

10.1.2 Die reale Solarzelle

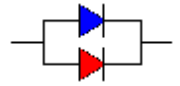
Ersatzschaltbild

Wir schauen uns jetzt eine Solarzelle mit den Augen eines **ET&IT**-Ingenieurs an:

- Was er sieht, ist erstmal nur eine Diode:

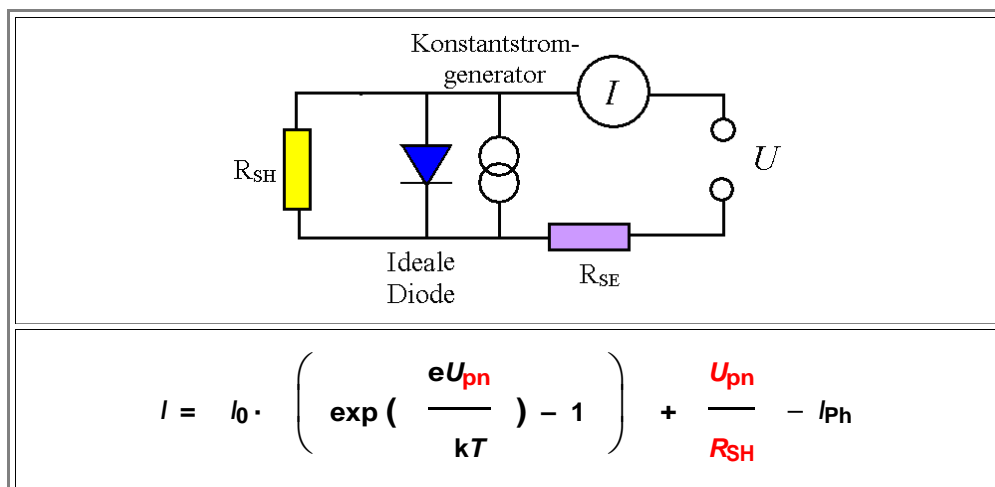
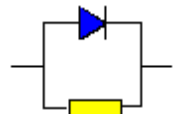


- Eine Diode reicht *uns*, aber in der harten Solarik hat man immer ein "Zwei-Dioden-Modell", d. h. zwei parallel geschaltete Dioden. Die erste hat ideale Eigenschaften ("gute Diode"), in der zweiten werden alle Abweichungen vom idealen Verhalten gebündelt ("schlechte Diode"); also sowas wie die derzeit (2009; Finanzkrise) heiß diskutierte "Good Bank" - "Bad Bank" Modelle. Wir belassen es aber hier bei einer "guten" Diode.



Jetzt kommt die reale Welt:

- Da unsere **pn**-Übergänge $> 200 \text{ cm}^2$ sind, ist es nie auszuschließen, daß irgendwo ein kleiner lokaler Kurzschluss sitzt, weil z. B. bei der Herstellung ein winziges Metallteilchen draufgefallen ist. Das berücksichtigen wir, indem wir einen "**Shunt**"-Widerstand parallel zur Diode schalten, der all den Strom berücksichtigt, der schon intern über mehr oder weniger heftige Kurzschlüsse abfließt.
- Jetzt müssen wir uns nur noch darüber klar werden, dass im System "Solarzelle" auch noch ein unvermeidbarer **Serienwiderstand** sitzt – minimal der nackte Widerstand des Siliziums und der Leitungen.
- Wenn wir jetzt auch noch das Licht einschalten, wird der (intern konstante) Photostrom generiert; elektrisch heißt das, wir schalten einen **Konstantstromgenerator** parallel zu der Diode. Wir erhalten unser finales **Ersatzschaltbild** einer Solarzelle, gleich mit der dazu passenden *elektrotechnischen* Kennlinie:



Wie kommt man von der Diodengleichung auf diese Kennlinie? Dem **ET&IT**-Ingenieur ist das klar, den anderen wird's erklärt:

- Wir nehmen jetzt Ströme I statt Stromdichten j . I_0 ist dann der Feldstrom (Sperrstrom) der realen Solarzelle; leicht zu berechnen, wenn man die Fläche kennt.
- Die "**junction voltage**", d. h. die Spannung U_{pn} direkt am **pn**-Übergang, ist nicht mehr identisch mit der **Klemmenspannung** U , sondern um den Spannungsabfall im $U_{SE} = I \cdot R_{SE}$ im *Serienwiderstand* R_{SE} kleiner. Wir haben die einfache Beziehung:

$$U_{pn} = U - I \cdot R_{SE}$$

- Wir addieren den im Shunt-Widerstand R_{SH} verlorenen Strom (die Vorzeichen bekommt wohl jeder und jeder jetzt hin; immer dran denken: wir haben negativen Photostrom; der Shuntstrom ist entgegengesetzt), der offenbar gegeben ist durch $I_{SH} = U_{pn} / R_{SH}$.

Alles klar – bloß kann man dummerweise die obige Gleichung nicht mehr analytisch lösen, d.h. die Strom-Spannungs-Kennlinie mit Serien- und Shuntwiderständen R_{SE} und R_{SH} mit Bleistift und Papier ausrechnen.

- Macht aber nichts – man kann's leicht numerisch machen, und man kann sogar ganz ohne Rechnen so allerhand durch scharfes Nachdenken erschließen – in einer Übung!

Übungsaufgabe 10.1-3

Kennlinien / Probleme realer Solarzellen

Es ist sehr zu empfehlen, diese Übung zu machen, zumindest aber die [Lösung](#) genau anzuschauen.

Man lernt dabei, daß insbesondere Serienwiderstände im Fokus der praktischen Solartechnik stehen.

Da wir gerade bei Solar*technik* sind: Was sind denn so die Herausforderungen beim *Machen* von Solarzellen? In äußerster Kürze, nur um mal Denkanstöße zu geben, die folgenden Punkte:

- Mache *viele* Solarzellen – sonst bleibt der Beitrag zur großtechnische Energieerzeugung vernachlässigbar. Für eine halbwegs ordentliche Fabrik heißt das: Mache 1 Standard-Solarzelle (ca. 16 cm x 16 cm) *pro Sekunde!!!* Für uns Ingenieure heißt das: Jeder einzelne Bearbeitungsschritt darf gerade mal eine Sekunde dauern!!! (Es sei denn, daß *N* Wafer gleichzeitig bearbeitet werden, dann darf der Schritt *N* Sekunden dauern.)
- Mache viele und *gute* Solarzellen, d.h. mit hohem Wirkungsgrad. Für uns Ingenieure heißt das: Denn Sie *wissen*, was Sie tun!
- Mache viele, gute und *billige* Solarzellen. Für uns Ingenieure heißt das... (wird nicht verraten, die Konkurrenz ist groß).

Fragebogen

Schnelle Fragen zu 10.1.2