energie der Photonen Übertragen, so gilt für die Energie der schnellsten Elektronen:

$$E_{el} = h \cdot f - W_A \,.$$

  Diese erreichen bei einer Gegenspannung von 1V gerade noch die Anode, also besitzen sie die kinetische Energie $E_{kin} = e \cdot U$. Deshalb gilt für die Ablöseenergie:

$$\begin{aligned} e \cdot U &= h \cdot f - W_A \\ W_A &= h \cdot f - e \cdot U \,. \end{aligned}$$

  Zusammen mit $c = \lambda \cdot f$ bzw. $f = \frac{c}{\lambda}$ erhält man für die Ablöseenergie:

$$W_A = h \cdot \frac{c}{\lambda} - e \cdot U = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{589 \cdot 10^{-9}} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1\,\mathrm{J} \approx 1,8 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}$$

- Blaues Licht besitzt die Frequenz:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{436 \cdot 10^{-9}}\,\mathrm{Hz} \approx 6,88 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz}\,.$$

  Wenn die Stromstärke auf null zurück geht, bedeutet dies, dass die energiereichsten Photonen nicht mehr gegen die Spannung anlaufen können wegen der höheren Frequenz wird auch eine größere Gegenspannung benötigt:

$$\begin{aligned} e \cdot U &= h \cdot f - W_A \\ U &= \frac{h \cdot f - W_A}{e} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 6,88 \cdot 10^{14} \cdot 1,8 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}}\,\mathrm{V} \approx 1,7\,\mathrm{V}\,. \end{aligned}$$

- Man kann denn Photoeffekt genau dann feststellen, wenn die Energie der Photonen mindestens so groß ist wie die Austrittsarbeit der Elektronen. Somit folgt für die Frequenz:

$$f = \frac{W_A}{h}\,.$$

  Damit ergibt sich die Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{h \cdot c}{W_A} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{1,8 \cdot 10^{-19}}\,\mathrm{m} \approx 1,1 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m} = 1,1\,\mu\mathrm{m}\,.$$