

Einfacher als in [1] und [2] beschrieben erscheint für den Rauchttest die Verwendung eines Doppelnetzgerätes mit einstellbarer Strombegrenzung. Die beiden 600mA-Sicherungen werden entfernt. An den beiden innenseitigen Sicherungshalterklemmen und Masse wird das Doppelnetzgerät richtig gepolt (!) angeschlossen. Mit dem Hochdrehen der + und - Spannung ist sofort zu erkennen, ob die Stromwerte im Rahmen bleiben. Im Mustergerät: +15V/60mA, -15V/40mA. Danach kann die Versorgung mit eingesetzten Sicherungen aus dem Netzteil bezogen werden.

Alle Abgleicharbeiten spielen sich auf der Bildschirmseite im Register "HW Test" ab. Voraussetzungen: Das Gerät ist über USB mit dem PC/Notebook verbunden und die Software hat seinen COM-Port erkannt, hier COM6. Sofern die beiden LEDs D2 und D3 angeschlossen sind, zeigt ihr periodisches Blinken, dass Datenverkehr auf der USB-Schnittstelle stattfindet.

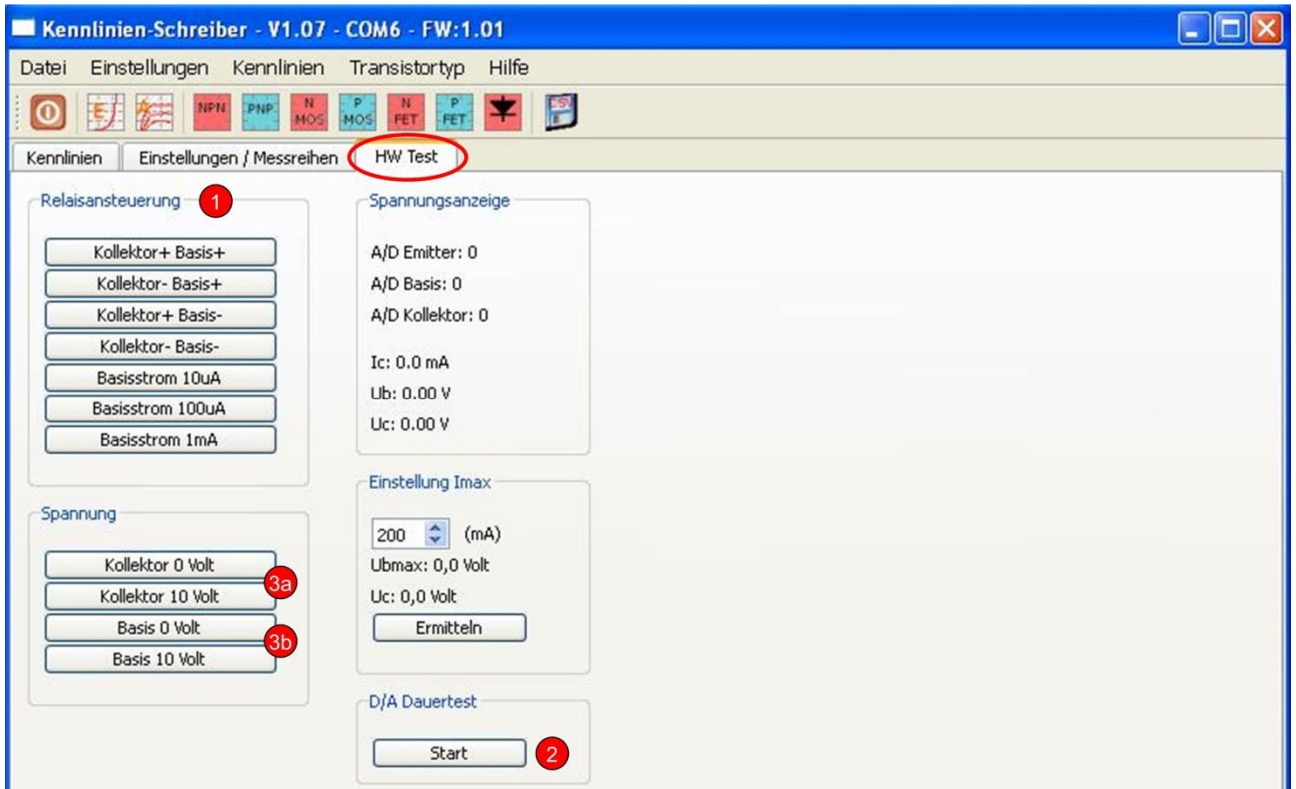


Abb. 1: Bildschirmseite "HW-Test".

1 Relais-Klappertest

Im Block "Relaisansteuerung" links oben, Ziffer (1), werden durch Anklicken der Buttons die Relais angesprochen. Zuerst die Basisstromrelais Rel2 und Rel3:

- Klick auf "Basisstrom 100uA": Relais Rel2 zieht hörbar an.
- Klick auf "Basisstrom 1mA": Relais Rel3 zieht hörbar an.
- Klick auf "Basisstrom 10uA": Relais Rel2 und Rel3 fallen beide ab.

Nun die Relais Rel1 und Rel4 für die Polaritätsumschaltung:

- Klick auf "Kollektor- Basis+": Relais Rel4 zieht an.
- Klick auf "Kollektor+ Basis-": Relais Rel4 fällt ab, Relais Rel1 zieht an.
- Klick auf "Kollektor- Basis-": Relais Rel4 zieht an.
- Klick auf "Kollektor+ Basis+": Beide Relais Rel1 und Rel4 fallen ab.

2 Linearitätskontrolle der DAC

Wenn ein Scope zur Verfügung steht, ist die Kontrolle der DAC-Spannungsrampen für die Basis-/Gate- bzw. Kollektor/Drain-Ansteuerung einfach zu bewerkstelligen. Wenn nicht, gilt die Unschuldsvermutung.

Der Dauertest wird mit Klick auf "Start", Abb. 1, Ziffer (2) begonnen.

Zur Überprüfung des **DAC1** (Kollektor/Drain-Ansteuerung) wird das Scope am Ausgang des Endverstärkers (Abb. 1.5, Out UCD) angeschlossen. Damit wird der gesamte Verstärkerzweig erfasst. Der Trigger-Mode wird auf "Normal" eingestellt, Zeitablenkung ca. 200 bis 500msec.

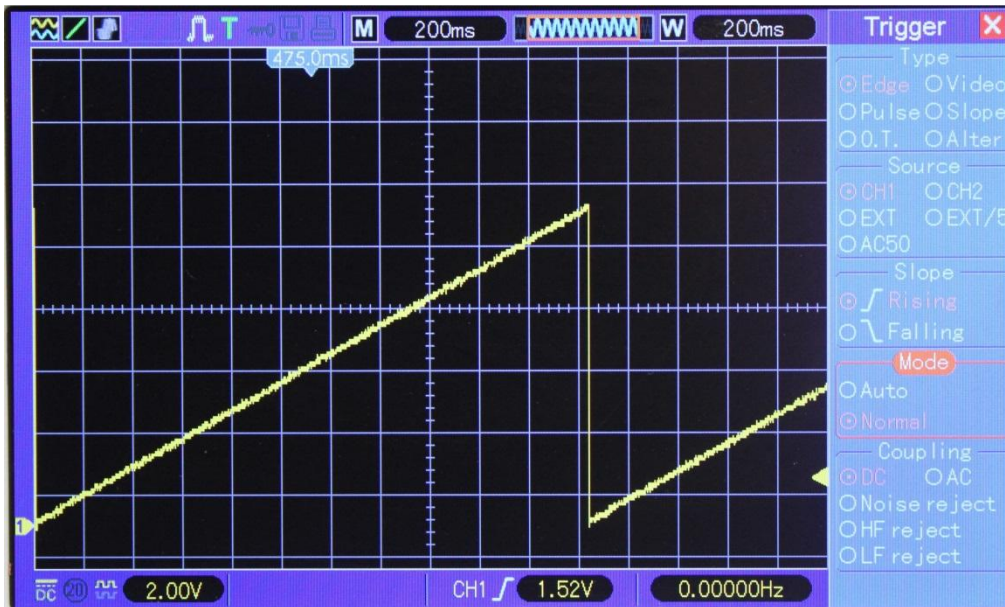


Abb. 2: Linearität des DAC1 (Kollektor/Drain-Ansteuerung).

Zur Überprüfung des **DAC2** (Basis/Gate-Ansteuerung) wird das Scope an der Buchse "Base/Gate" an der Frontplatte (Abb. 1.5, 1.6, Out BG) angeschlossen.

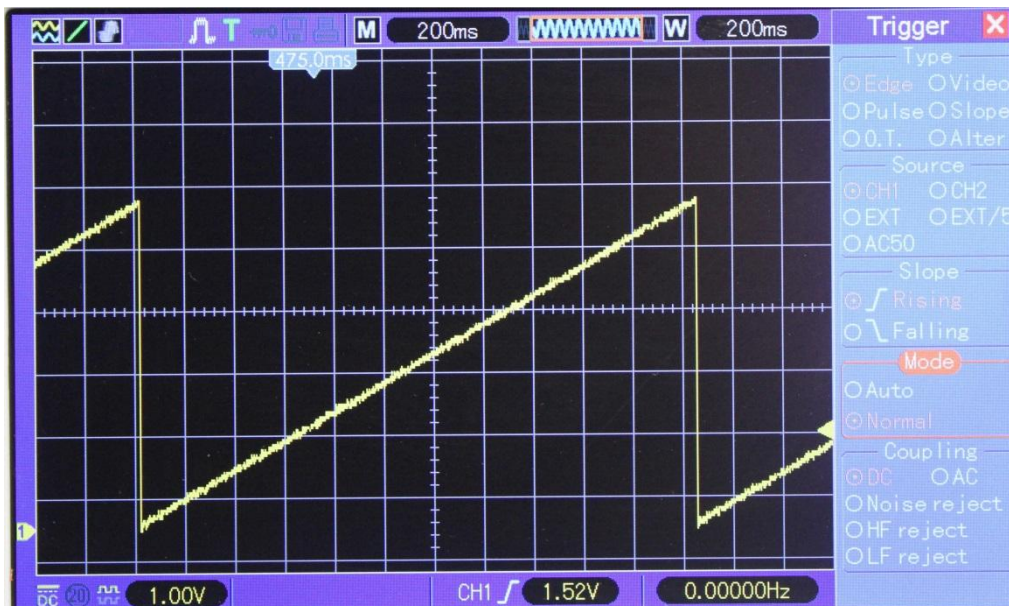


Abb. 3: Linearität des DAC2 (Basis/Gate-Ansteuerung).

Mit dem Dauertest gerät der USB-Controller ins Schleudern. Bevor wir weitermachen, muss die PC-Software beendet und wieder neu gestartet werden, um eine neue Initialisierung herzustellen.

3 Kontrolle der ADC

Bei jeweils 10V Basis/Gate- bzw. Kollektor/Drain-Spannung müssen die zugehörigen ADCs auf einen digitalen Wert bis maximal 1023 wandeln.

- 3a Klick auf "Kollektor 10V" (Abb. 4, Ziffer 3a)
Nach einer kurzen Weile wird der ADC-Wert angezeigt (Abb. 4, links)
- 3b Klick auf "Basis 10V" (Abb. 4, Ziffer 3b)
Nach einer kurzen Weile wird der ADC-Wert angezeigt (Abb. 4, rechts)

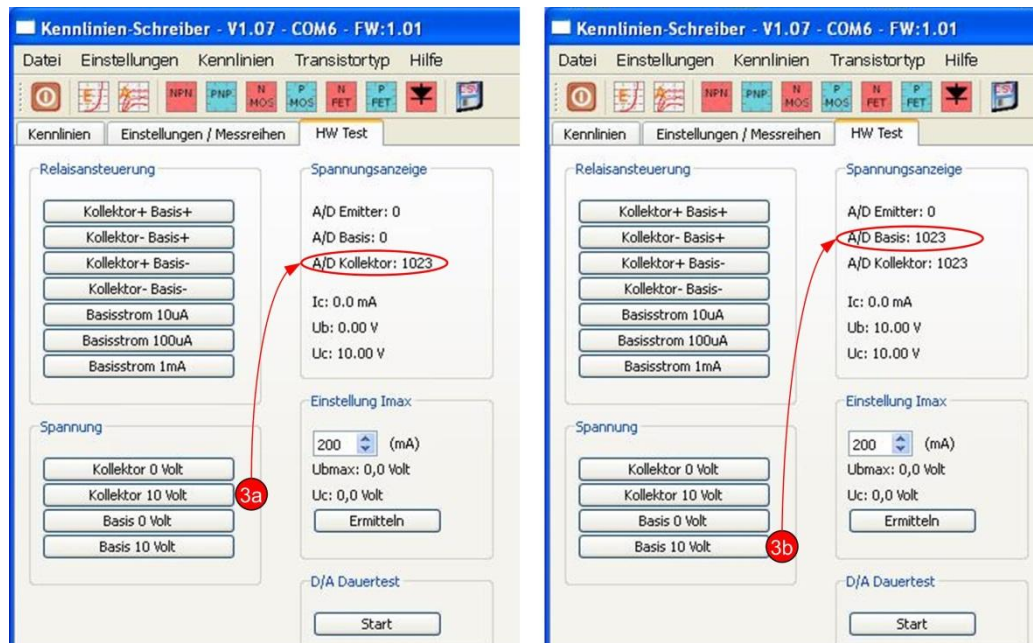


Abb. 4: ADC-Wandlung, Kollektor/Drain links, Basis/Gate rechts.

Anschließend "Kollektor 0 Volt" und "Basis 0 Volt" klicken. Die vormaligen Werte sollten auf "0" oder auch "1" zurückgehen.

Das gleiche Spiel mit invertierter Kollektor/Drain-Spannung (Klick auf "Kollektor- Basis+") und invertierter Basis/Gate-Spannung (Klick auf "Kollektor+ Basis-"). Die Ergebnisse sollten identisch sein. Dann funktionieren die Absolutwert-Gleichrichter (IC9 und IC10) richtig.

4 Justierung der Basis/Gate-Spannung

Spannungsmessungen in den Abschnitten 4 und 5 immer gegen Masse. Das DVM sollte einen Eingangswiderstand von $\geq 10 \text{ M}\Omega$ haben, da wir der Einfachheit halber, aber nicht ganz korrekt, am Ausgang Out BG bzw. an der Frontbuchse "Base/Gate" die Spannung messen. Hier liegen je nach Einstellung für den Basisstrom die Widerstände R63, R64 oder R65 mit den zugehörigen Trimmern P5, P6 oder P7 (Abb. 1.5) in Reihe mit dem Innenwiderstand des DVM.

- Positive Basisspannung einstellen, z.B. Klick auf "Kollektor+ Basis+".
"Basis 10 Volt" klicken.
"Basisstrom 1mA" klicken. Das gibt den geringsten Messfehler, ist zudem der Bereich für die Gatespannung 0...+/-10V.
DVM am Ausgang Out BG bzw. Frontbuchse "Base/Gate" anschließen.
Mit Trimmer **P3** auf genau +10V justieren (Verstärkung von IC5a).
- Negative Basisspannung einstellen, z.B. Klick auf "Kollektor- Basis-".
DVM am Ausgang Out BG bzw. Frontbuchse "Base/Gate".
Mit Trimmer **P4** auf genau -10V justieren (Verstärkung von IC5b).

5 Justierung der Kollektor/Drain-Spannung

- Positive Kollektorspannung einstellen, z.B. Klick auf "Kollektor+ Basis+".
"Kollektor 10 Volt" klicken.
DVM am Ausgang Out UCD bzw. Frontbuchse "Collector/Drain" anschließen.
Mit Trimmer **P1** auf genau +10V justieren (Verstärkung von IC3a).
- Negative Kollektorspannung einstellen, z.B. Klick auf "Kollektor- Basis+".
DVM am Ausgang Out UCD bzw. Frontbuchse "Collector/Drain".
Mit Trimmer **P2** auf genau -10V justieren (Verstärkung von IC3b).

6 Justierung der Emitter/Source-Stromanzeige

Die Anzeige des Emitter/Source-Stroms erfolgt über den Spannungsabfall am 1Ω -Widerstand R70. Die Verstärkung des IC6 wird mit P8 eingestellt. Einen Prüfstrom von 100mA erzeugen wir mit folgender Hilfsschaltung:

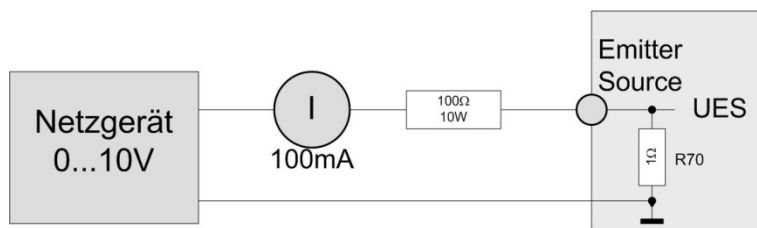


Abb. 5: Hilfsschaltung für den Emitter/Source-Strom.

Am Amperemeter wird mit einer Netzgerätespannung von ca. 10V ein Strom von 100mA eingestellt. Mit dem Trimmer **P8** wird die Anzeige auf dem Bildschirm für I_c auf ca. 100mA justiert. Im Mustergerät zeigten sich Anzeigeschritte von 99,7 oder 100,2mA infolge der begrenzten Auflösung des ADC.

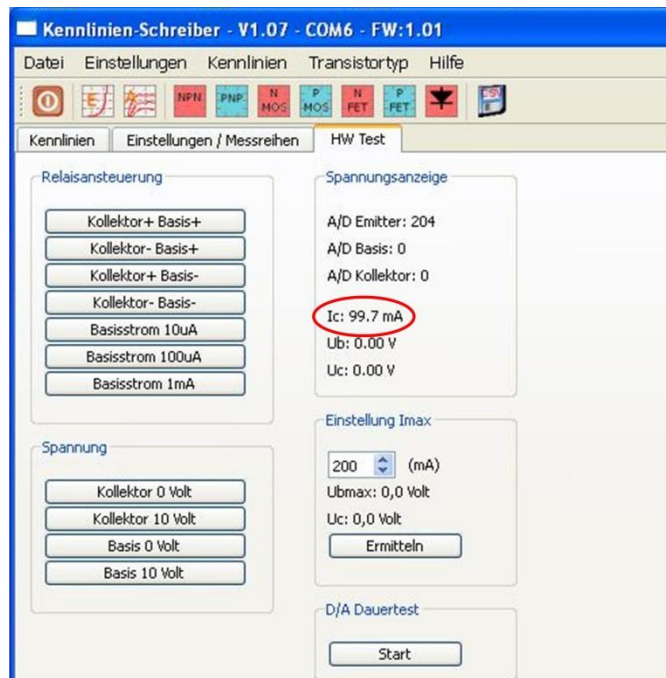


Abb. 6: Justierung der Anzeige für den Emitter/Source-Strom.

" I_c " (Kollektorstrom) ist eigentlich der gemessene Emitterstrom, der sich aus dem Kollektor- und dem Basisstrom zusammensetzt.

7 Justierung der Basisstrombereiche

Hier geht es mit einem empfindlichen Amperemeter, minimal sind $10\mu\text{A}$ zu messen, noch einfacher. Dieses wird an die Frontbuchsen "Base/Gate" und "Emitter/Source" angeschlossen. Der minimale Spannungsabfall an R70 (1Ω) soll uns nicht weiter stören.

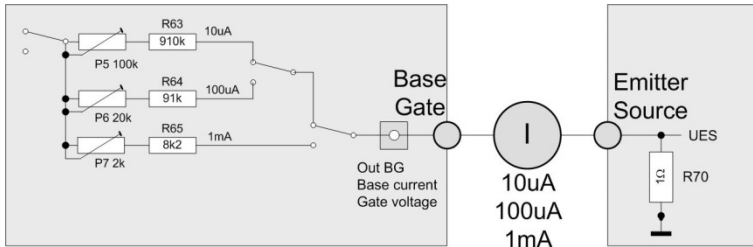


Abb. 7: Messung des Basisstroms.

Einzustellen sind die Basisströme mit den Trimmern **P5**, **P6** und **P7**. Ein Auszug aus Abb. 1.5 ist in Abb. 7 links gezeigt.

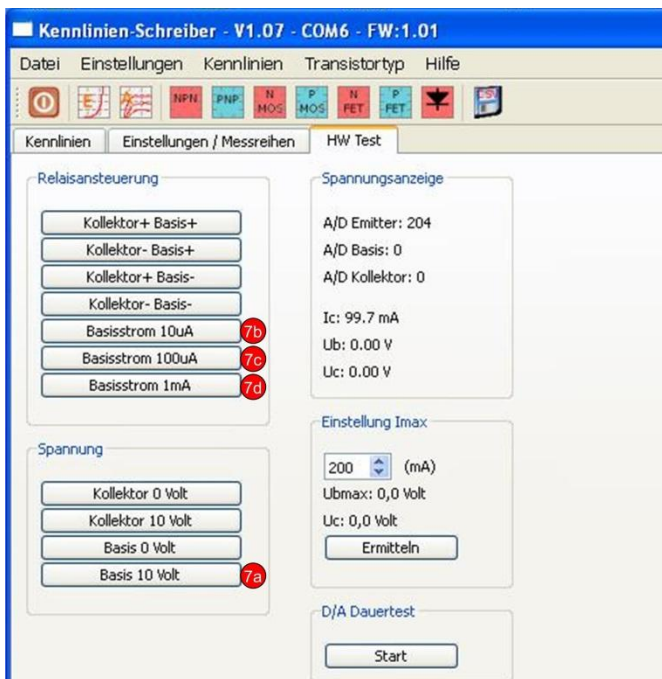


Abb. 8: Reihenfolge der Einstellungen der Basisströme.

- 7a Klick auf "Basis 10 Volt"
- 7b Klick auf "Basisstrom 10uA".
Mit dem Trimmer **P5** die Anzeige des Amperemeters auf $10\mu\text{A}$ einstellen.
- 7c Klick auf "Basisstrom 100uA".
Mit dem Trimmer **P6** die Anzeige des Amperemeters auf $100\mu\text{A}$ einstellen.
- 7d Klick auf "Basisstrom 1mA".
Mit dem Trimmer **P7** die Anzeige des Amperemeters auf 1mA einstellen.

8 Noch die Nagelprobe

Eine Sache wäre noch zu klären: Ist die Linearität wirklich bis hinauf nach 10V und 500mA Vollast mit der Stromversorgung $\pm 15\text{V}$ und den Billig-OpAmps TL081 und TL082 einschließlich Endstufe gewährleistet? Die Autoren von [2] und [3] haben sich ja mit teuren Rail-to-Rail-OpAmps und zunächst mit einer Versorgung $\pm 12\text{V}$ abgemüht.

Der Emitter/Source-Strom wird über den Spannungsabfall an R70 (1Ω) gemessen. Wenn zwischen die Buchsen Collector/Drain und Emitter/Source ein 19Ω-Widerstand gelegt wird, müsste sich aus dem Gesamtwiderstand von 20Ω und 10V Collector/Drain-Spannung ein Strom von 0,5A einstellen. Ein solcher Widerstand wurde einschl. der Zuleitungen auf ziemlich genau 19Ω ausgemessen. Die Widerstandskennlinie mit dem gewählten $I_{cmax} = 500 \text{ mA}$ bestätigt einerseits wieder einmal das Ohmsche Gesetz und endet am oberen Ende tatsächlich dort, wo sie soll.

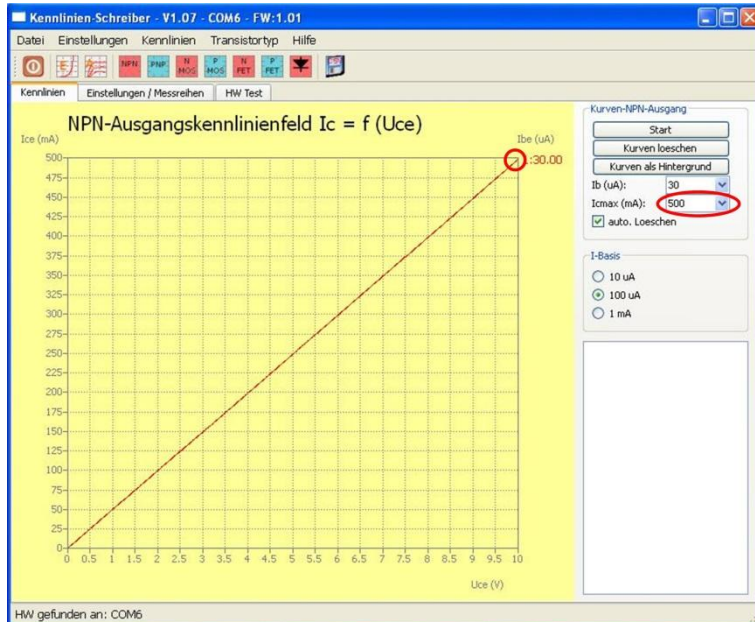


Abb. 9: Kennlinie eines 19Ω-Widerstandes bei $I_{cmax}=500\text{mA}$.

Schöner geht es nicht. Die Gegenprobe für PNP, also Collector/Drain-Spannung -10V, sieht nicht ganz so schön aus. Hier tritt im Mustergerät eine Sättigung ab einem Kollektorstrom von ca. 475mA ein. Soweit die Ansteuerung der Collector/Drain-Spannung UCD am Scope zu beobachten ist, erreicht sie am Eingang des Endverstärkers -10V, am Ausgang jedoch nicht ganz. Womöglich spielt T8, der BD204, nicht ganz mit. Zudem sackt die -15V-Versorgung um ca. 300mV ab.

Mit mehr Ruhe - ohne das Scannen der Kollektorspannung - lassen sich die Spannungen für den o.a. Test mit einem DVM kontrollieren.

- Im Reiter "HW-Test" wird die Polarität mit Klick auf "Kollektor+..." bzw. "Kollektor-..." im Block "Relaisansteuerung" (Abb. 8) gewählt.
- Nun Kollektorspannung mit Klick auf "Kollektor 10V" im Block "Spannung" (Abb. 8) anlegen. Jetzt kann in Ruhe gemessen werden. Der 19Ω-Widerstand muss dabei gut 5W verbraten. Er wird erst wieder mit Klick auf "Kollektor 0V" von der Tortur erlöst.

Ich habe vorerst darauf verzichtet, diesem kleinen Schönheitsfehler auf den Grund zu gehen.

Das war's. Cooles Gerät, Andreas ☺.