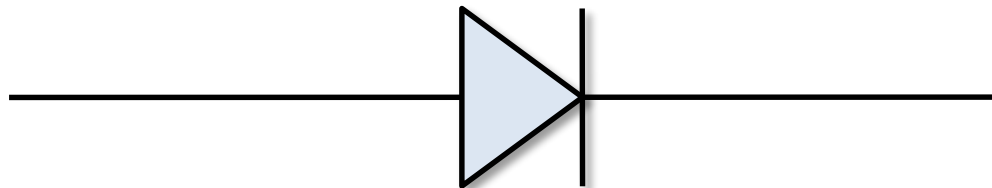


4. Dioden

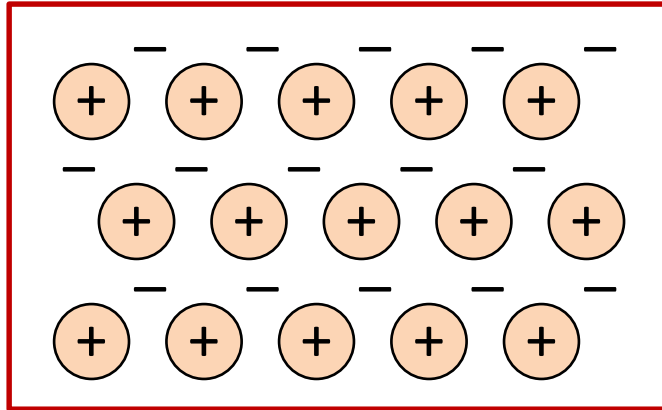
4.1. Der pn-Übergang


Die Diode ist ein Halbleiterbauelement mit zwei Anschlüssen:

- Eine Diode besteht aus einem Halbleiterkristall, der auf der einen Seite p- und auf der anderen Seite n-dotiert ist.
- Die Anschlüsse der Diode heißen **Anode** und **Kathode**.
- Dioden lassen elektrischen Strom nur in einer Richtung passieren (**Durchlassrichtung, Flussrichtung**).
- In der anderen Richtung wirken sie wie ein Isolator (**Sperrrichtung**).

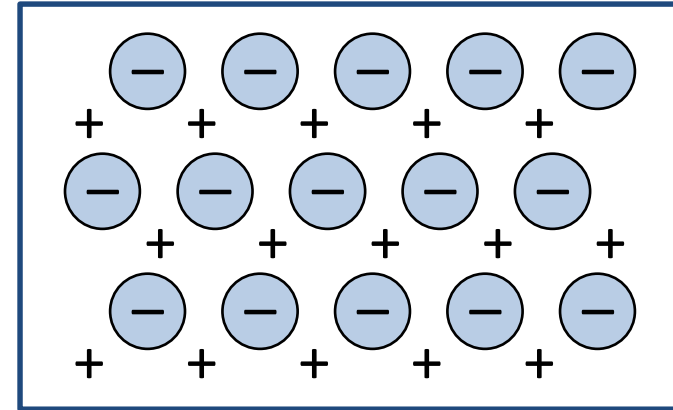



p-Halbleiter



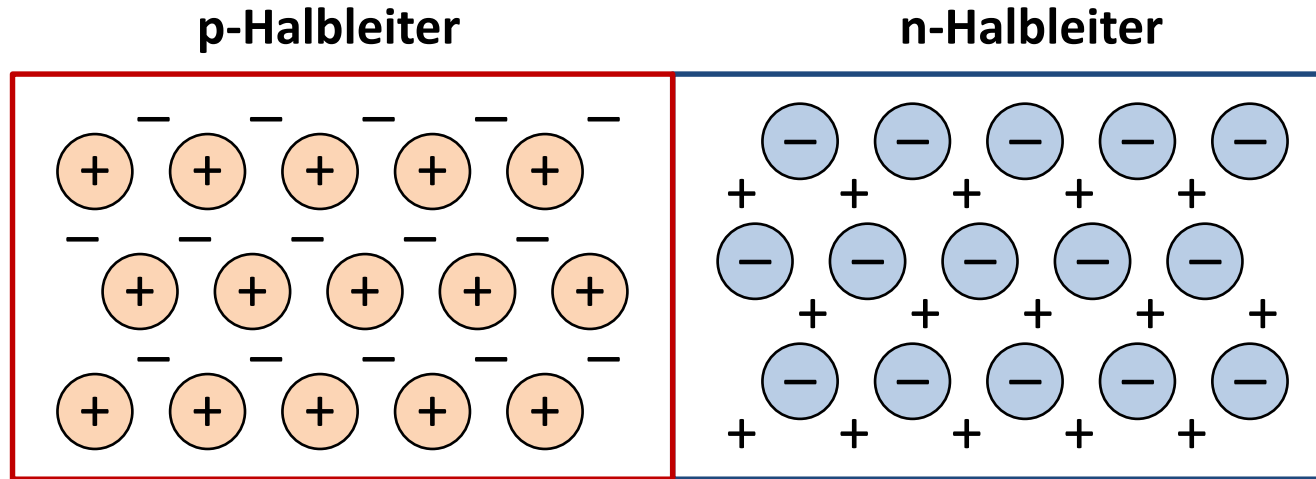
-  Loch (Majoritätsträger)
- Ortsfeste Akzeptor-Störstelle

n-Halbleiter



-  Freies Elektron (Majoritätsträger)
- + Ortsfeste Donator-Störstelle

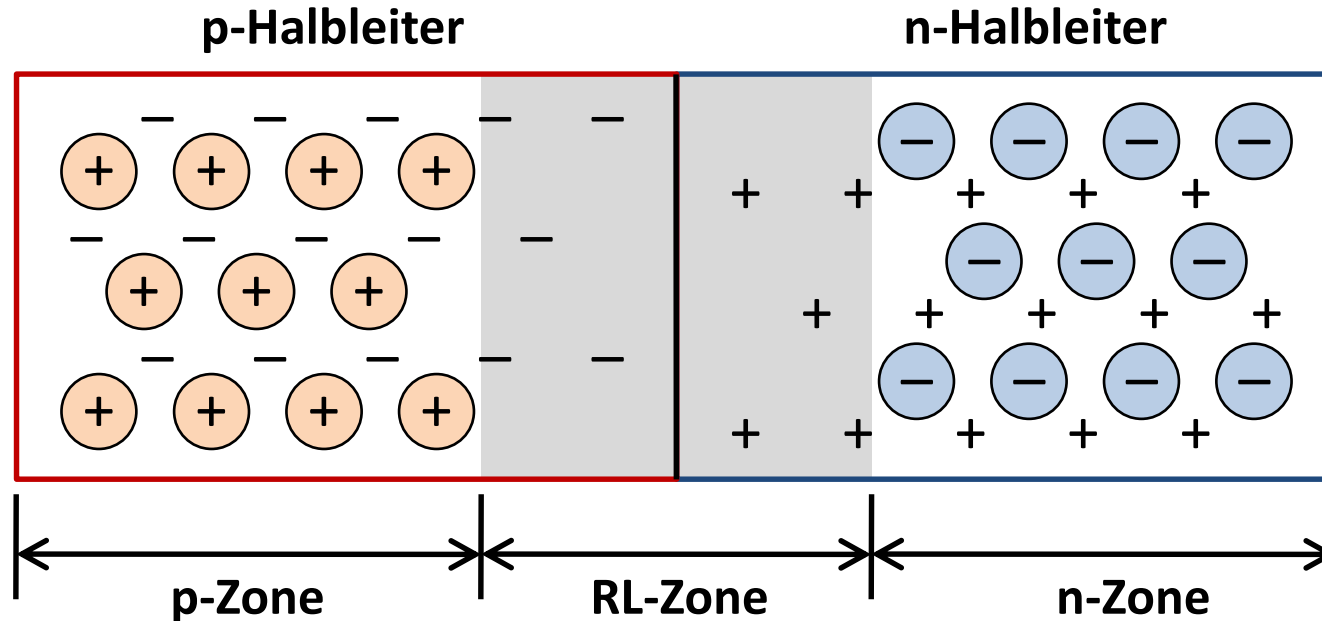
Zwei getrennte Halbleiter (p- und n-Halbleiter) sind jeweils neutral. Die Ladungen der freien Ladungsträger (Löcher bzw. freie Elektronen) und der ortsfesten Störstellen-Ionen heben sich auf.



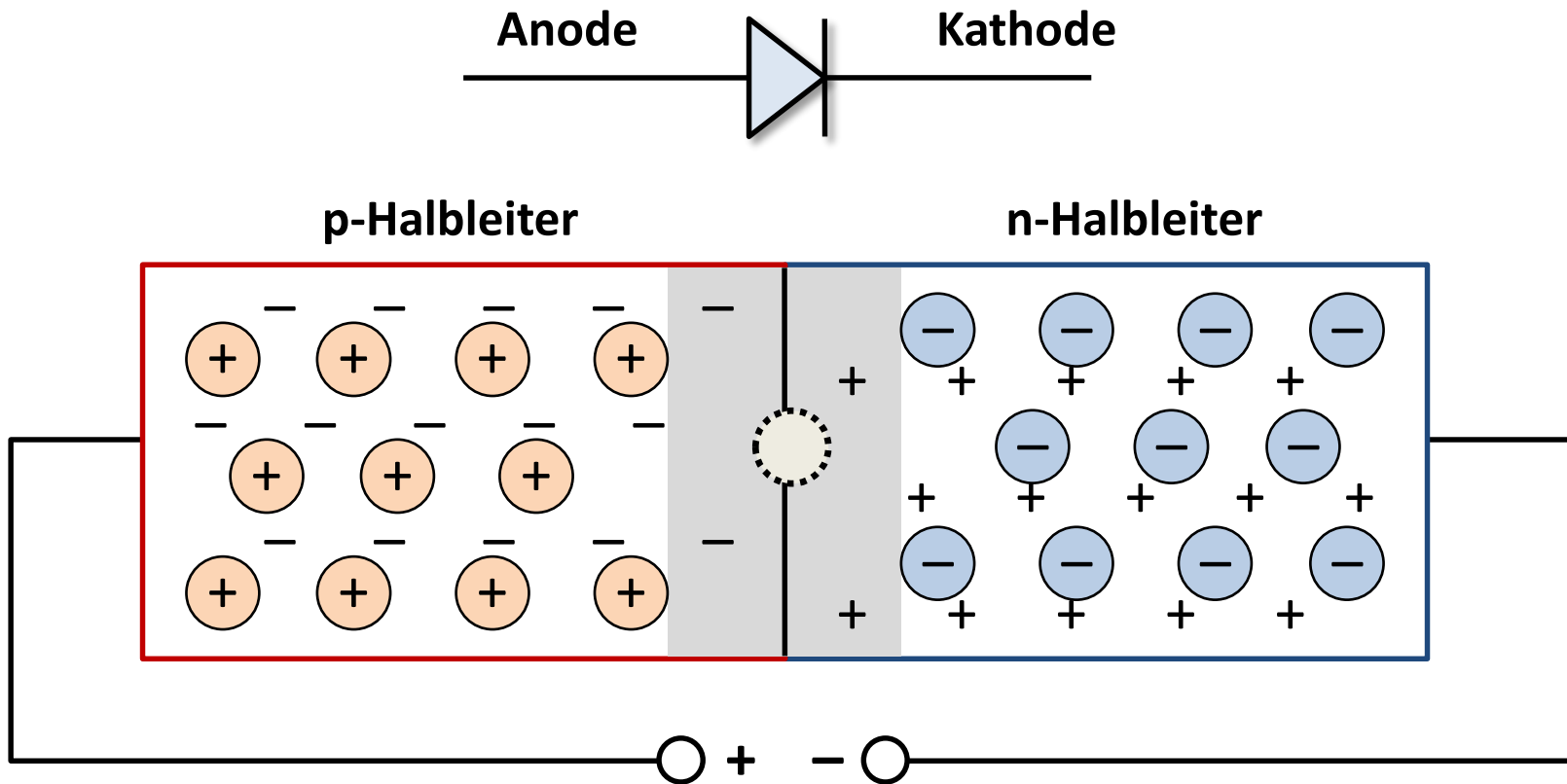
⊕ Loch (Majoritätsträger)
- Ortsfeste Akzeptor-Störstelle

⊖ Freies Elektron (Majoritätsträger)
+ Ortsfeste Donator-Störstelle

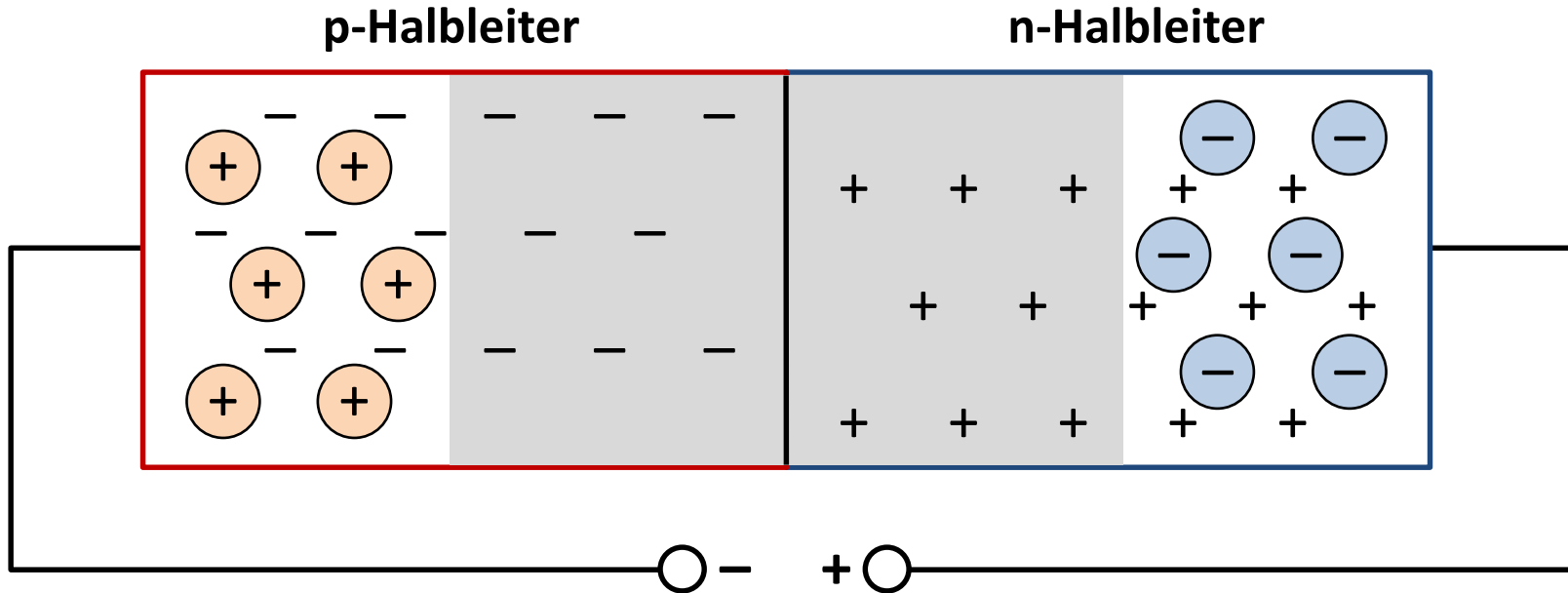
Am pn-Übergang diffundieren die beweglichen Majoritätsträger in die benachbarte Zone (**Diffusionsstrom**). Die geladenen, ortsfesten Störstellen bewirken ein immer stärker werdendes elektrisches Feld. Schließlich stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein.



Durch Rekombination der freien Ladungsträger (Löcher und Elektronen) entsteht an der Grenzschicht eine Zone, die praktisch keine freien Ladungsträger enthält. In dieser Zone befinden sich nur noch die ortsfesten, negativen Akzeptor-Störstellen bzw. die positiven Donator-Störstellen („**Raumladungszone**“).

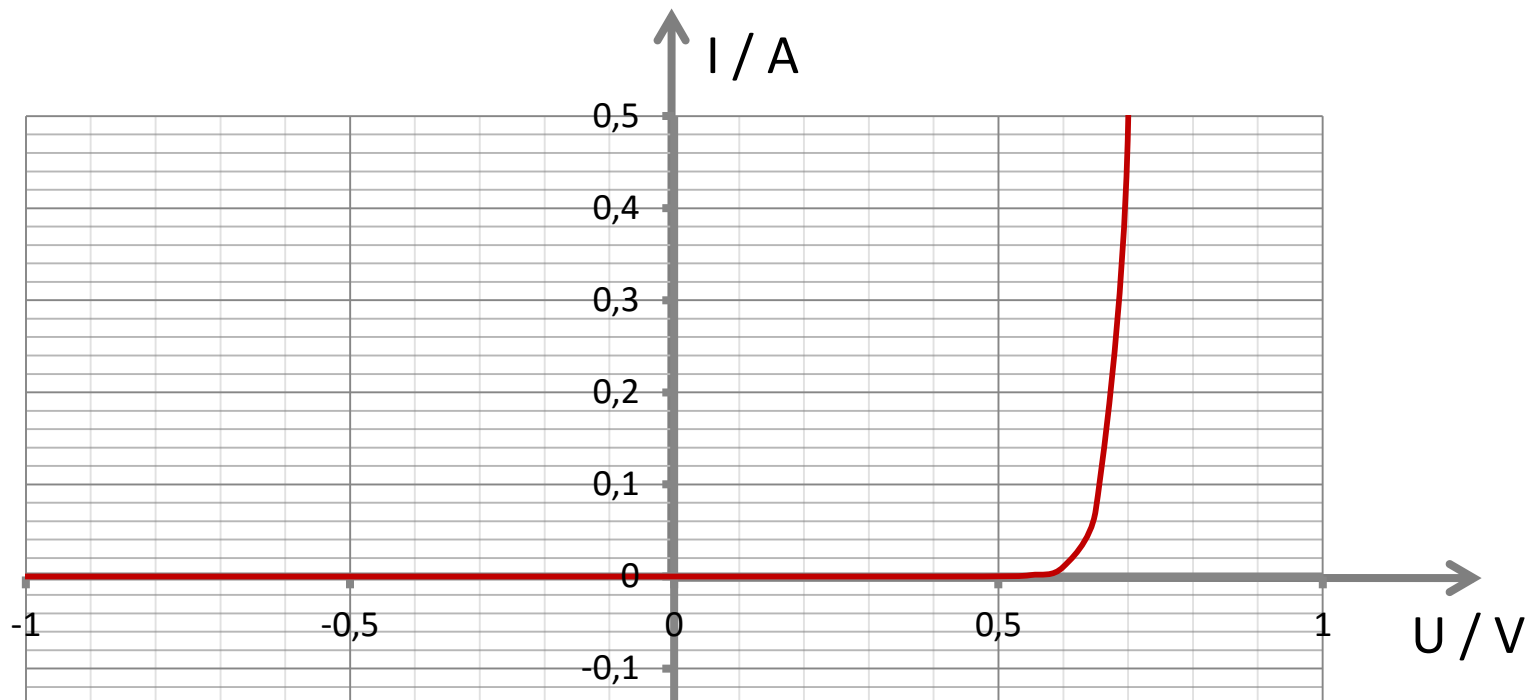


Bei Anlegen einer Spannung in **Durchlassrichtung** fließen Ladungsträger in die Raumladungszone und rekombinieren dort. Die Raumladungszone wird schmaler, es fließt Strom.



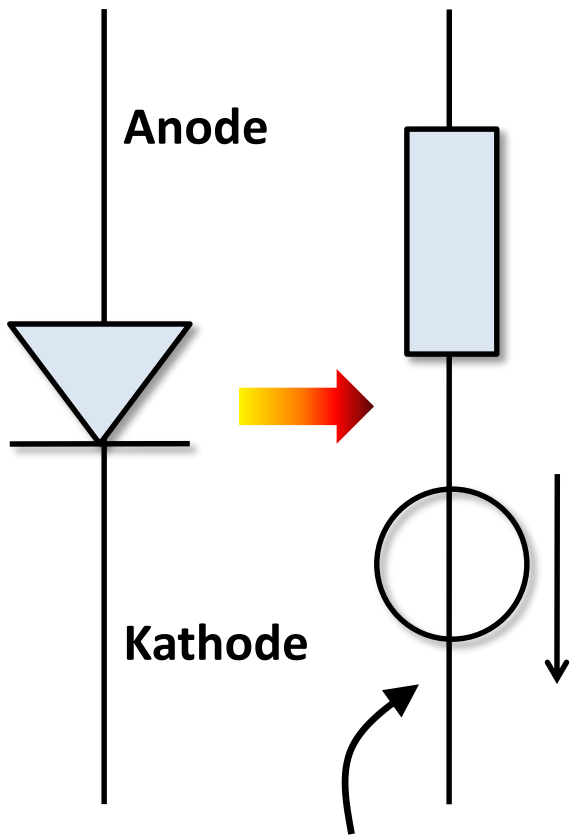
Beim Anlegen einer Spannung in **Sperrrichtung** fließen die Ladungsträger von der Raumladungszone weg. Die Raumladungszone verbreitert sich. Es fließt nur noch ein kleiner **Sperrstrom**, der von der thermischen Generation von Ladungsträgerpaaren im Bereich der Raumladungszone herrührt.

Die **Diodenkennlinie** zeigt, dass der Durchlassstrom **exponentiell** zur Diodenspannung zunimmt. Zur einfacheren Berechnung wird oft eine idealisierte, lineare Kennlinie verwendet (nächste Folie).

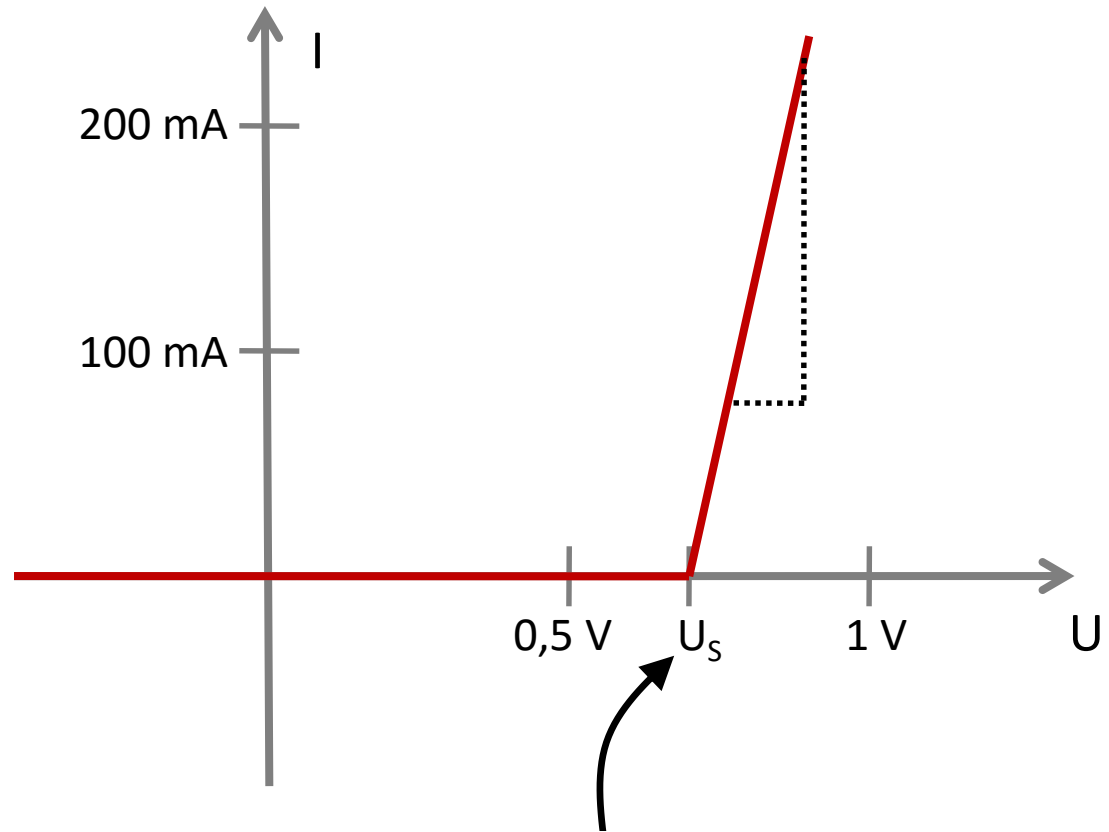


$$I = I_S \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) \quad \text{mit} \quad U_T \approx 26 \text{ mV}$$

Diodenkennlinie (b)

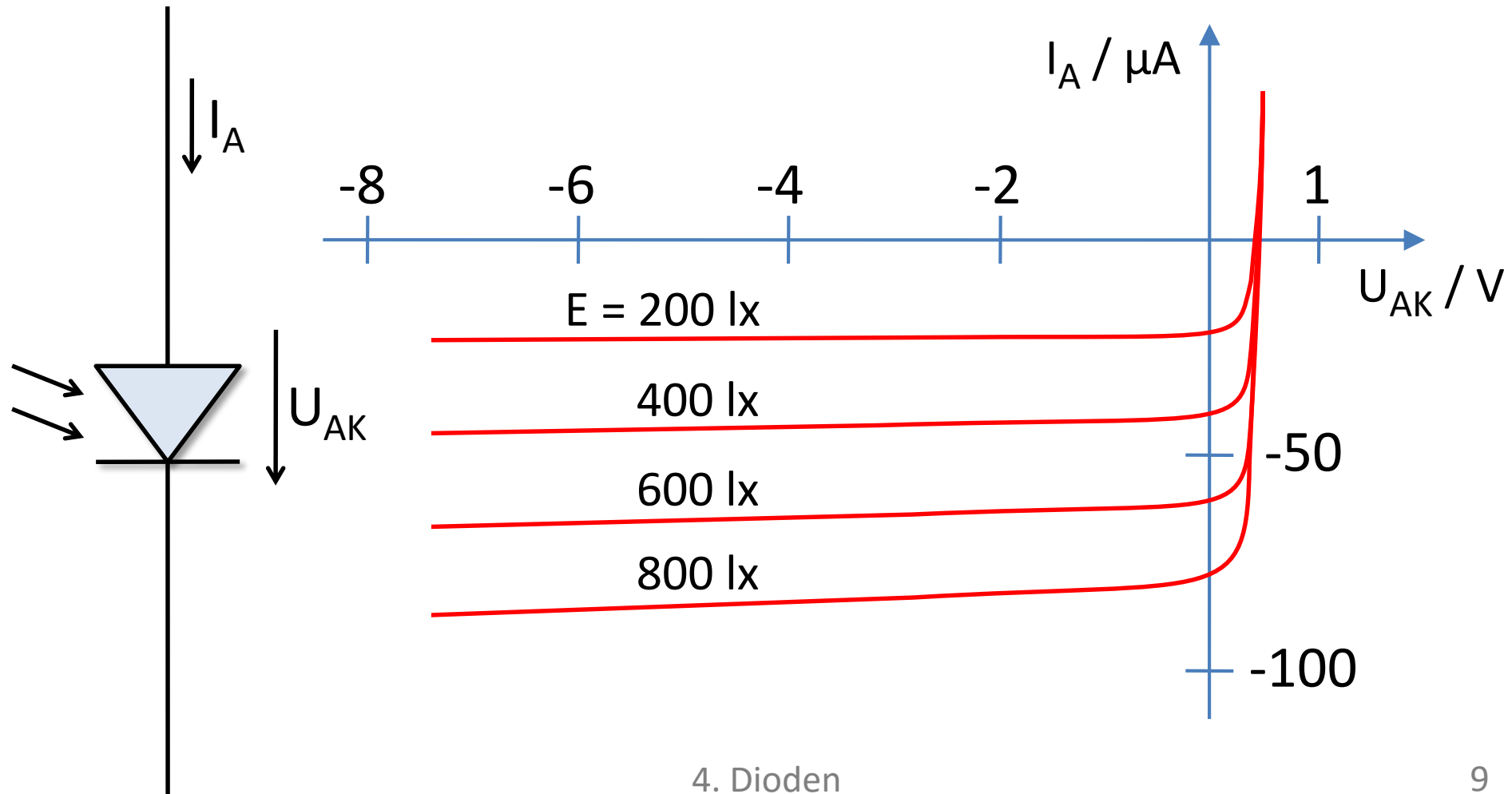


**Lineares Ersatzschaltbild
in Durchlassrichtung**



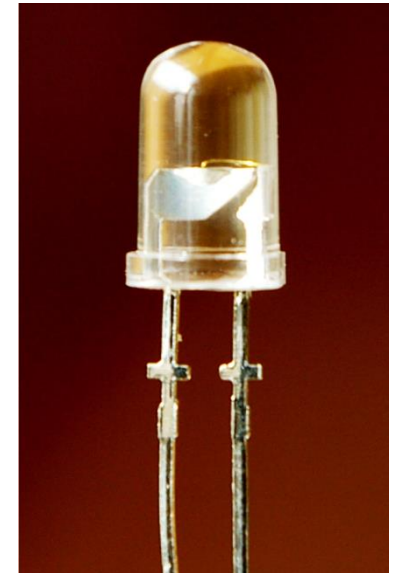
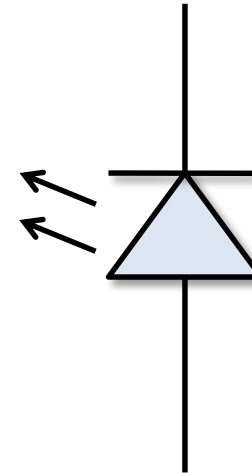
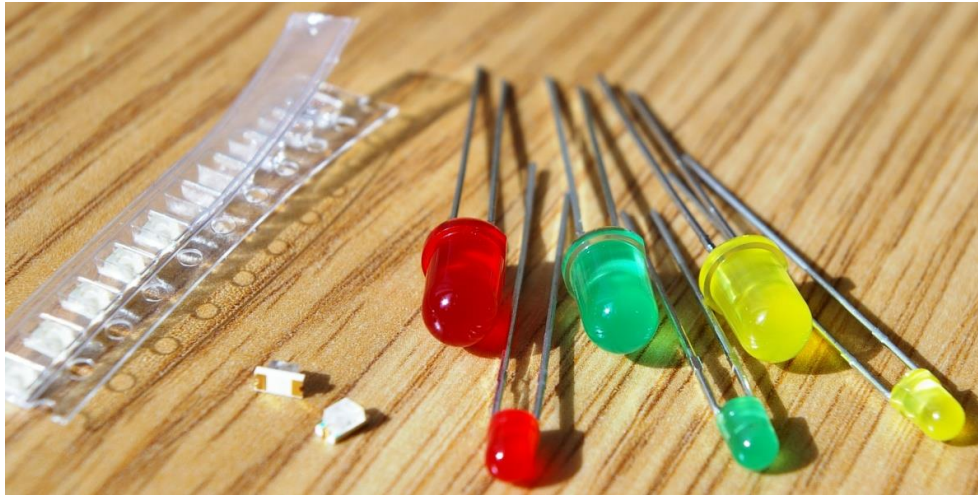
Schwellen-, Schleusenspannung:

Bei **Fotodioden** ist es möglich, die Sperrschicht mit Licht zu bestrahlen. Der Kennlinienverlauf ändert sich mit der Beleuchtungsstärke.



Leuchtdiode, LED (Light Emitting Diode)

Eine Diode in Durchlassrichtung nimmt die Leistung $P = U_D \cdot I_D$ auf (U_D = Diodenspannung, I_D = Durchlassstrom). Bei **Leuchtdioden** wird ein Teil davon als Licht abgestrahlt.



Vergleich von Leuchtdioden und „konventionellen“ Leuchtmitteln:*

„Klassische“ Glühlampe	10 ... 14 Lumen / Watt
Halogenlampe	15 ... 20 Lumen / Watt
Leuchtstoffröhre	70 ... 90 Lumen / Watt
LED-Leuchtmittel (inkl. Elektronik u. Optik)	40 ... 100 Lumen / Watt

*Quelle: Wikipedia/Leuchtdiode, 09/2014

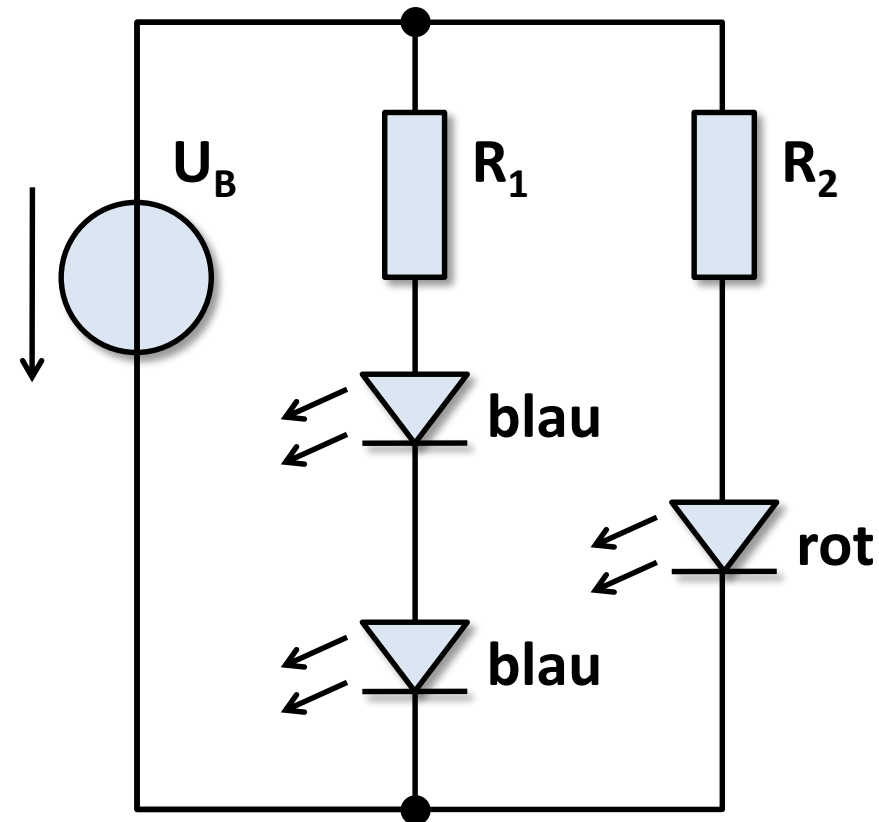
Übungsaufgabe 4.1

An einer Batterie ($U_B = 9 \text{ V}$) sollen zwei blaue und eine rote LED betrieben werden. Die Dioden haben folgende Daten:

Rote LED: $U_S = 1,5 \text{ V}$ und $r_f = 10 \Omega$

Blaue LED: $U_S = 2,7 \text{ V}$ und $r_f = 35 \Omega$

- Welchen Wert muss der Widerstand R_2 besitzen, damit durch die rote Leuchtdiode ein Strom von 20 mA fließt?
- Welchen Wert muss der Widerstand R_1 besitzen, damit durch die blauen Leuchtdioden ein Strom von 20 mA fließt?
- Wie groß sind die Diodenströme, falls die Batteriespannung (bei unveränderten Widerständen R_1 und R_2) auf $U_B = 7 \text{ V}$ sinkt?



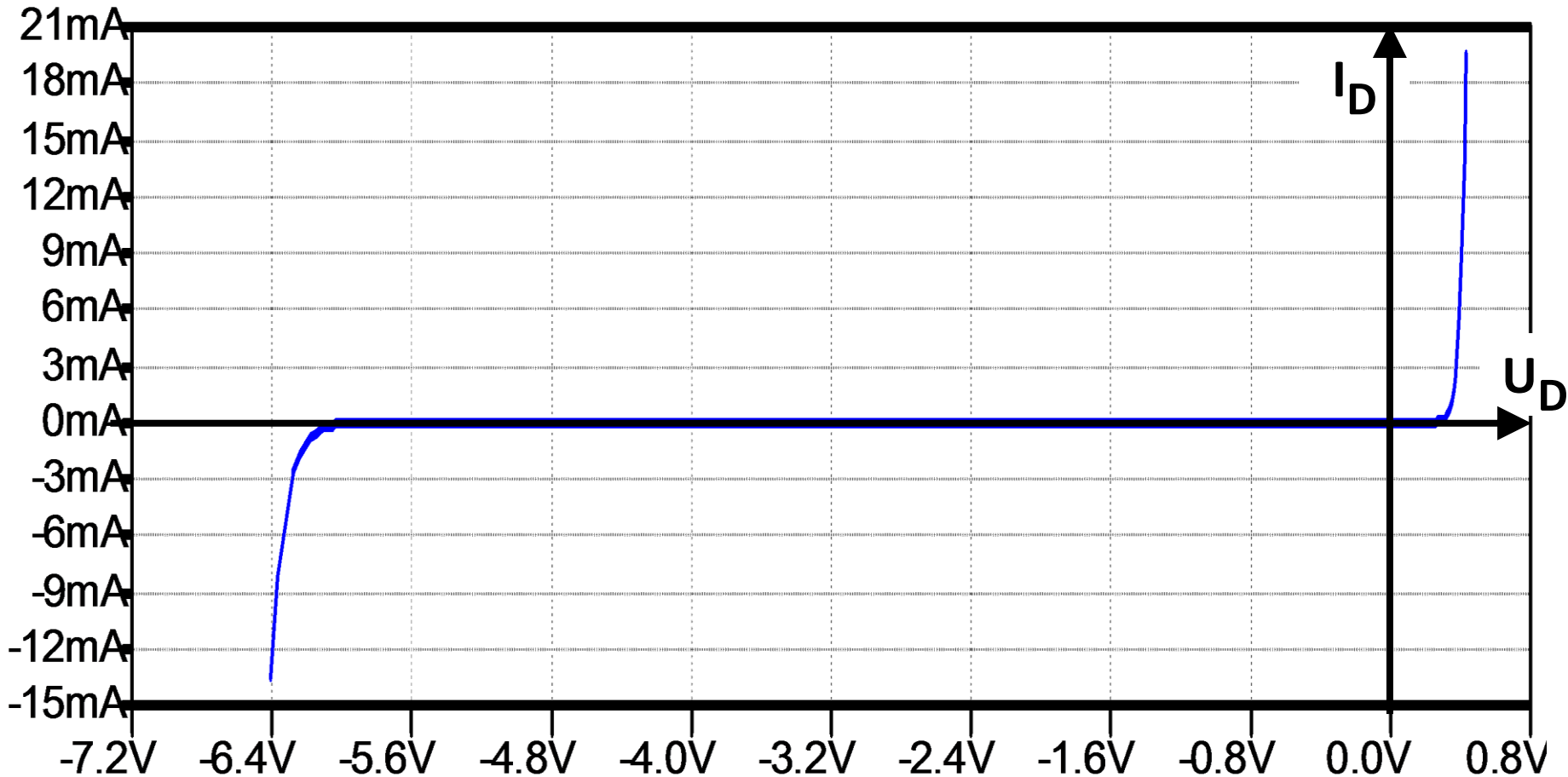
4.2. Die Zenerdiode

Zenerdioden (Z-Dioden) sind Dioden, die speziell für den Betrieb im Durchbruchbereich entwickelt wurden:

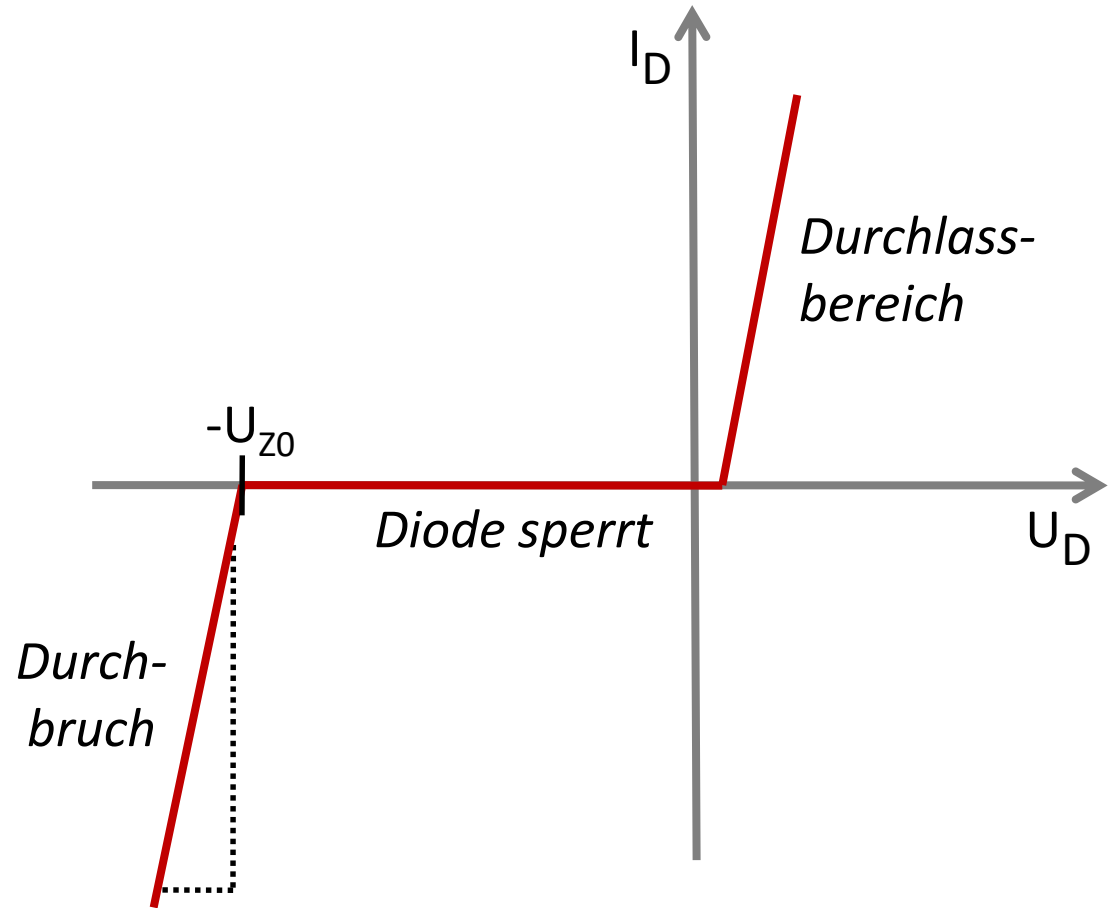
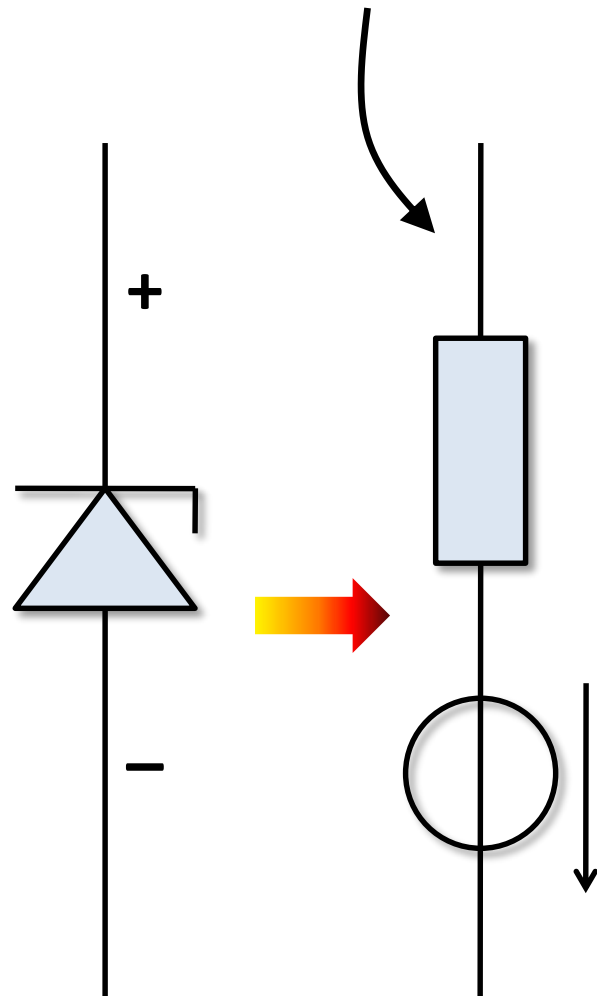
- In Durchlassrichtung verhält sich eine Zenerdiode wie eine herkömmliche Halbleiterdiode.
- In Sperrrichtung beginnt ab einer genau definierten Sperrspannung („**Zenerspannung**“) der Durchbruchbereich.
- Im Gegensatz zu herkömmlichen Halbleiterdioden wird die Zenerdiode durch den Betrieb im Durchbruchbereich nicht beschädigt, solange der Strom den zulässigen Maximalwert nicht überschreitet.
- Zenerdioden werden in der Praxis zur **Spannungsstabilisierung** sowie zum **Schutz vor Überspannung** eingesetzt.

Kennlinie der Zenerdiode BZX84C6V2L

Zenerspannung: 6,2 Volt; max. Verlustleistung: 225 mW



Lineares Ersatzschaltbild im Durchbruchbereich



**Idealisierte, linearisierte
Kennlinie einer Zenerdiode**

(WS 2002/03 – FA, Aufgabe 3)

Eine Zenerdiode wird an einer Wechselspannung mit dem Effektivwert $U_e = 10\text{ V}$ betrieben. Die Werte der Z-Diode sind:

Sperrrichtung: $U_{z0} = 5,1\text{ V}$ und $r_z = 2\ \Omega$

Durchlassrichtung: $U_f = 0,7\text{ V}$ und $r_f = 2\ \Omega$

Der Vorwiderstand beträgt $R_V = 10\ \Omega$

- Bei welcher positiven Spannung u_a^+ und bei welcher negativen Spannung u_a^- beginnt die Z-Diode gerade zu leiten bzw. zu sperren?
- Welche max. Ausgangsspannung $u_{a\max}$ und welche min. Ausgangsspannung $u_{a\min}$ treten bei den Scheitelwerten der Wechselspg. auf?
- Welche maximale Verlustleistung (Momentanwert) $P_{v\max}$ tritt an der Zenerdiode auf?

