



Universaldimmer Hardware

Version 2.4

29.1.2012

by petzi

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Kompatibilität	3
2	Technische Daten	4
3	Schaltungsbeschreibung	5
3.1	Übersicht	5
3.1.1	Beschreibung	5
3.2	Netzteil	5
3.2.1	Beschreibung	5
3.2.2	Messung	5
3.3	Stromsensor	9
3.3.1	Beschreibung	9
3.3.2	Berechnung	10
3.4	Spannungs- / Stromsensor	10
3.5	Überlastmodul	10
3.5.1	Beschreibung	10
3.5.2	Bestimmung der Ansprechgrenze	11
3.5.3	Bestimmung des Abschaltverhaltens	11
3.5.4	Bestimmung des Wiedereinschaltverhaltens	12
3.5.5	Messungen	12
3.6	Ansteuerung der FETs	14
3.7	Ansteuerung der Optokoppler	14
3.8	Schnittstelle zum Controller	14
3.9	Messungen	14
3.9.1	Konv. Halogentrafo	15
3.9.2	Lastmessung (Temperatur mit 2W)	16
3.9.3	Temperaturmessung	32
3.9.4	Messung Netzteil	36
3.10	Sonstiges	49
3.10.1	Leiterbahndicken	49
3.10.2	Bestückungsdruck	49

1 Einleitung

Diese Version ist bisher noch ein Prototyp und **NICHT** freigegeben!!!

Diese Beschreibung ist noch lange nicht vollständig und kann noch Fehler enthalten.

1.1 Kompatibilität

Achtung, ab Hardwareversion V1.4 werden die FETs invertiert angesteuert!

Folgende Kombinationen sind möglich:

Hardware	Software	Bemerkung
bis V1.3	bis V1.5.5	nur Testversionen im SVN, nicht veröffentlicht
ab V1.4	ab V1.6.0	Veröffentlicht aber nicht freigegeben
V2.0	V2.0	aktuelle Version, ohne Trafo
V2.2	V2.2	funktionsfähig, mit Glühlampen getestet

2 Technische Daten

- An- oder Abschnittsdimmer
- automatische Auswahl An- oder Abschnitt (geplant)
- verschiedene Phasen pro Kanal möglich
- pro Kanal max. 300W
- automatischer Überlastschutz bei 340W
- Frequenz 50Hz (60Hz evtl. in einer späteren Version möglich)
- ...

EIB

- Strom: 4.5 mA

230V

- Spannung: 230 V
- Frequenz: 50 Hz
- Strom: 19 mA Eigenverbrauch

3 Schaltungsbeschreibung

3.1 Übersicht

3.1.1 Beschreibung

Der Dimmer besteht aus 2 unabhängigen Kanälen die einzeln gedimmt werden können. Jeder Kanal hat sein eigenes Dimmverfahren, evtl. eine andere Phase, einen eigenen Überlastschutz, ...

Gemeinsam ist der Controller der für beide Kanäle ausgelegt ist.

3.2 Netzteil

3.2.1 Beschreibung

Jeder Kanal hat ein eigenes Netzteil, welches über den Spannungsabfall an Q1, Q2 und R1 versorgt wird. Da diese stark abhängig vom eingestellten Dimmwert ist, schwankt die erzeugte Spannung momentan zwischen 7V und 13,7 V.

TODO

Mit dieser Spannung werden die Operationsverstärker versorgt.

Der Verbrauch liegt momentan bei ca. x mA pro Kanal. Das Netzteil ist so ausgelegt, dass bis maximal TODO mA geliefert werden.

3.2.2 Messung

siehe Kapitel 3.9.3 Temperaturmessung

Gegenüber der vorigen Messung wurden nun die beiden Widerstände R23 und R123 für mehr Leistung ausgelegt.

- R23 hat 7W
- R123 hat 5W

S19: grün Temperatur von R123 5W

S2: rot Temperatur von R23 7W

S20: blau Temperatur von Q2 auf Kontaktseite gemessen

S4: schwarz Temperatur von Q1 auf Rückseite gemessen

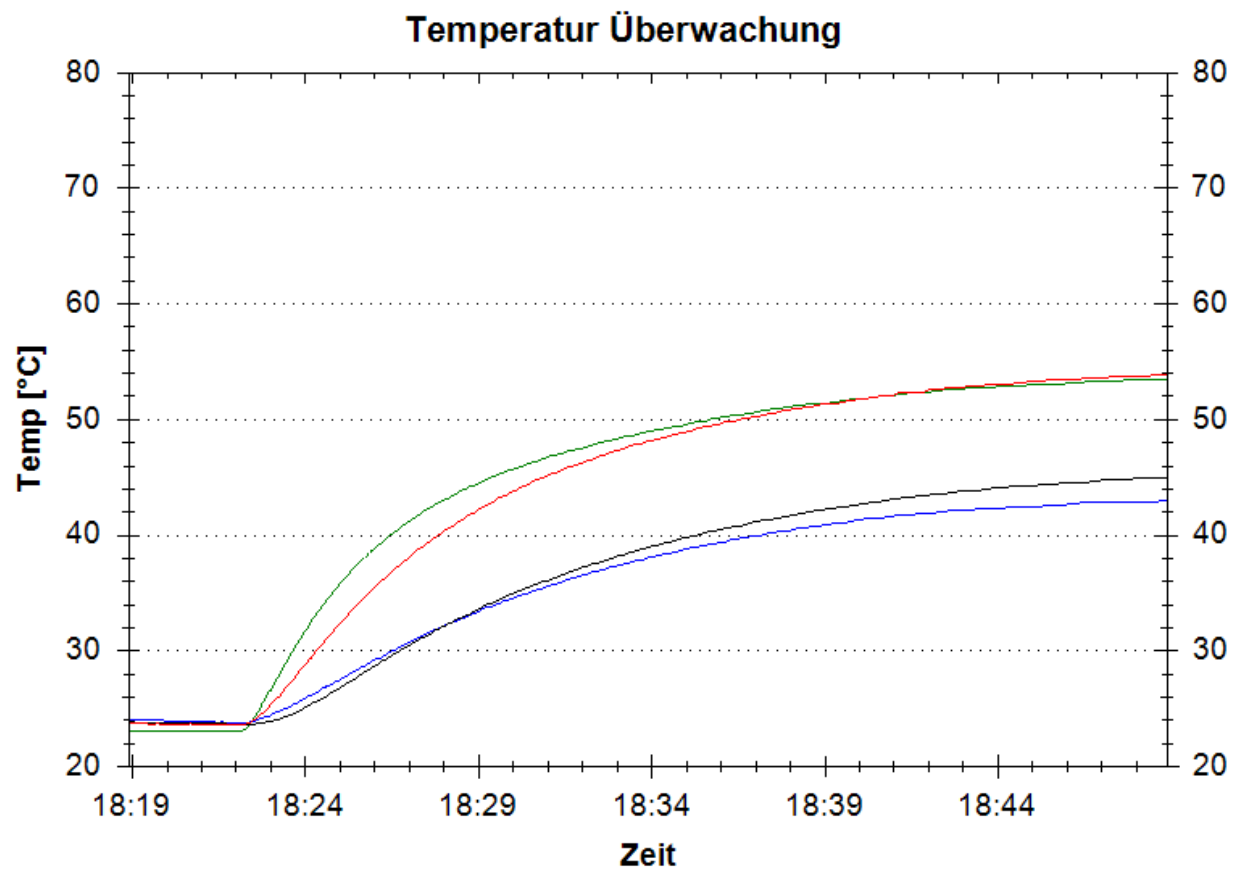
An jedem Kanal ist eine klassische Glühlampe mit 100W angeschlossen.

27.1.2012:

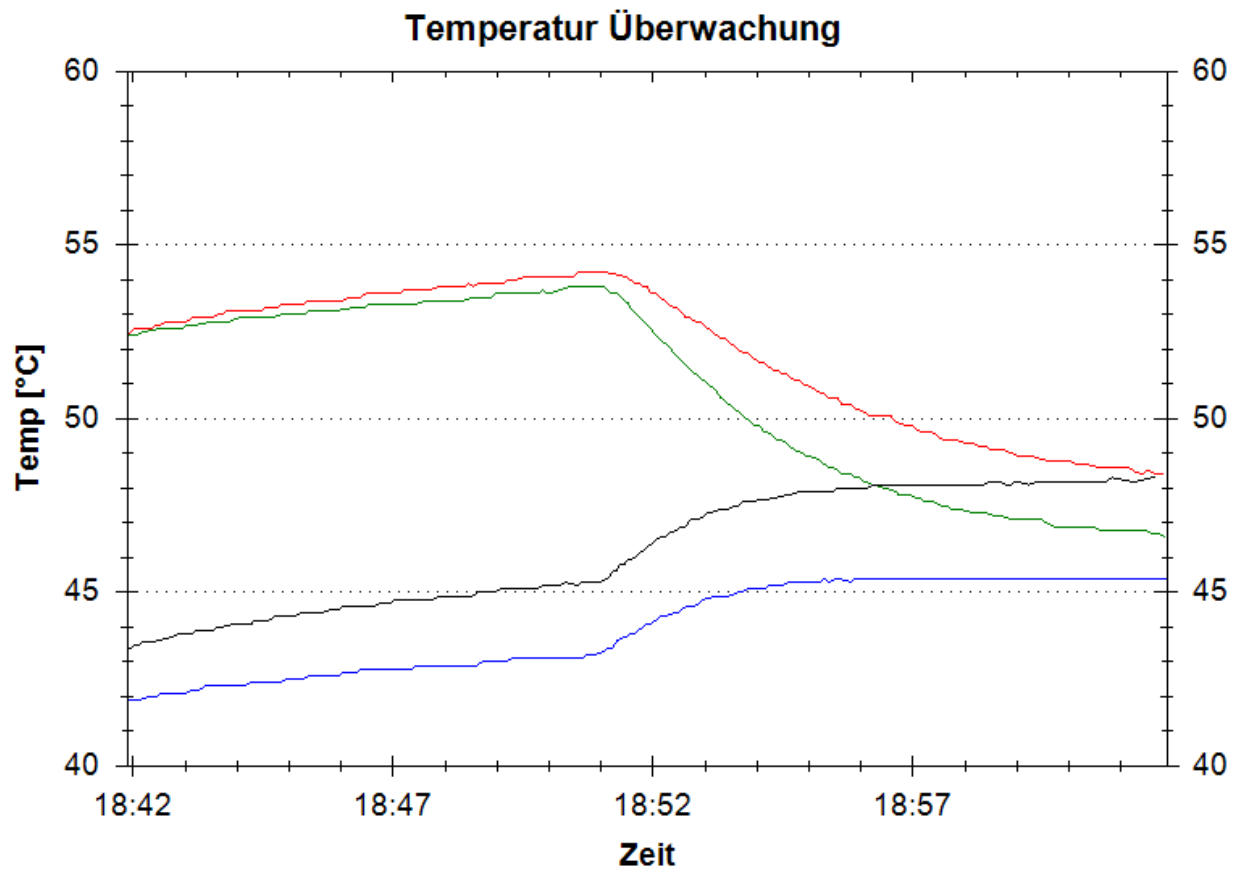
18:02:24 Start der Messung

18:22:00 Spannung eingeschaltet, beide Dimmer aus

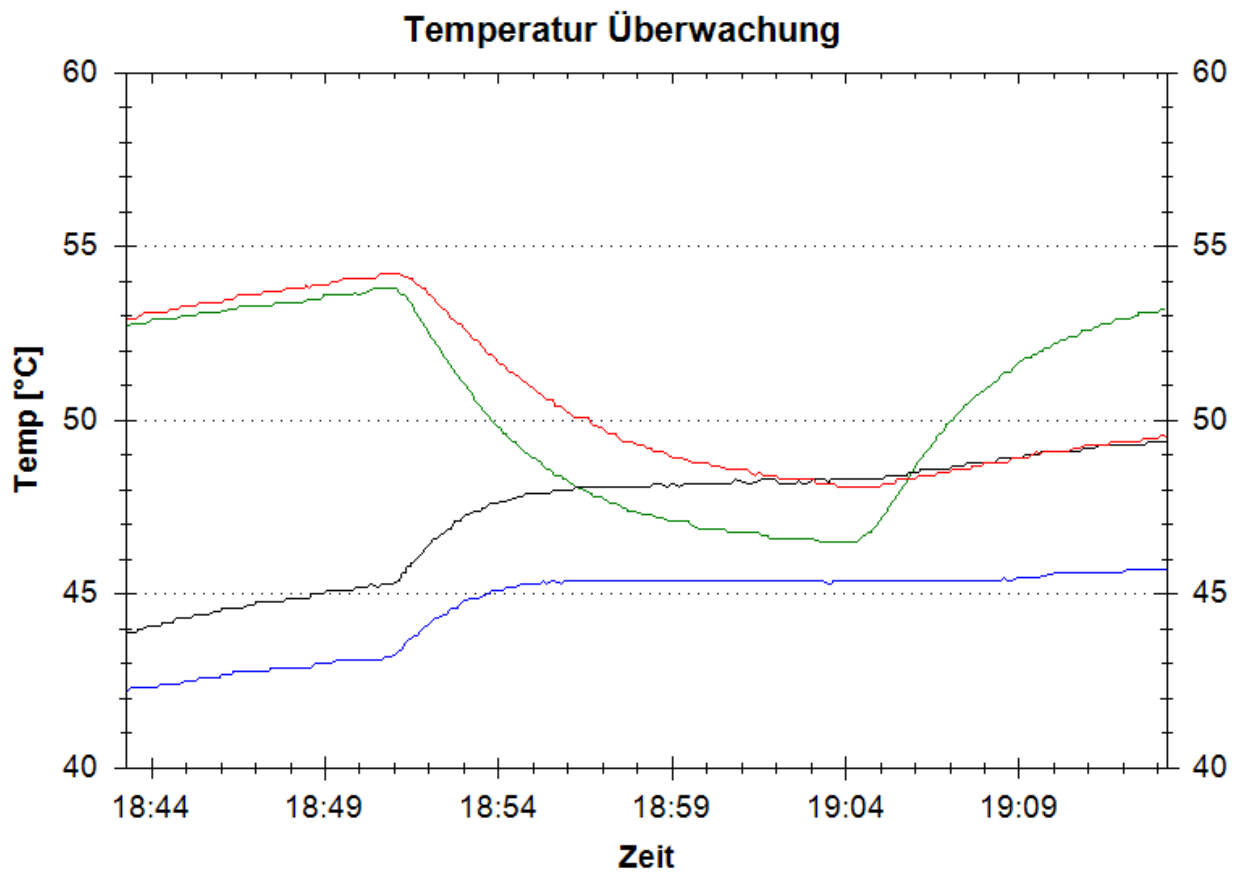
18:49:00 Die Widerstände werden nicht wärmer als 55°C, also viel besser als vorher



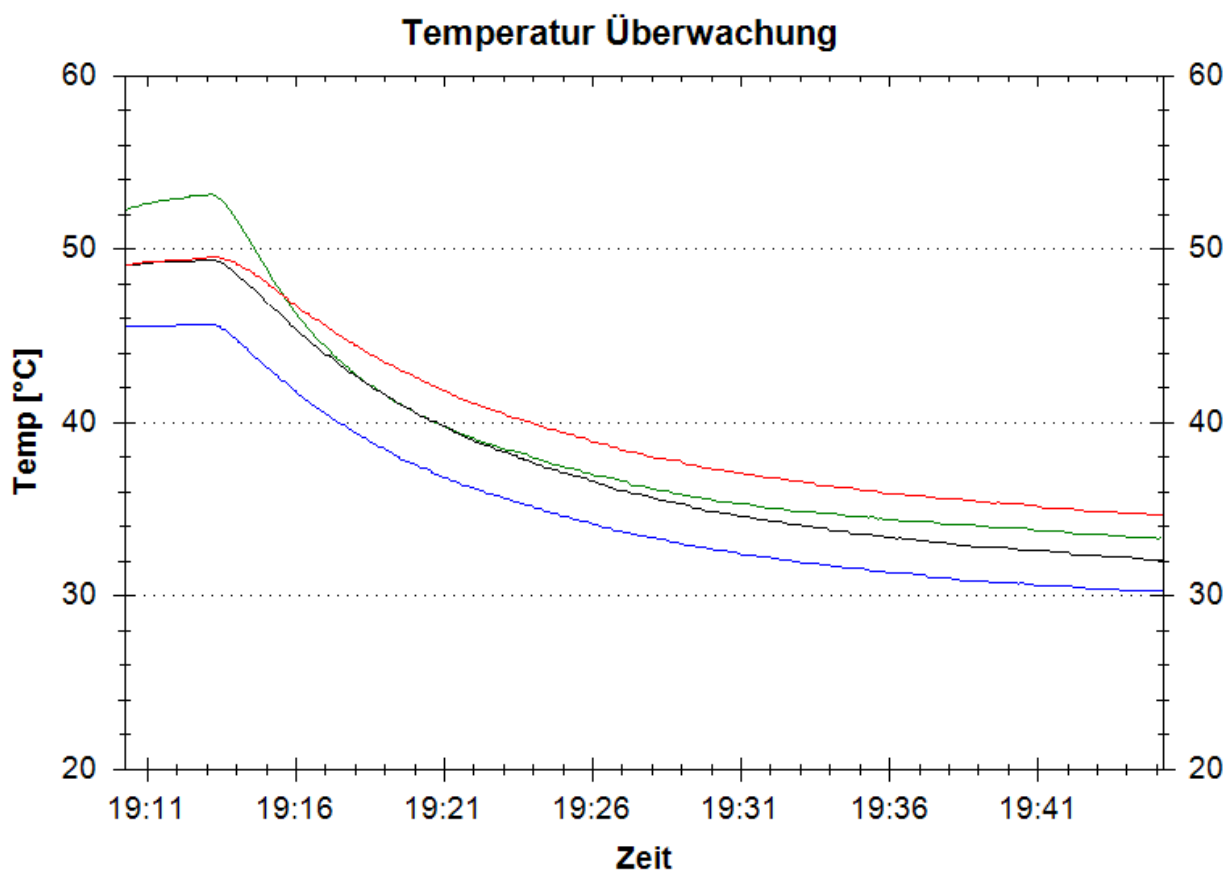
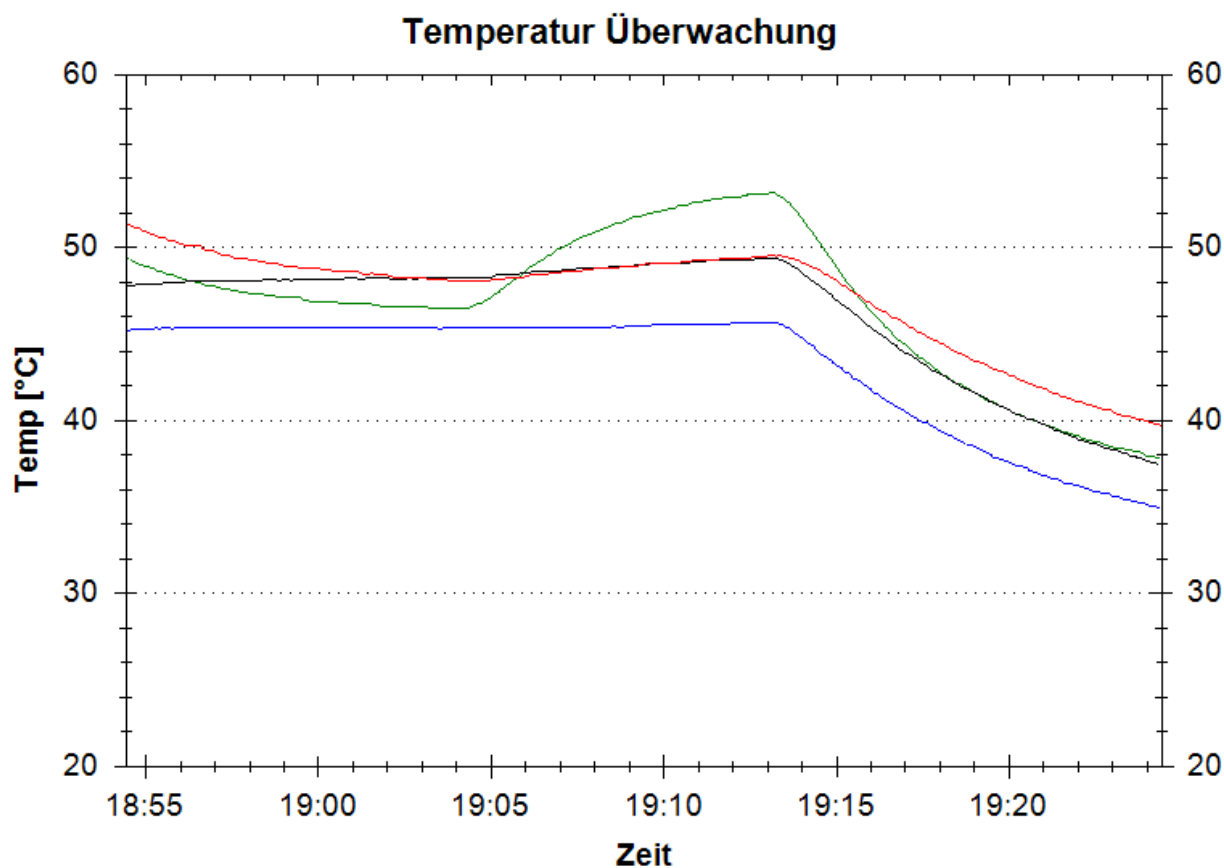
18:50 beide Kanäle auf Dimmwert 128, Phasenanschnitt
19:01 Temperatur geht auf unter 50°C



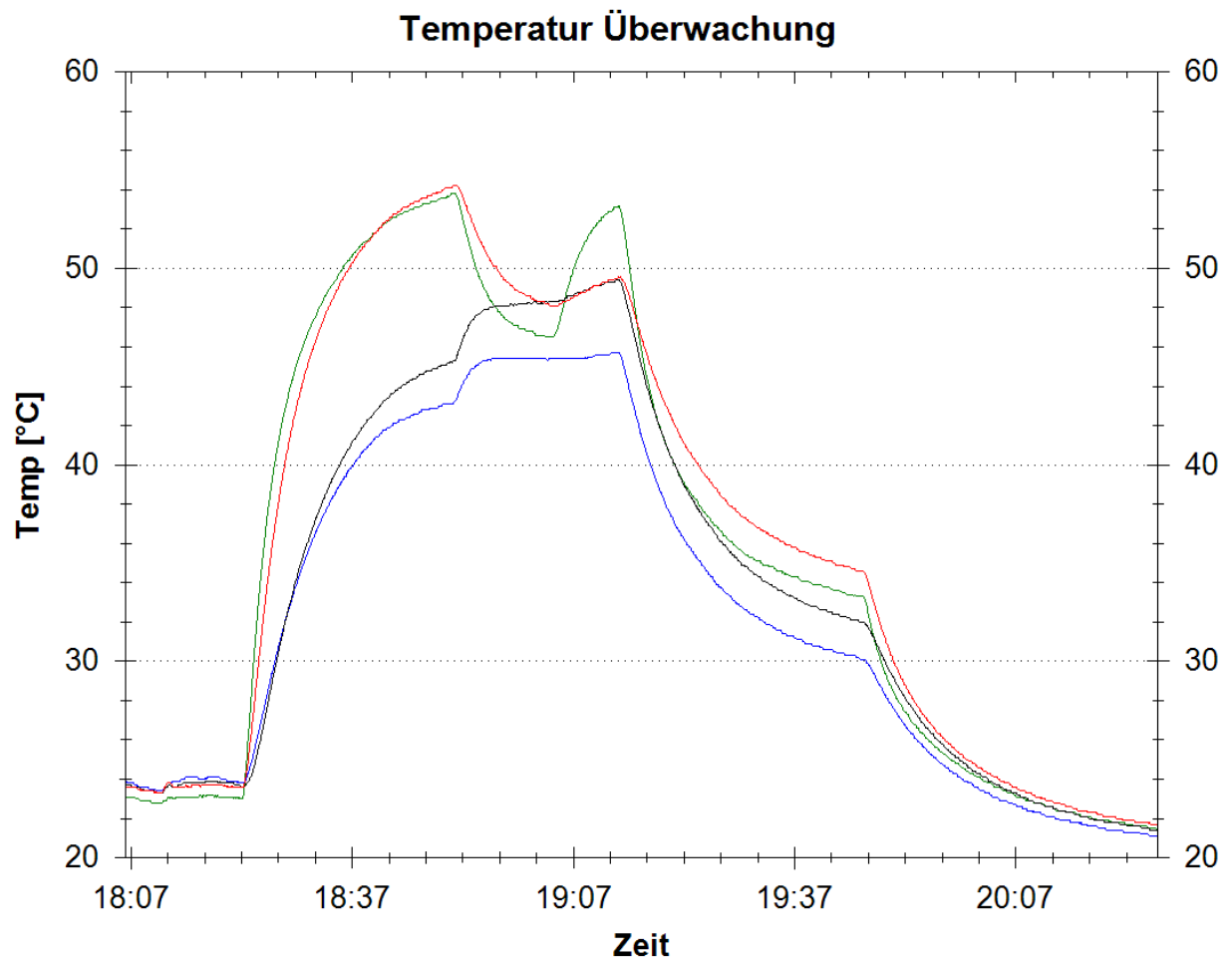
19:04 Kanal 2 ausschalten



19:13 beide Kanäle 255



19:45 Dimmer auf 0 und Spannung aus



Zusammenfassung:

		Dimmwert	0	128	255
S19:	grün	Temperatur von R123 5W	54	47	33
S2:	rot	Temperatur von R23 7W	54	48	35
S20:	blau	Temperatur von Q2	45	45	30
S4:	schwarz	Temperatur von Q1	45	48	32

Messung Netzteil

3.3 Stromsensor

Dieser Sensor wird zukünftig nicht mehr benötigt, da der andere Sensor Strom und Spannungsnulldurchgänge detektieren kann.

3.3.1 Beschreibung

Am zwischen den beiden FETs befindlichen Shunt R1 liegt eine zum Laststrom proportionale Spannung an. Diese wird über R11 auf die Eingänge eines Operationsverstärkers gegeben. Dieser arbeitet mit der vollen Verstärkung.

Dieses Signal wird über einen Optokoppler galvanisch entkoppelt und auf einen Eingang des Controllers geführt.

Kanal1: Pin10 Controllerstecker P0.3

Kanal2: Pin8 Controllerstecker P0.1

Über dieses Signal kann der Controller die Nulldurchgänge des Stromes feststellen.

3.3.2 Berechnung

Die an R1 abfallende Spannung ist

$$U_1 = \frac{P \cdot R_1}{230V}$$

3.4 Spannungs- / Stromsensor

Die an den FETs und R1 abfallende Spannung wird über die Spannungsteiler (R2/D3 und R4/D2) verringert und anschließend auf die Eingänge eines Operationsverstärkers gegeben. Dieser arbeitet mit voller Verstärkung, so dass bei positiver Halbwelle der Spannung am Ausgang +12V anliegen und bei negativer Halbwelle 0V.

Dieses Signal wird über einen Optokoppler galvanisch entkoppelt und auf einen Eingang des Controllers geführt.

Kanal1: Pin13 Controllerstecker P0.4

Kanal2: Pin9 Controllerstecker P0.2

Über dieses Signal kann der Controller die Nulldurchgänge feststellen.

Und zwar

- Bei durchgeschalteten FETs die Stromnulldurchgänge, d.h. beim Phasenanschnittsverfahren wird automatisch im Stromnulldurchgang angeschaltet.
- Bei gesperrten FETs die Spannungsnulldurchgänge, d.h. beim Phasenabschnittsverfahren wird im Spannungsnulldurchgang eingeschaltet.

3.5 Überlastmodul

3.5.1 Beschreibung

Am zwischen den beiden FETs befindlichen Shunt R1 liegt eine zum Laststrom proportionale Spannung an. Diese wird über R14 auf den nichtinvertierenden Eingang eines Operationsverstärkers gegeben. Am invertierenden Eingang wird eine Spannung von 210mV (durch R16 und R17 erzeugt) angelegt. Damit liegen am Ausgang des Operationsverstärkers immer dann +12V an, wenn die Spannung am Shunt über 210mV ist. Dies ist bei einem Laststrom von ca. 1.5A der Fall. (Entspricht ca. 350W).

Diese Spannung ist nur während des Maximalwerts der positiven Halbwelle vorhanden. Sie lädt über R21 und D1 den Kondensator C2, der im Überlastfall also auf 12V aufgeladen wird. Sobald der Kondensator eine Spannung von über 8V aufweist wird der Ausgang des nachgeschalteten Operationsverstärkers auf 0V gelegt.

R21 ist so dimensioniert, dass Einschaltstromspitzen nicht zu einem Abschalten des Dimmers führen, d.h. der Kondensator benötigt eine gewisse Zeit bis er auf 7V geladen ist.

Damit dieser auch wieder entladen wird ist R13 parallel geschaltet. R13 ist so dimensioniert, dass nach ca. 4s die Spannung des Kondensators auf unter 2V

gefallen ist. Dann wird der Ausgang des nachgeschalteten Operationsverstärkers auf 12V gelegt.

R20 sorgt für die Hysterese von 5V.

Beachtet wurde hier auch, dass die Spannung bei Überlast höher ist, da das Netzteil bei abgeschalteter Last besser arbeitet.

Der Ausgang des 2. Operationsverstärkers hat 2 Aufgaben:

1. über einen Optokoppler wird der Überlastfall an den Controller gemeldet
2. die Spannung dient der Ansteuerung der FETs, d.h. bei einer Spannung von 0V können die FETs nicht durchgeschaltet werden und der Dimmer ist automatisch abgeschaltet.

Bei erkannter Überlast wird der Dimmerkanal für ca. 4s abgeschaltet. Anschließend wird wieder mit der zuletzt eingestellten Helligkeit eingeschaltet. Ist die Überlast immer noch vorhanden, so wird sofort wieder abgeschaltet.

Da der Überlastfall auch an den Controller gemeldet wird, sollte die Software bei länger anhaltender Überlast den Dimmer abschalten und in größeren Zeitintervallen einschalten. Die bisherige Softwareversion schaltet nach 1s Überlast den entsprechenden Kanal aus.

3.5.2 Bestimmung der Ansprechgrenze

Die Leistungsgrenze ab welcher das Überlastmodul anspricht wird durch R16 festgelegt.

Berechnung:

$$P_{\max} = \frac{230\text{V} \cdot 12\text{V}}{\sqrt{2} \cdot R_1 \cdot \left(\frac{R_{17}}{R_{16}} + 1 \right)}$$

Mit $R_1 = 0,1\Omega$, $R_{17} = 220\text{k}\Omega$, $R_{16} = 3,9\text{k}\Omega$ ergibt sich

$$P_{\max} = \frac{230\text{V} \cdot 12\text{V}}{\sqrt{2} \cdot R_1 \cdot \left(\frac{R_{17}}{R_{16}} + 1 \right)} = \frac{19516}{\left(\frac{R_{17}}{R_{16}} + 1 \right)} \approx 340\text{W}$$

Näherungsweise gilt:

$$P_{\max} \approx 0,0887\text{A}^2 \cdot R_{16} = 346\text{W}$$

3.5.3 Bestimmung des Abschaltverhaltens

Die Zeit die der Kondensator benötigt um auf 7,1V aufgeladen zu sein ist

$$t_1 = -R_{21} \cdot C_5 \cdot \ln\left(1 - \frac{7,1\text{V}}{11,3\text{V}}\right) = 22\text{ms}$$

Die Länge eines Ladeimpulses bei einer bestimmten Leistung ist

$$t_3 = 10\text{ms} - \frac{2}{\omega} \arcsin\left(\frac{P_{\max}}{P}\right)$$

damit ergibt sich die Dauer bis die Überlast abgeschaltet wird zu

$$\Delta t = \frac{t_1}{t_3} 20\text{ms}$$

P[W]	Δt [ms]
350	354
400	154
500	103
750	77
1000	69
2000	60
∞	54

3.5.4 Bestimmung des Wiedereinschaltverhaltens

Die Dauer bis ein bei Überlast eingeschalteter Dimmer wieder eingeschaltet wird ergibt sich aus der Zeit die der Kondensator benötigt um sich von 7V auf 2V zu entladen:

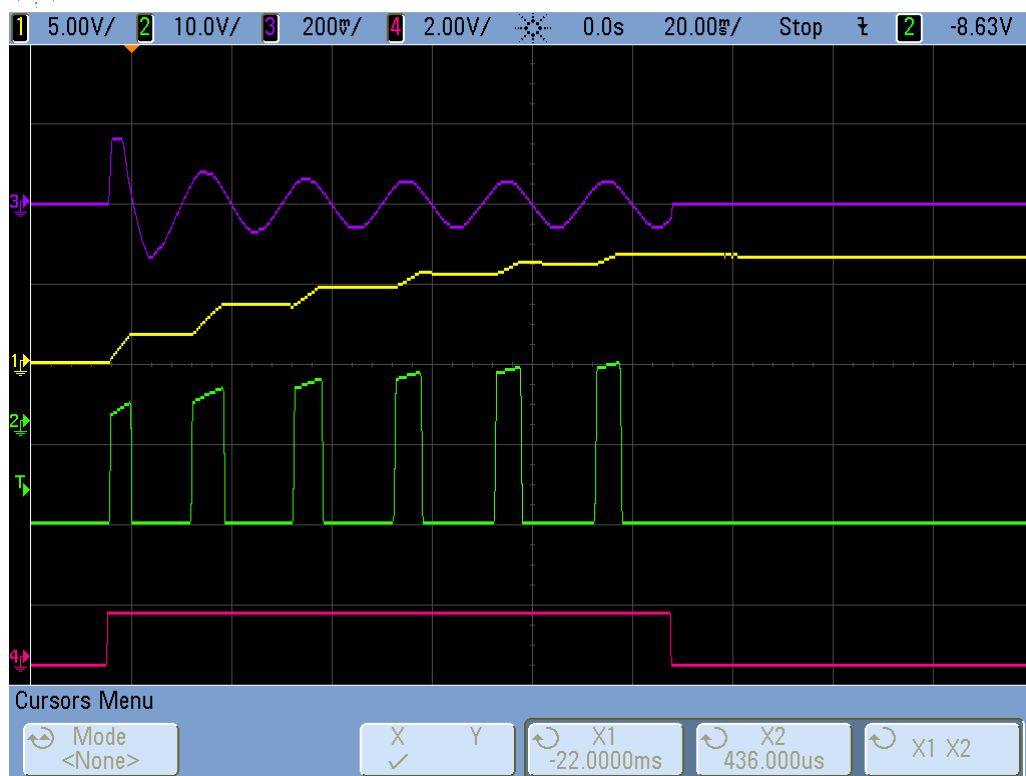
$$t_2 = -R_{13} \cdot C_5 \cdot \ln\left(\frac{2,0\text{V}}{7,0\text{V}}\right) = 5,8\text{s}$$

3.5.5 Messungen

Kanäle:

1 gelb:	U an C5	Kondensatorspannung
2:grün:	U an R21	Ladestrom C5
3:lila:	U an R14 IC3D +Eingang	Laststrom
4:rot:	U an R15	Ausgang des Moduls

Für die Messung wurde 1kOhm parallel zu R16 geschaltet, damit $P_{\max} = 70\text{W}$ wird. 60W Lampe angeschlossen, 25W zuschaltbar, dann 85W = Überlast



M01_C Ausschaltverhalten



M01_A Wiedereinschaltverhalten

3.6 Ansteuerung der FETs

Falls nicht der Überlastfall vorliegt, so kommt vom Operationsverstärker eine Spannung von 12V. Diese dient der Durchschaltung der FETs. Sie kann vom Controller über einen Optokoppler OK1 abgeschaltet werden. Dann wird das Gate der FETs über R9 auf 0 V heruntergezogen.

Über diesen Ausgang kann der Controller die FETs ein- und ausschalten. Diese erfolgt alle 10ms. Die genauen Zeitpunkte werden durch die eingestellte Helligkeit und das Dimmverfahren vorgegeben.

3.7 Ansteuerung der Optokoppler

Damit die Optokoppler ein digitales Signal sicher an den Controller weitergeben können müssen mindestens 0.5 mA durch die Diode fließen.

Bei einer Ansteuerung mit 11V und einer Diodenspannung von ca. 1V ergibt sich damit ein maximaler Vorwiderstand von

$$R_{\max} = 10V / 0.5mA = 20k\Omega$$

Diese Grenze darf nicht überschritten werden, bei Messungen hat sich gezeigt, dass 22k Ω schon zu groß ist.

Die Optokoppler haben eine recht lange Verzögerung, die über die Software korrigiert werden muss. Aller Versuche mit schnelleren Optokopplern haben keinen Erfolg gebracht.

3.8 Schnittstelle zum Controller

PIN	Controller	Beschreibung
01	EIB+	
02	EIB-	GND
03		
04		
05	VCC	3.1V vom Controller
06		
07	P0.0	Steuersignal Kanal2
08	P0.1	Stromsignal Kanal2
09	P0.2	Spannungssignal Kanal2
10	P0.3	Stromsignal Kanal1
11	P1.3	INT0 Stromsignal Kanal1
12		unbenutzt
13	P0.4	Spannungssignal Kanal1
14	P0.5	Überlastsignal Kanal1
15	P0.6	Steuersignal Kanal1
16	P0.7	Überlastsignal Kanal2
17		unbenutzt
18		unbenutzt
19		unbenutzt
20		unbenutzt

3.9 Messungen

3.9.1 Konv. Halogentrafo

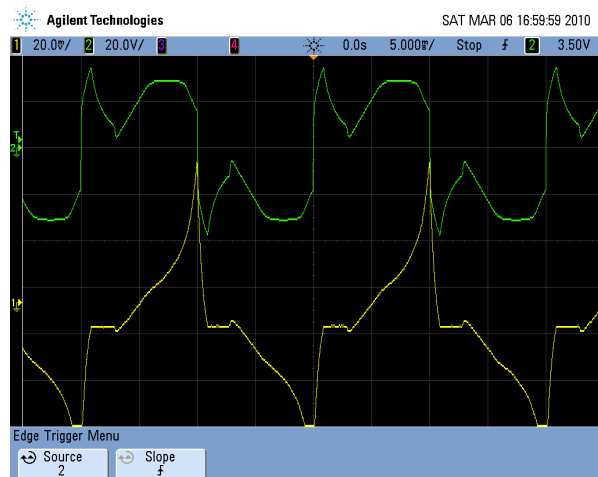
Hier muss das ANschnittsverfahren verwendet werden, anbei ein Vergleich wenn dies nicht gemacht wird:

Kanäle:

- 1 gelb: Strom durch Last 200mA/DIV
- 2 grün: Spannung an der Last 220V/DIV
- 3: lila: I-Signal
- 4 rot: CMP-IRQ

Grundhelligkeit: Stufe1 = 1.17ms

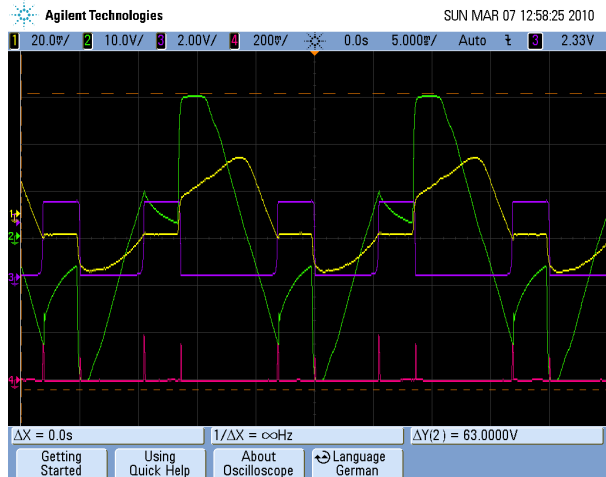
Helligkeit= 178



M11_C ABschnitt

Imax = 800mA

So sollte es nicht sein → deshalb:



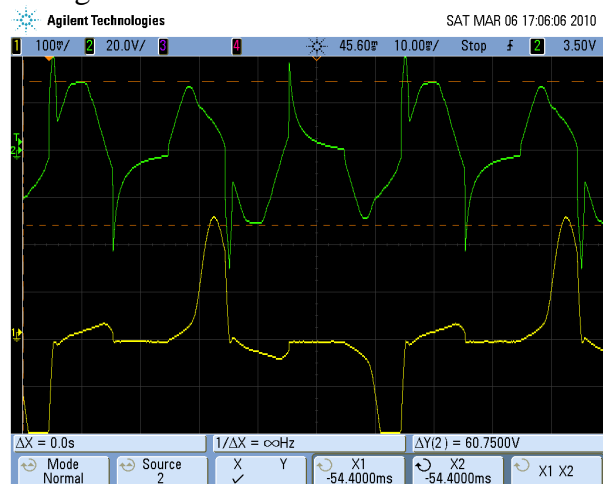
M13_H178

ANschnitt

Imax= 350mA

so ist es ok

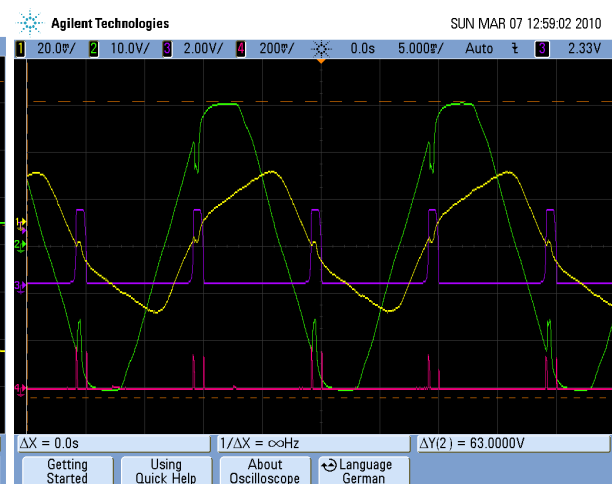
Helligkeit= 178



M11_E ABschnitt

Imax = 2600mA (andere Skalierung!!)

So sollte es nicht sein → deshalb:



M13_H254

ANschnitt

Imax= 350mA

so ist es ok

3.9.2 Lastmessung (Temperatur mit R23 = 2W)

Diese Messung dient der Bestimmung des Verhaltens unter Last. Dazu werden an jedem Kanal eine gewisse Anzahl klassische Glühlampen angeschlossen.

K1: $1 \times 100\text{W} + 2 \times 75\text{W} + 1 \times 60\text{W} = 310\text{W}$

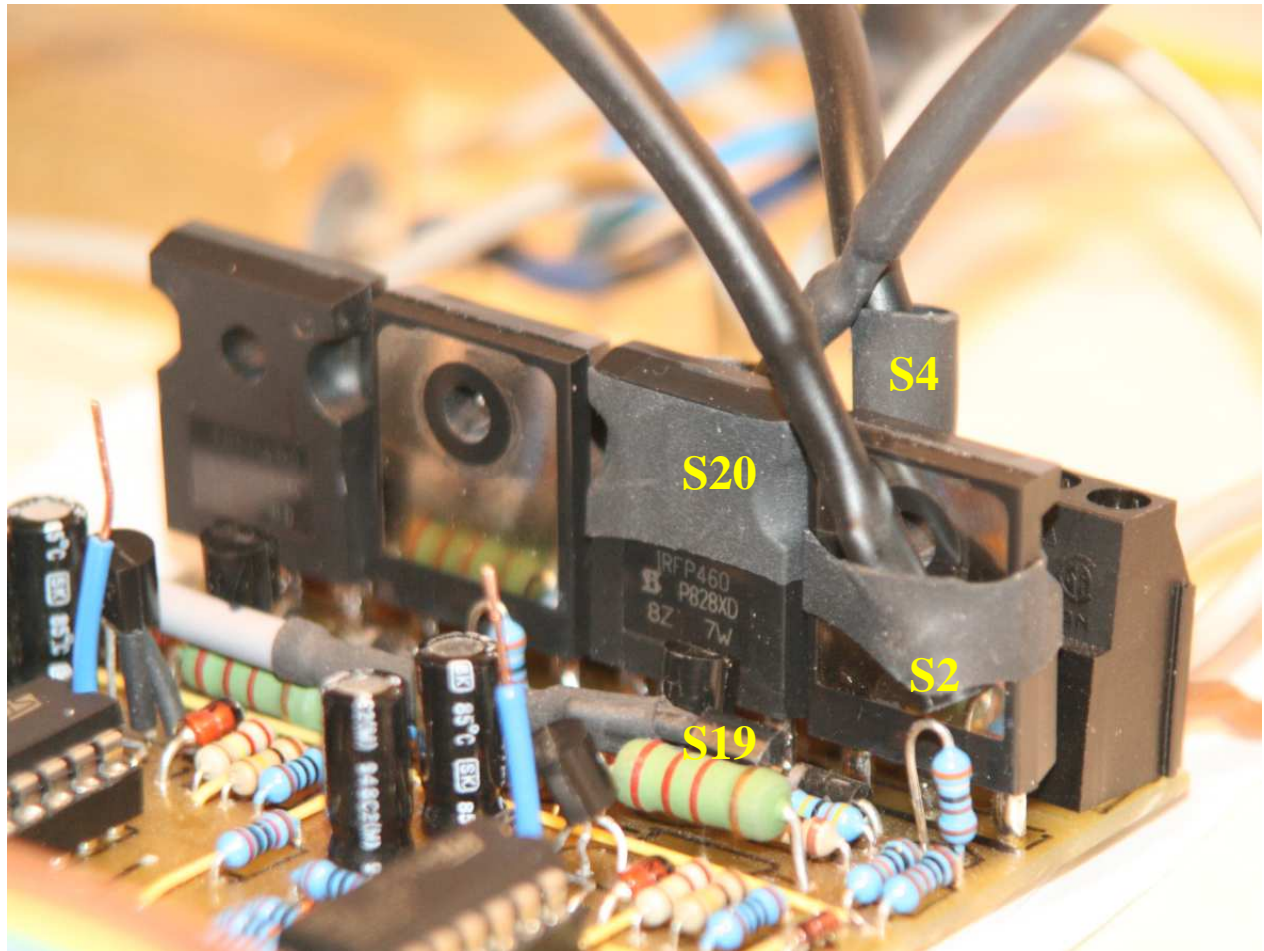
K2: $3 \times 100\text{W} = 300\text{W}$

Vor dem Dimmer wird ein klassisches Leistungsmeßgerät eingesteckt. Dieses misst P

Außerdem wird die Temperatur über ein Messgerät mit 4 DS18S20 Sensoren gemessen:

S4: schwarz Temperatur von R1
S19: grün Temperatur von R23 = 2.2kOhm (2W)
S2: rot Temperatur von Q2
S20: blau Temperatur von Q1

Messintervall 5s

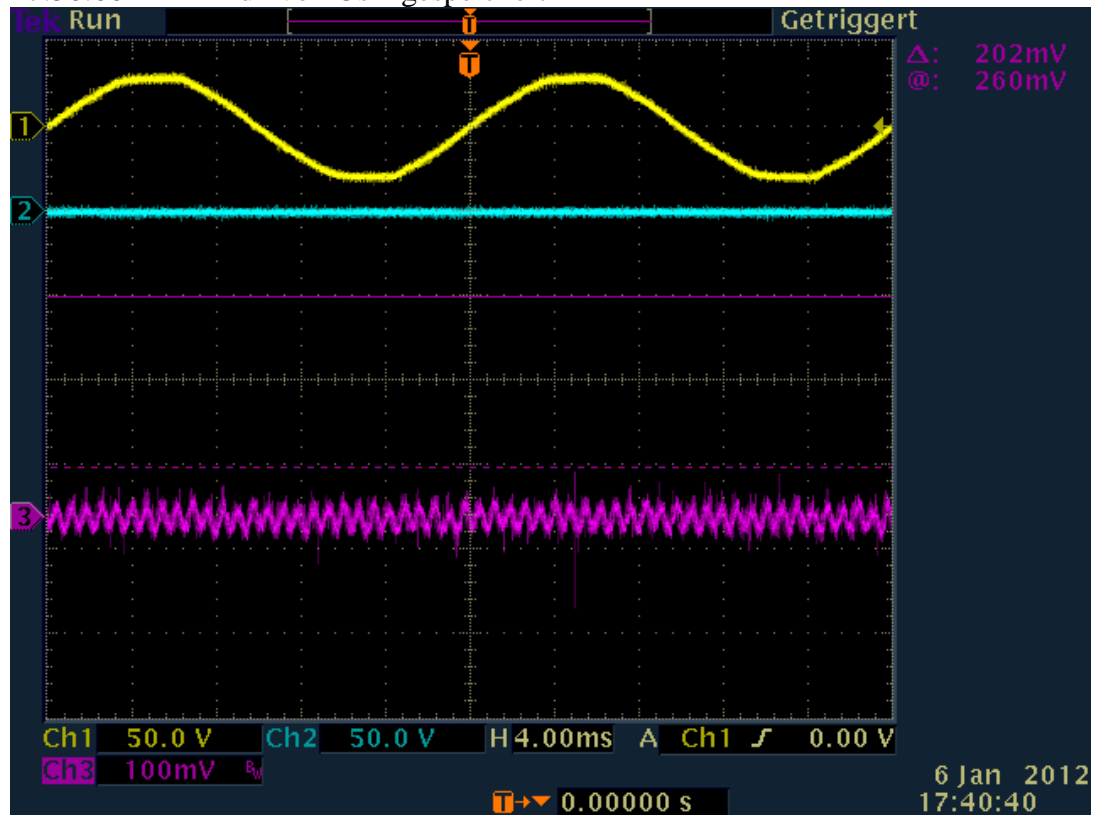


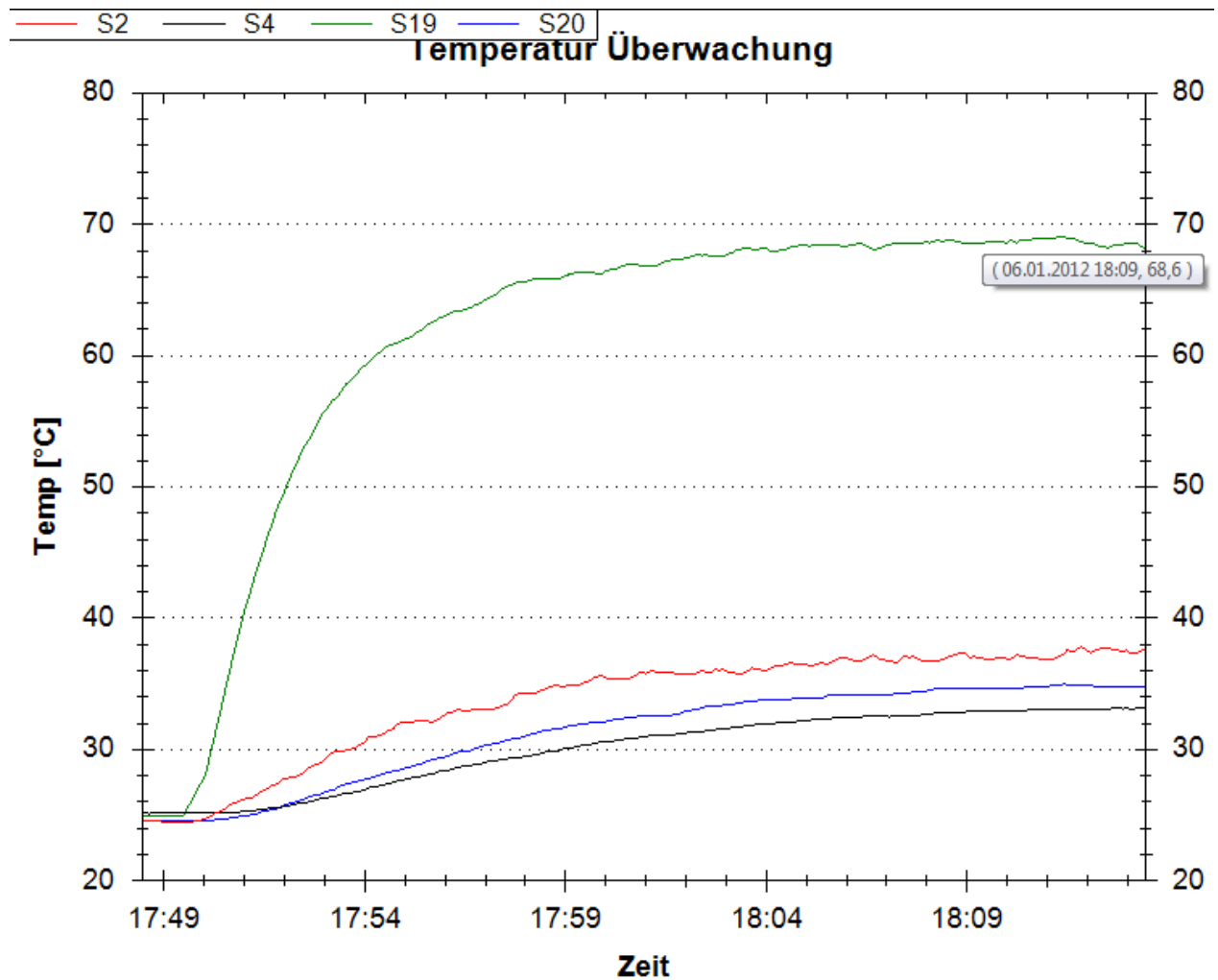
Mit einem Digitaloszilloskop werden folgende Spannungen gemessen:

K1 gelb Netzspannung
K2 blau Spannung an den Lampen
K3 rot Strom

Protokoll der Messung 6.1.2012:

17:36:23 Mit Kältespray vorgekühlt
17:39:00 EIB mit Spannung versorgt
17:49:00 Dimmer mit 230V versorgt, Lampen noch aus
P = 3 W
17:50:00 Bild2 von Oszi gespeichert





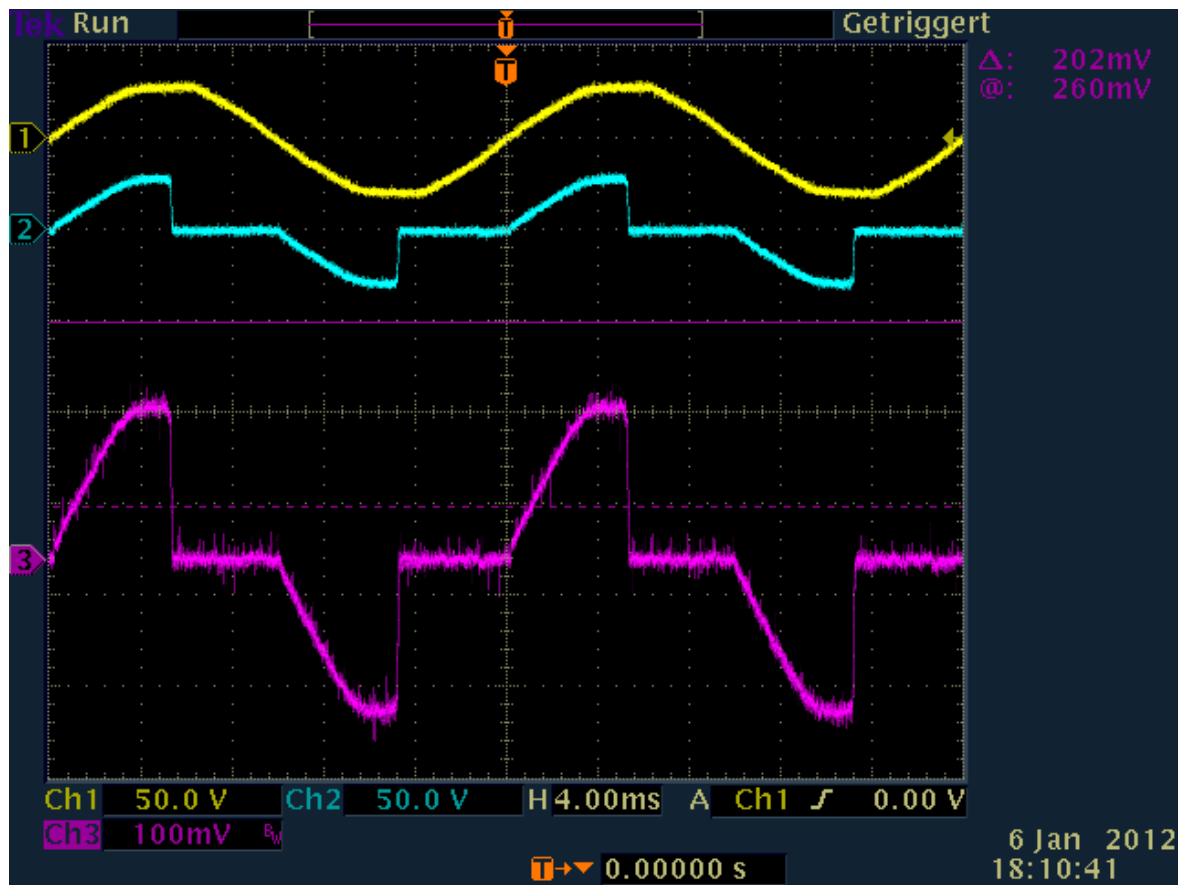
Erwärmung bei ausgeschalteter Last:

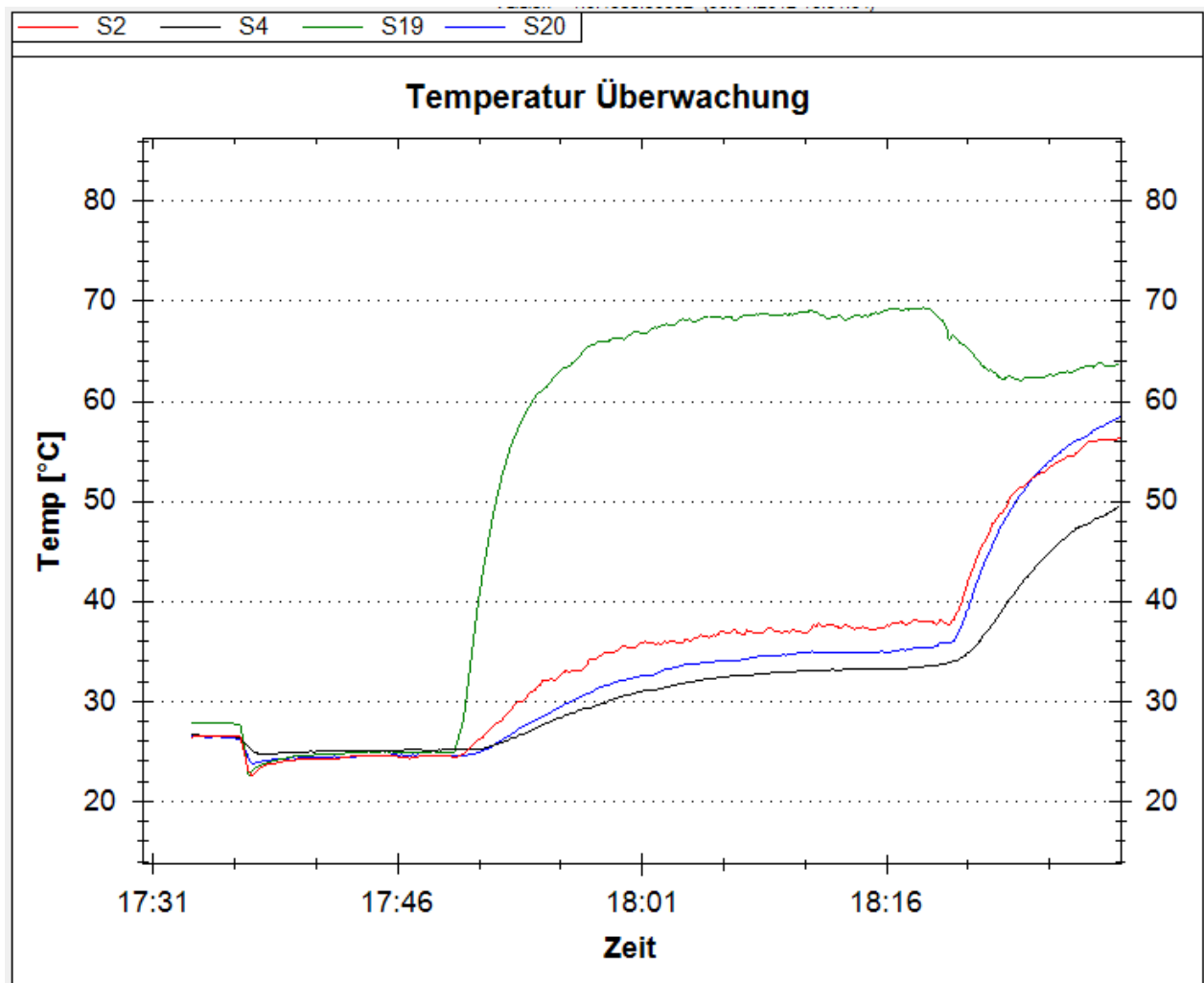
S19: grün	70° C	Temperatur von R23
S2: rot	38° C	Temperatur von Q2
S20: blau	35° C	Temperatur von Q1
S4: schwarz	33° C	Temperatur von R1

18:18:00 Dimmer Kanal 1 auf 50% Helligkeit
Überlastsicherung spricht an, d.h. 300W ist zu viel

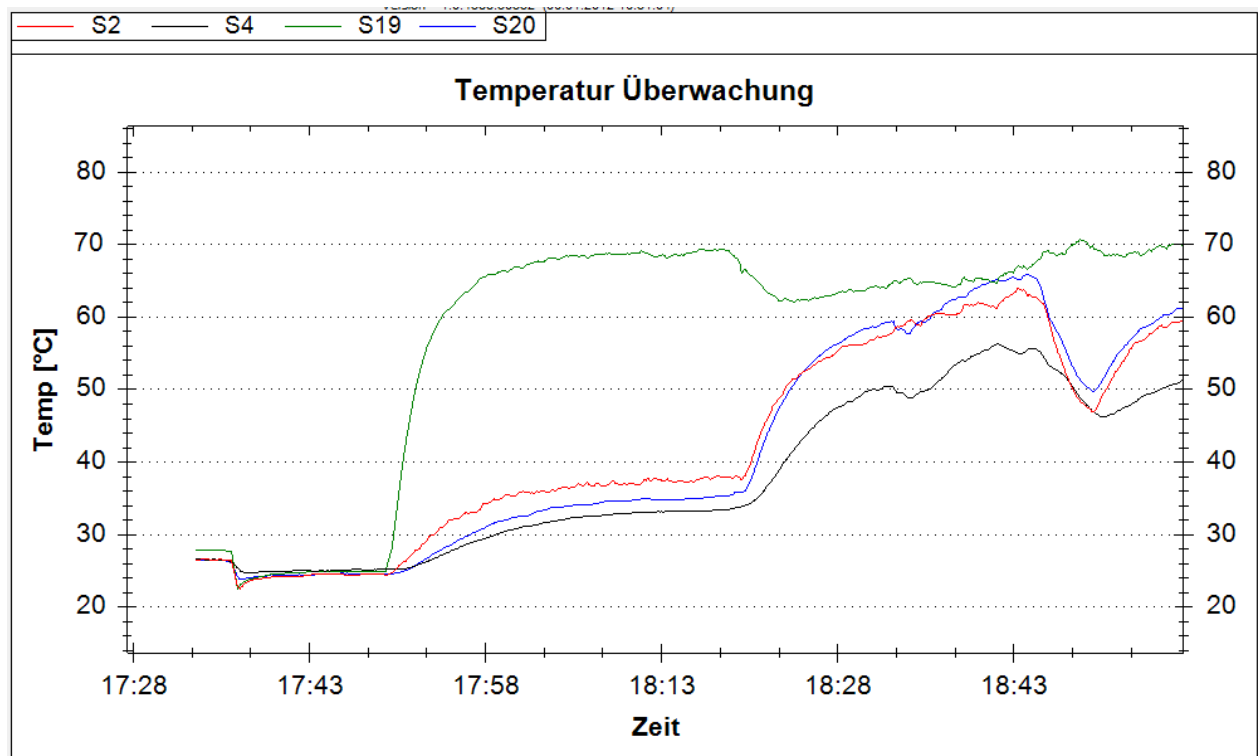
18:19:30 60W abgeschaltet, jetzt mit 240 W an Kanal 1, Kanal 2 noch aus
P = 157 W

18:20:00 Oszibild 3 gespeichert





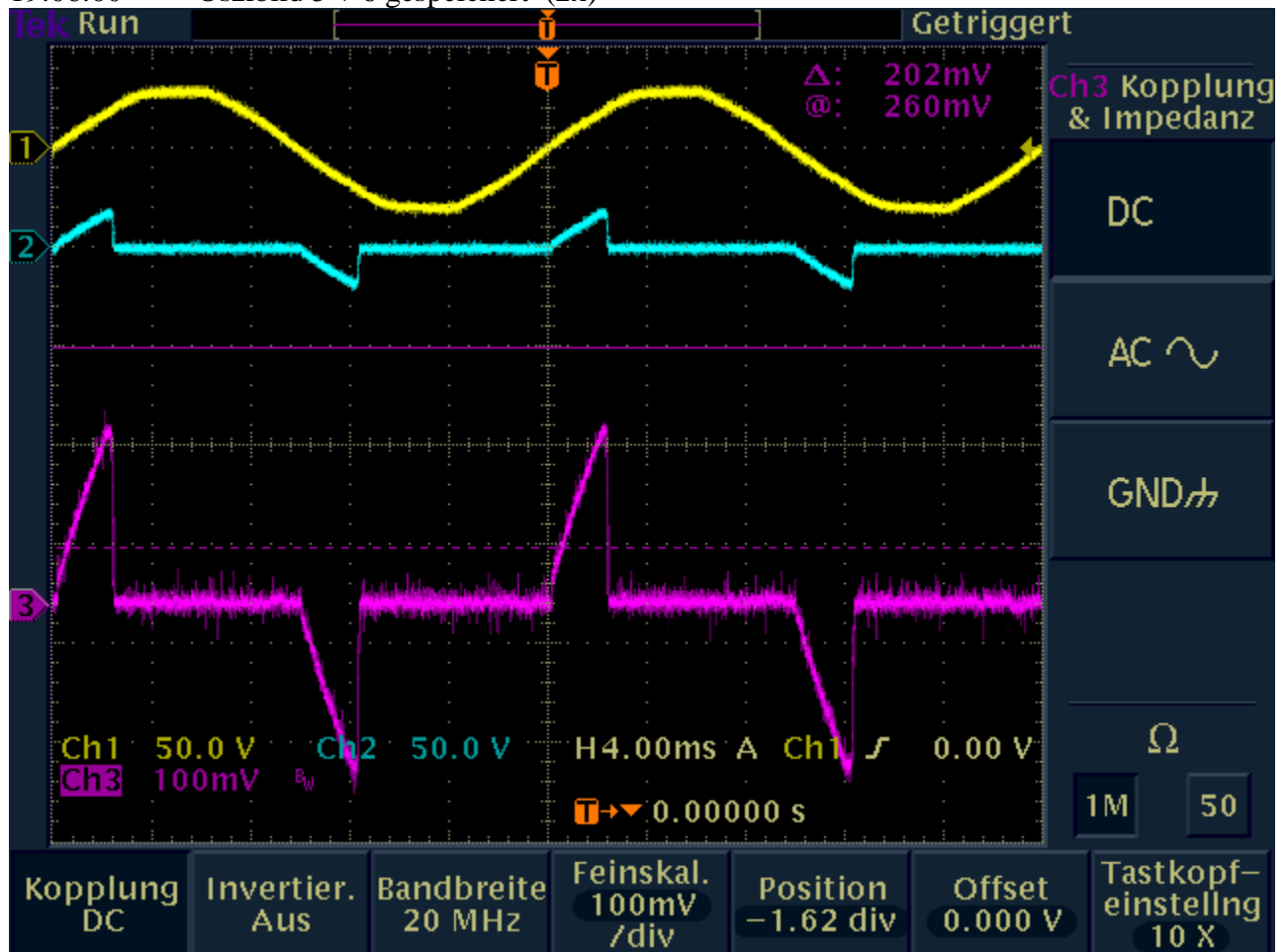
- 18:34:00 Kanal 2 mit 50% eingeschaltet
Überlastsicherung spricht an, d.h. 300W ist zu viel
100W durch 60 W ersetzt, → 260 W noch immer Überlast
100W durch 40 W ersetzt, → 240W
P = 157 W
- 18:35:00 240W P = 324W
- 18:38:00 Oszibild4 gespeichert
- 18:42:40 Kanal1 geht in Überlast, zyklisch
Das Programm schaltet den Dimmer aber nicht aus
- 18:46:25 Kanal1 ausgeschaltet
- 18:48:00 Kanal1 eingeschaltet, immer noch in überlast
- 18:49:10 Kanal1 auf 25% = 64
- 18:51:15 Kanal2 auf 25% = 64

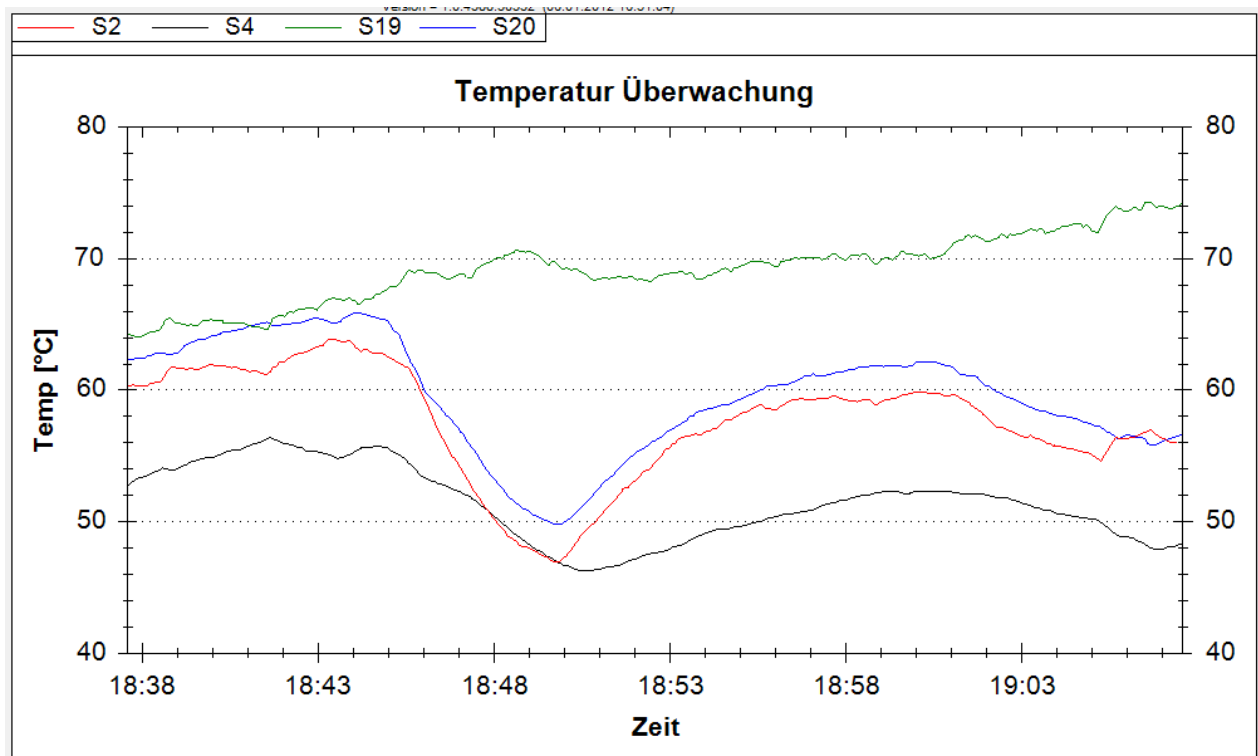


19:00:00 Kanal1 auf 10% = 13

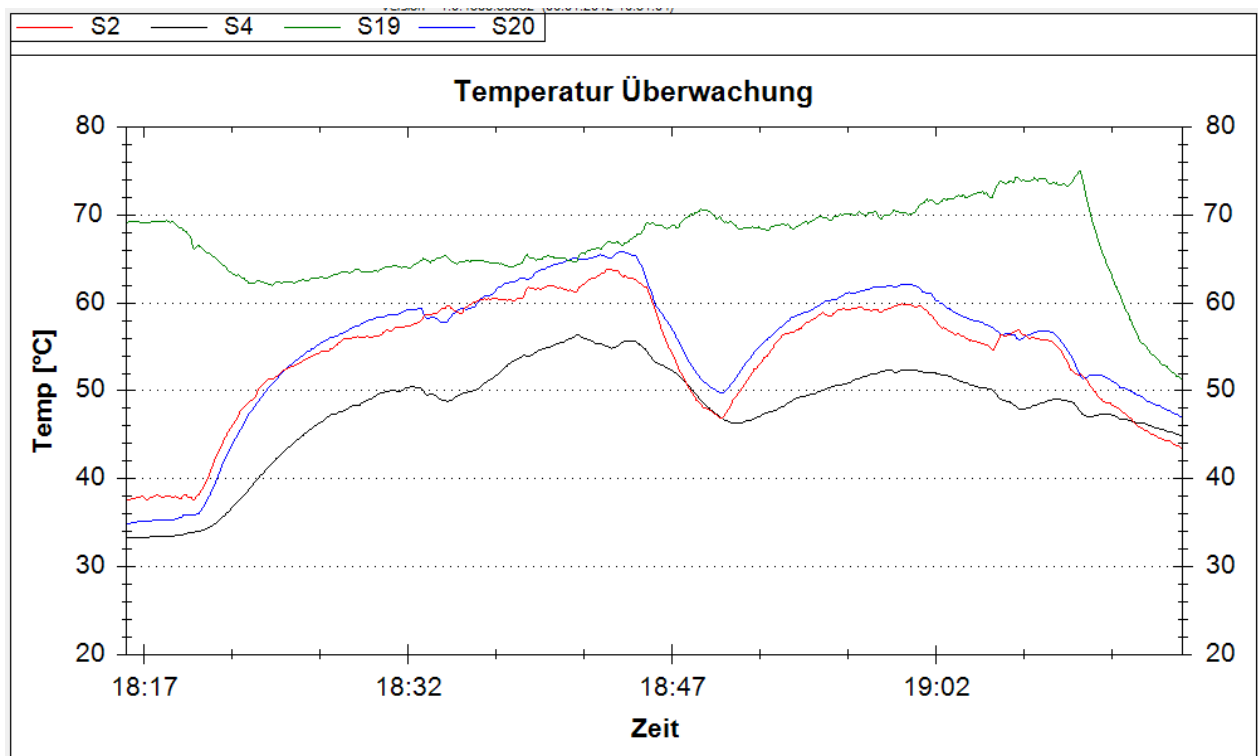
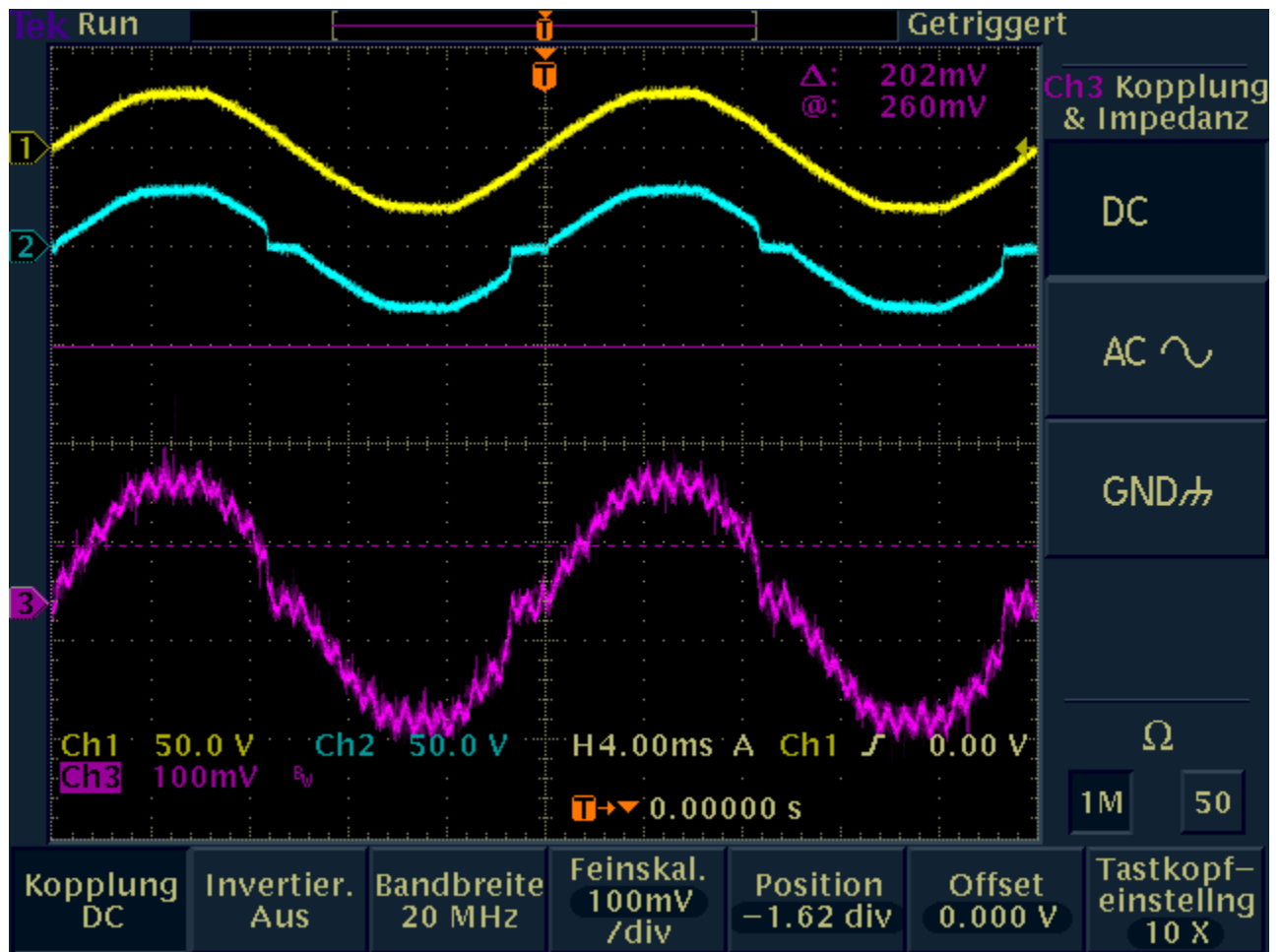
19:00:00 Kanal2 auf 10% = 13

19:06:00 Oszibild 5 + 6 gespeichert (2x)





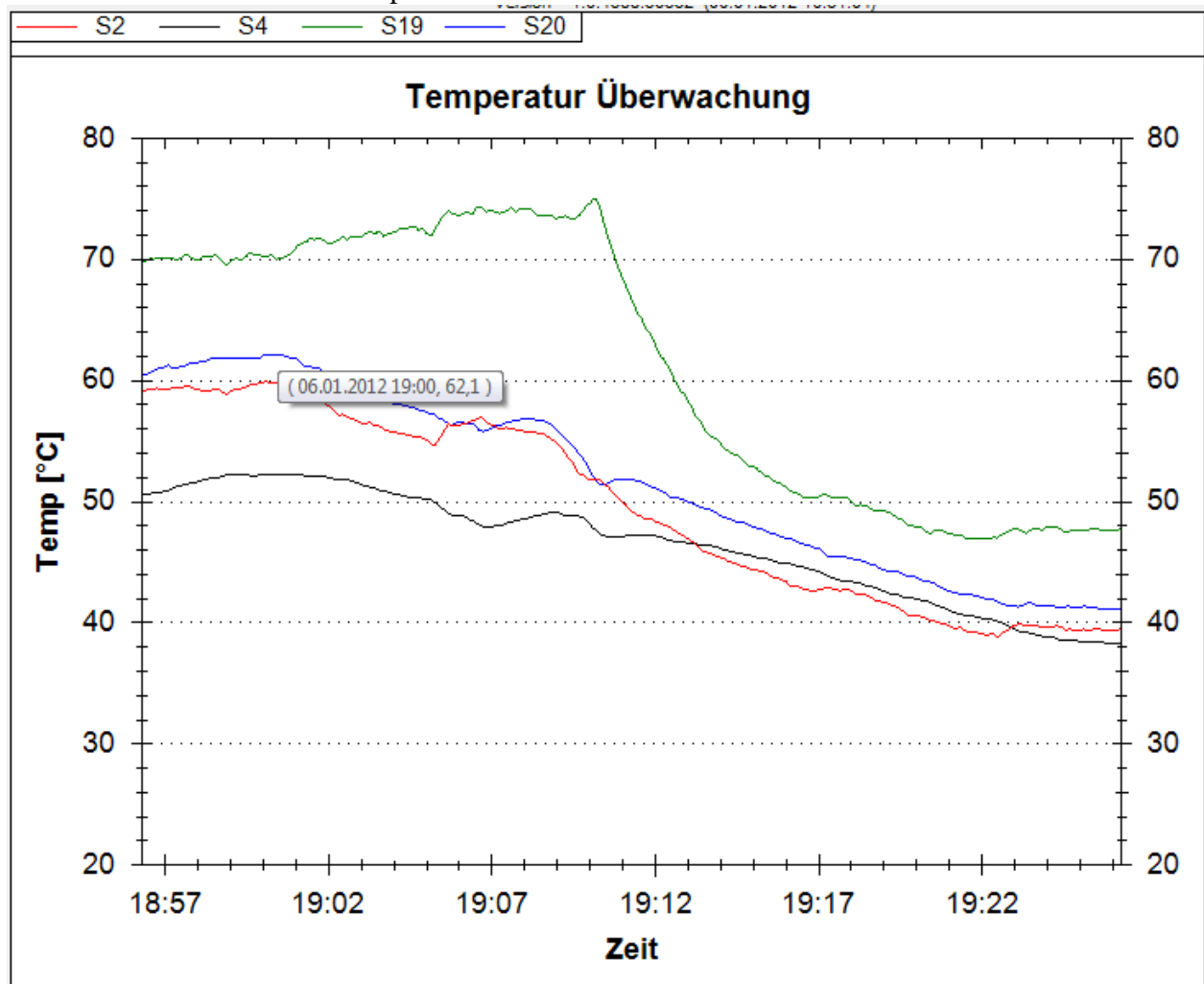
19:00:00 Kanal1 auf % = 178
 19:00:00 Kanal2 auf % = 178
 Überlast
 Leistung auf jeweils 200 W reduziert
 19:10:00 Kanal1 auf 100% = 255
 19:10:00 Kanal2 auf 100% = 255
 P = 388W
 19:11:00 Oszibild7 gespeichert



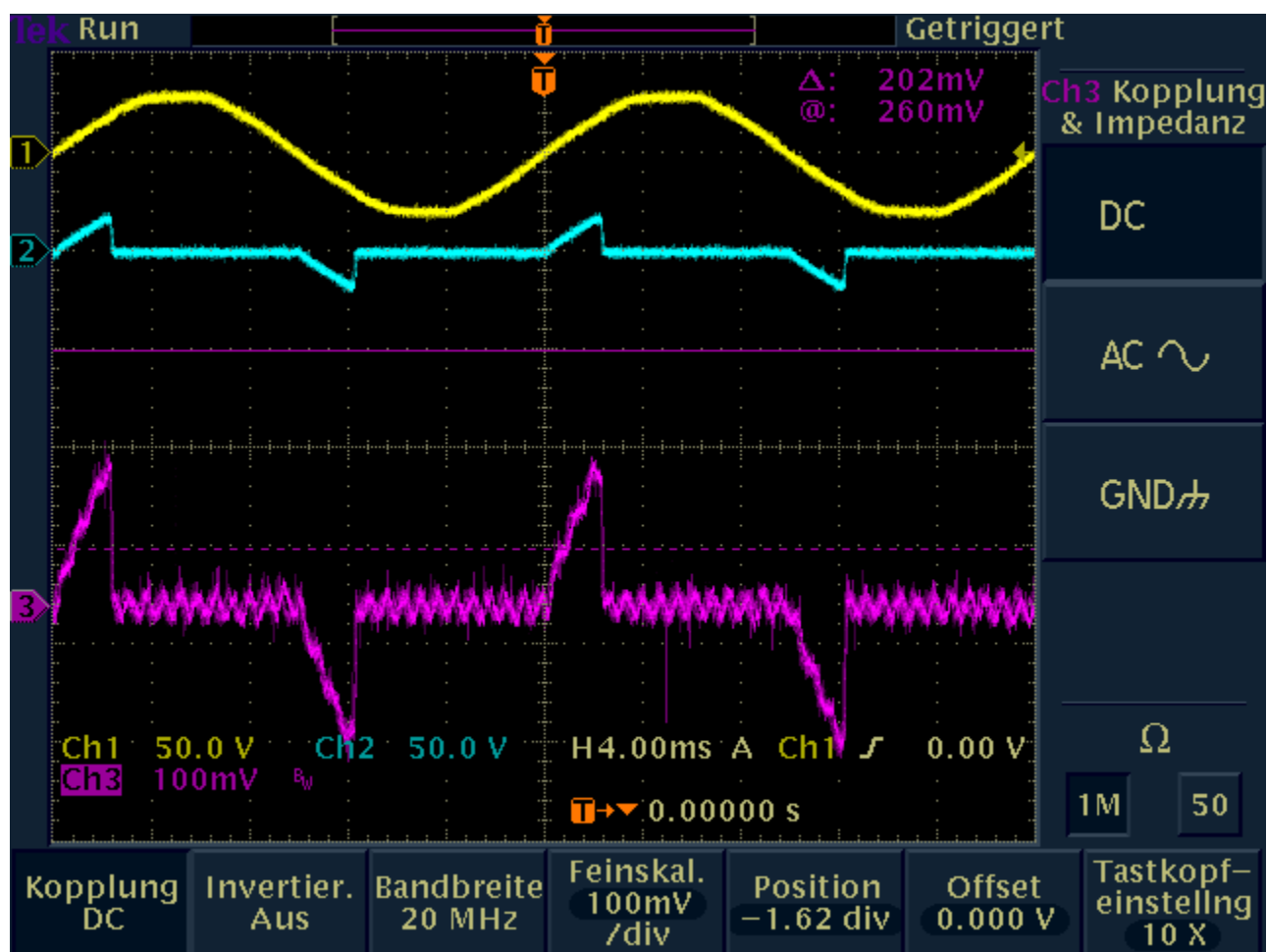
bei Vollast = 255 ergeben sich folgende Temperaturen:

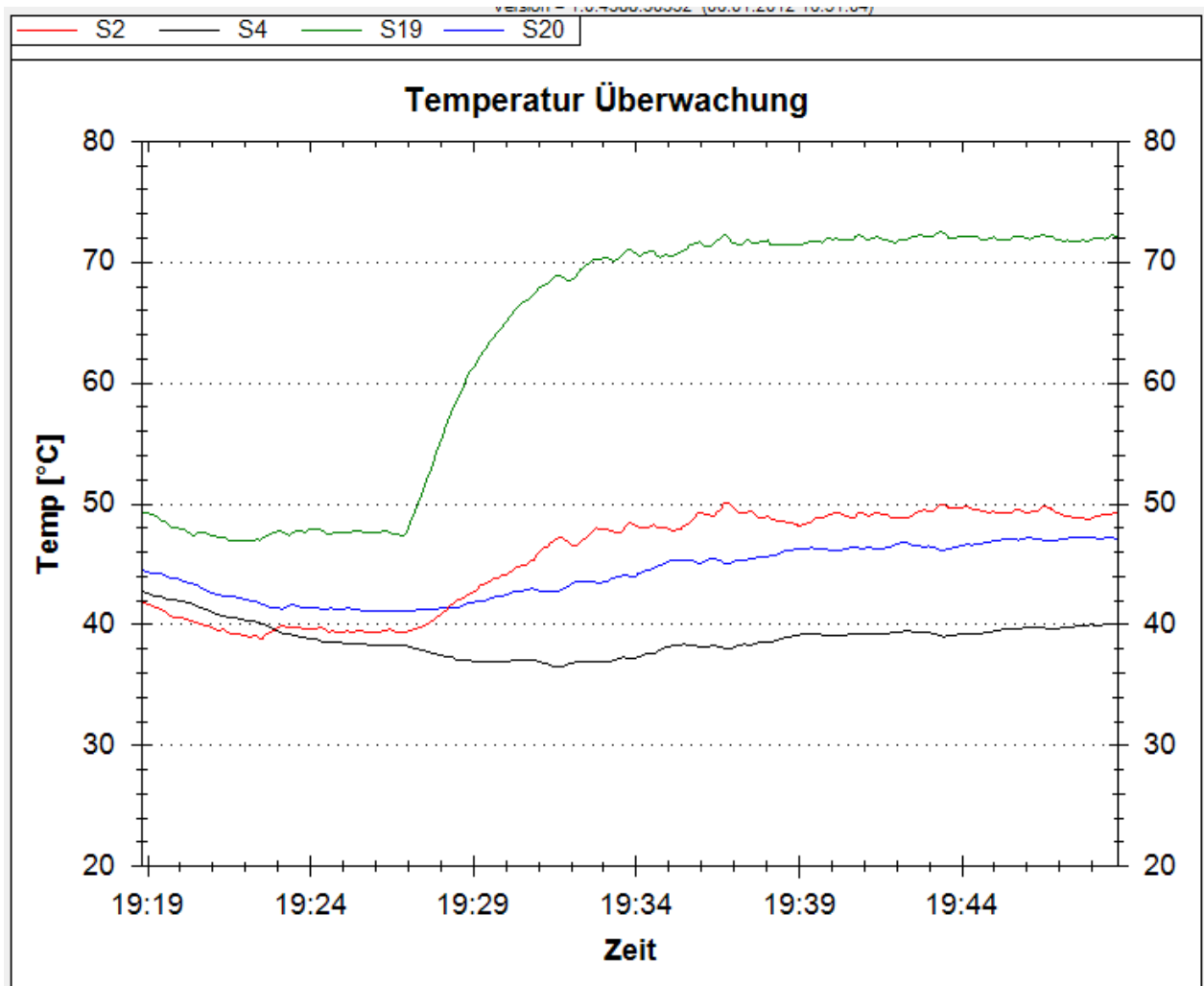
S19: grün 48° C Temperatur von R23
S2: rot 39° C Temperatur von Q2

S20: blau 41° C Temperatur von Q1
 S4: schwarz 39° C Temperatur von R1



19:26:30 Kanal1 auf % = 6
 19:26:30 Kanal2 auf % = 6
 19:29:00 Oszibild8 gespeichert





bei Niedriglast = 6 ergeben sich folgende Temperaturen:

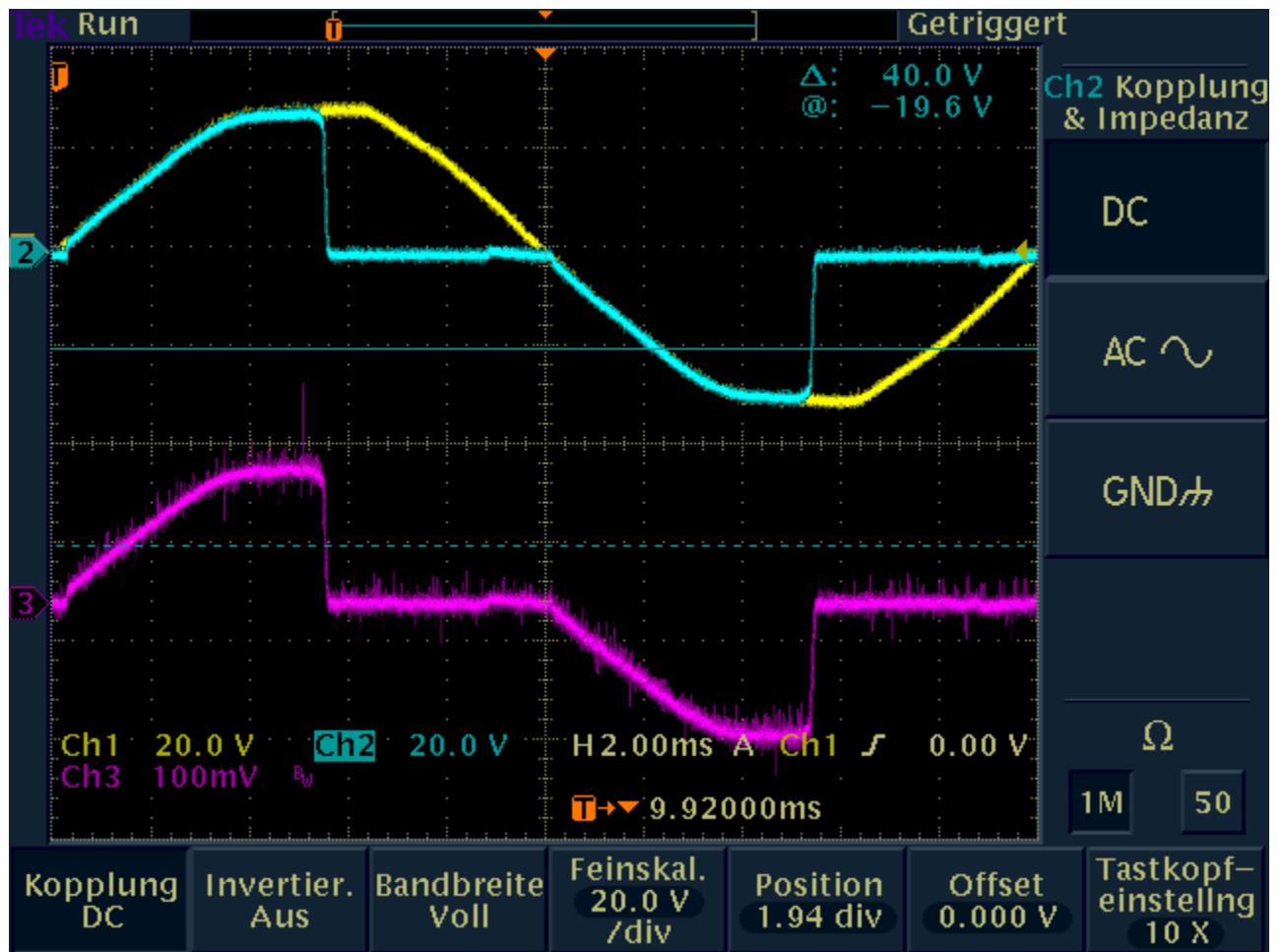
S19: grün	72° C	Temperatur von R23
S2: rot	50° C	Temperatur von Q2
S20: blau	47° C	Temperatur von Q1
S4: schwarz	40° C	Temperatur von R1

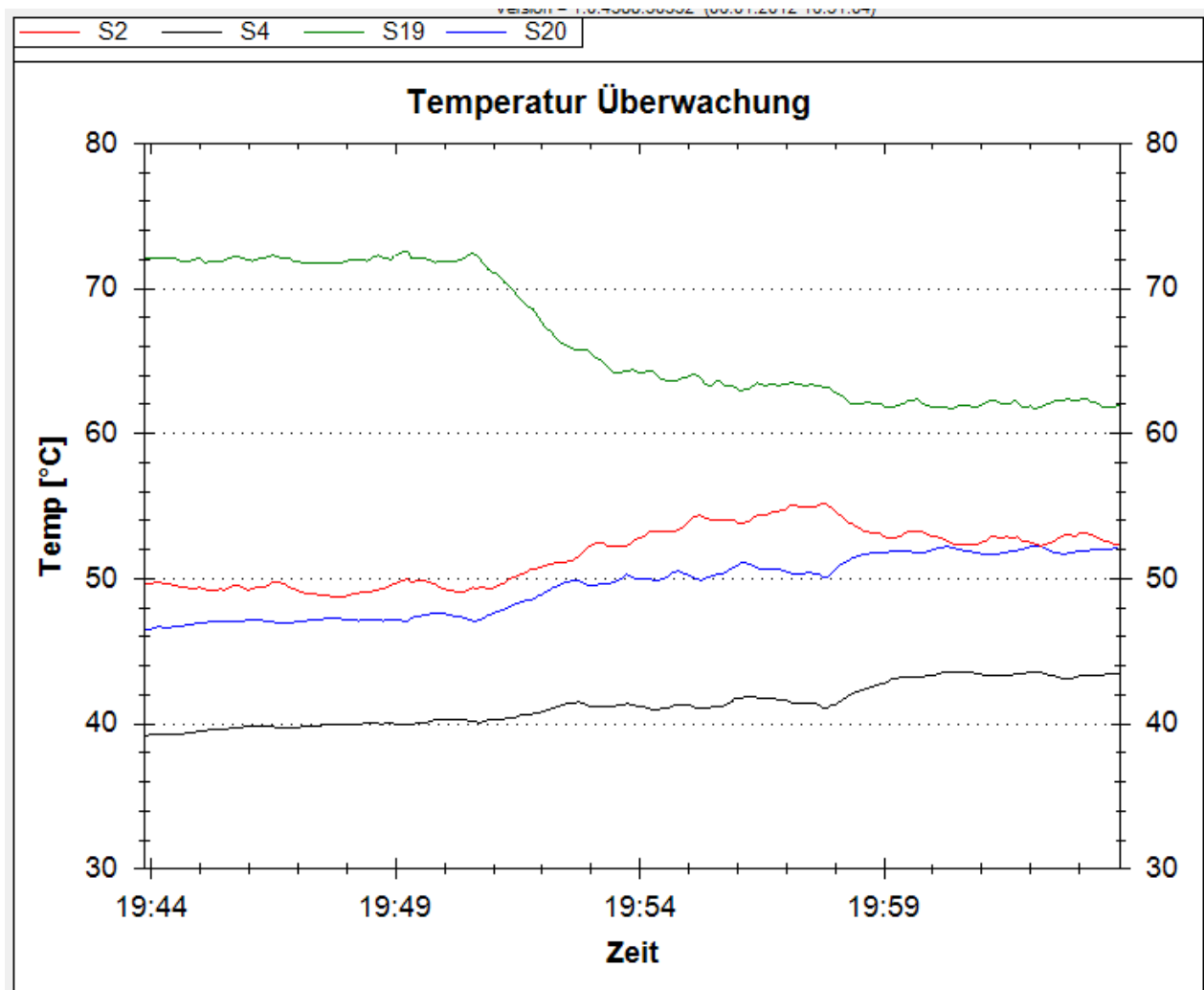
19:50:00 Kanal1 auf 50% = 128

19:50:00 Kanal2 auf 50% = 128

19:55:00 Oszibild9 gespeichert

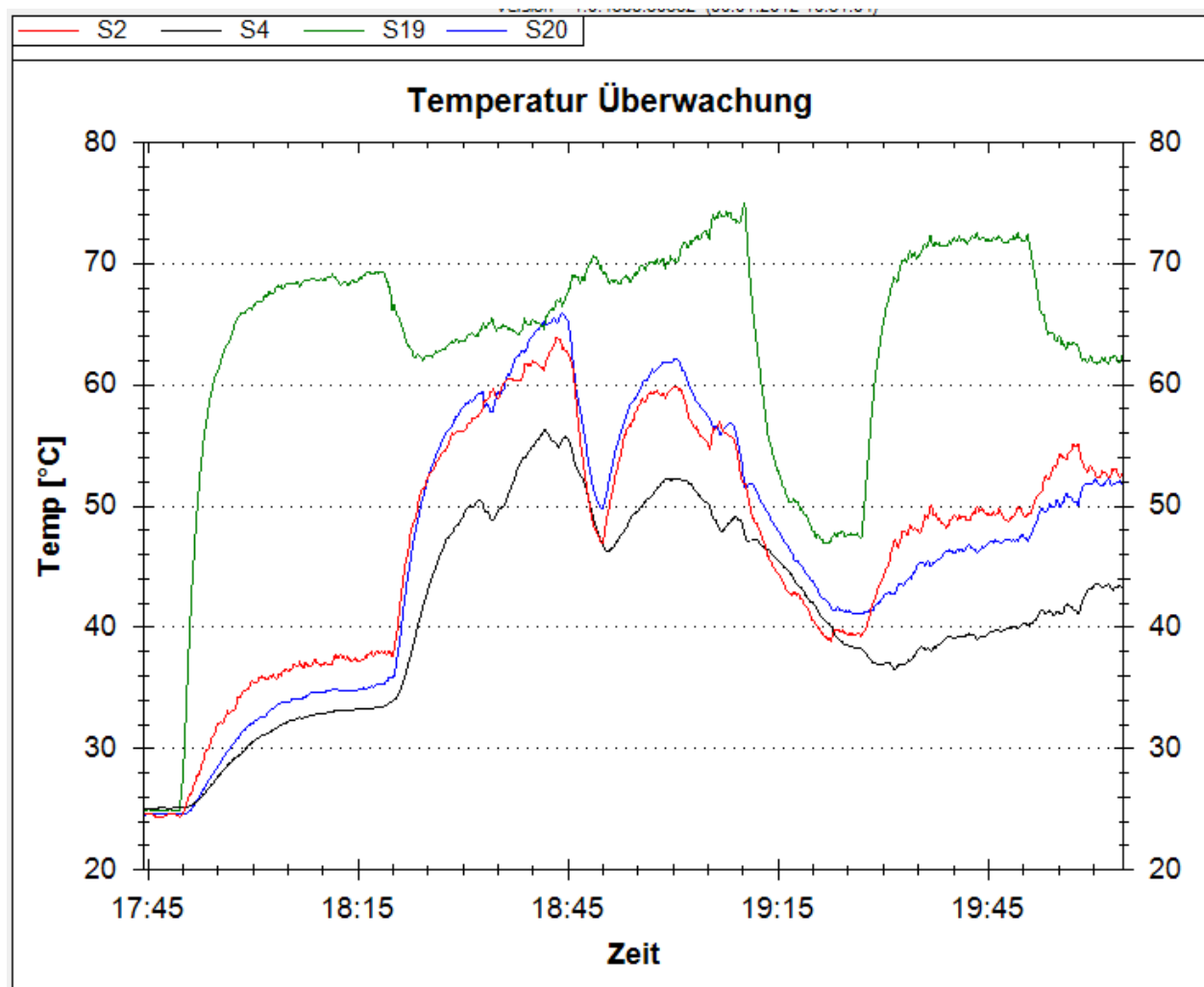
19:59:00 Oszibild10 gespeichert mit besserer Auflösung



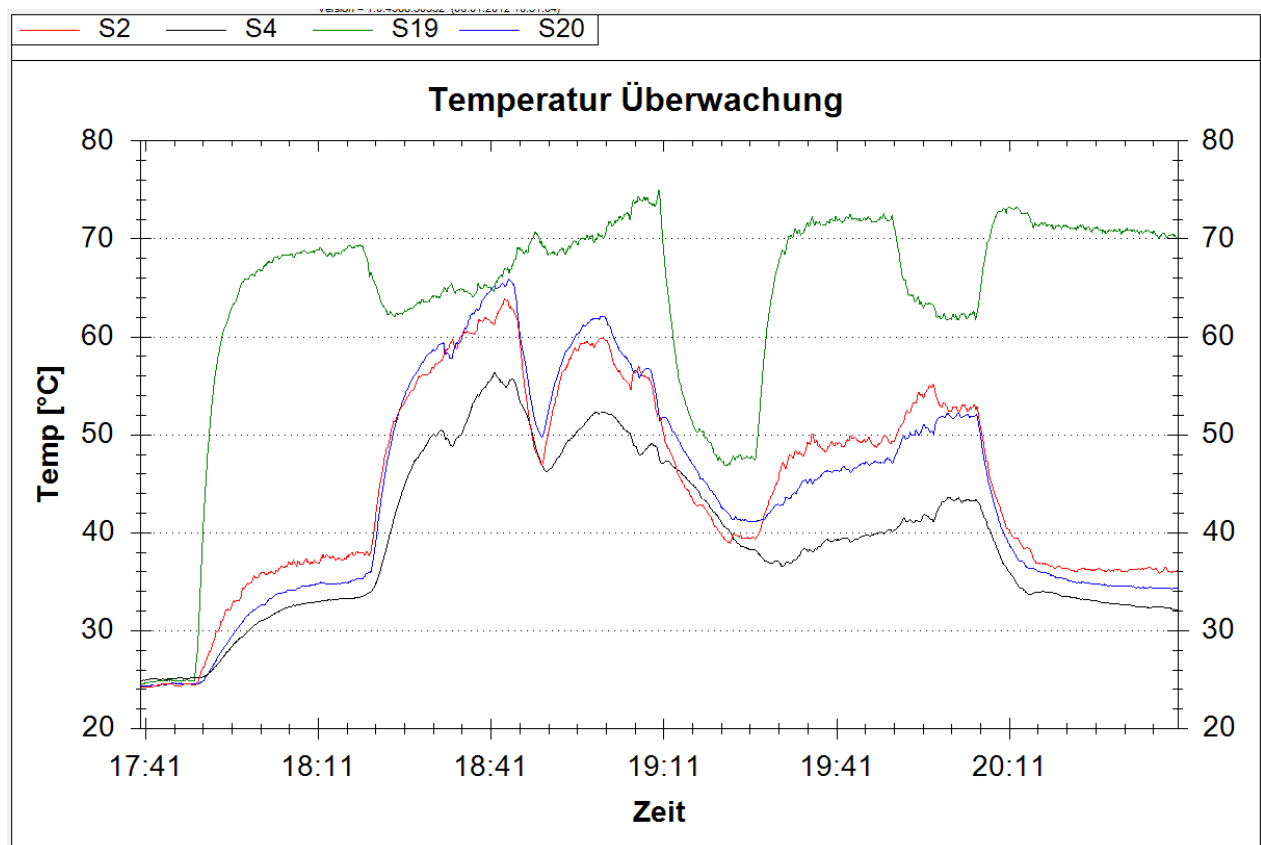


bei Halblast = 128 ergeben sich folgende Temperaturen:

S19: grün	62° C	Temperatur von R23
S2: rot	53° C	Temperatur von Q2
S20: blau	52° C	Temperatur von Q1
S4: schwarz	44° C	Temperatur von R1



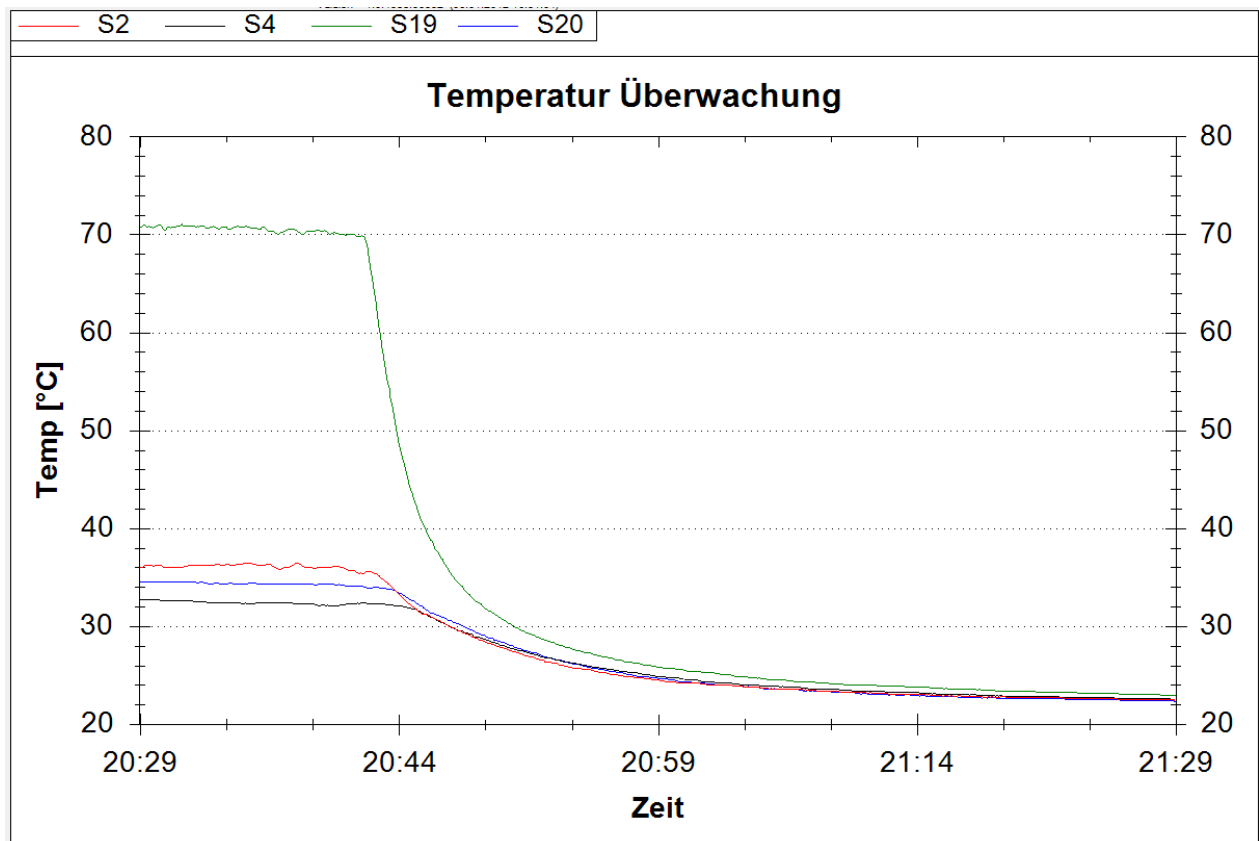
20:04:45 beide Kanäle ausgeschaltet
20:07:00 Oszibild11 gespeichert



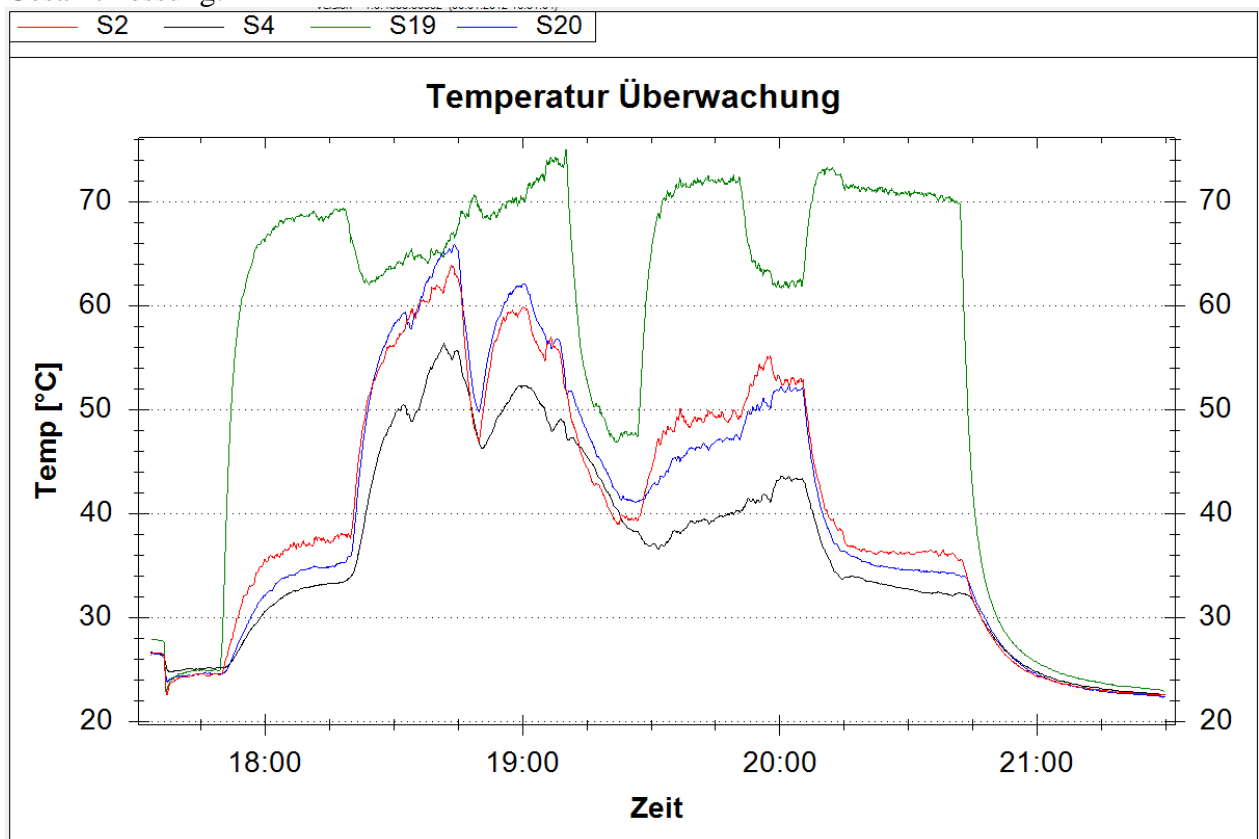
bei Last ausgeschaltet = 0 ergeben sich folgende Temperaturen:

S19: grün	71° C	Temperatur von R23
S2: rot	36° C	Temperatur von Q2
S20: blau	33° C	Temperatur von Q1
S4: schwarz	32° C	Temperatur von R1

20:42:00 Dimmer von Spannung getrennt



Gesamtmessung:



Zusammenfassung:

bei 200W funktionieren beide Kanäle einwandfrei

Temperaturen:

		Dimmwert	0	6	128	255
S19:	grün	Temperatur von R23	70° C	72° C	62° C	48° C
S2:	rot	Temperatur von Q2	38° C	50° C	53° C	39° C
S20:	blau	Temperatur von Q1	35° C	47° C	52° C	41° C
S4:	schwarz	Temperatur von R1	33° C	40° C	44° C	39° C

bei höheren Lasten können die Temperaturen auch weiter ansteigen!

3.9.3 Temperaturmessung

Gegenüber der vorigen Messung wurden nun die beiden Widerstände R23 und R123 für mehr Leistung ausgelegt.

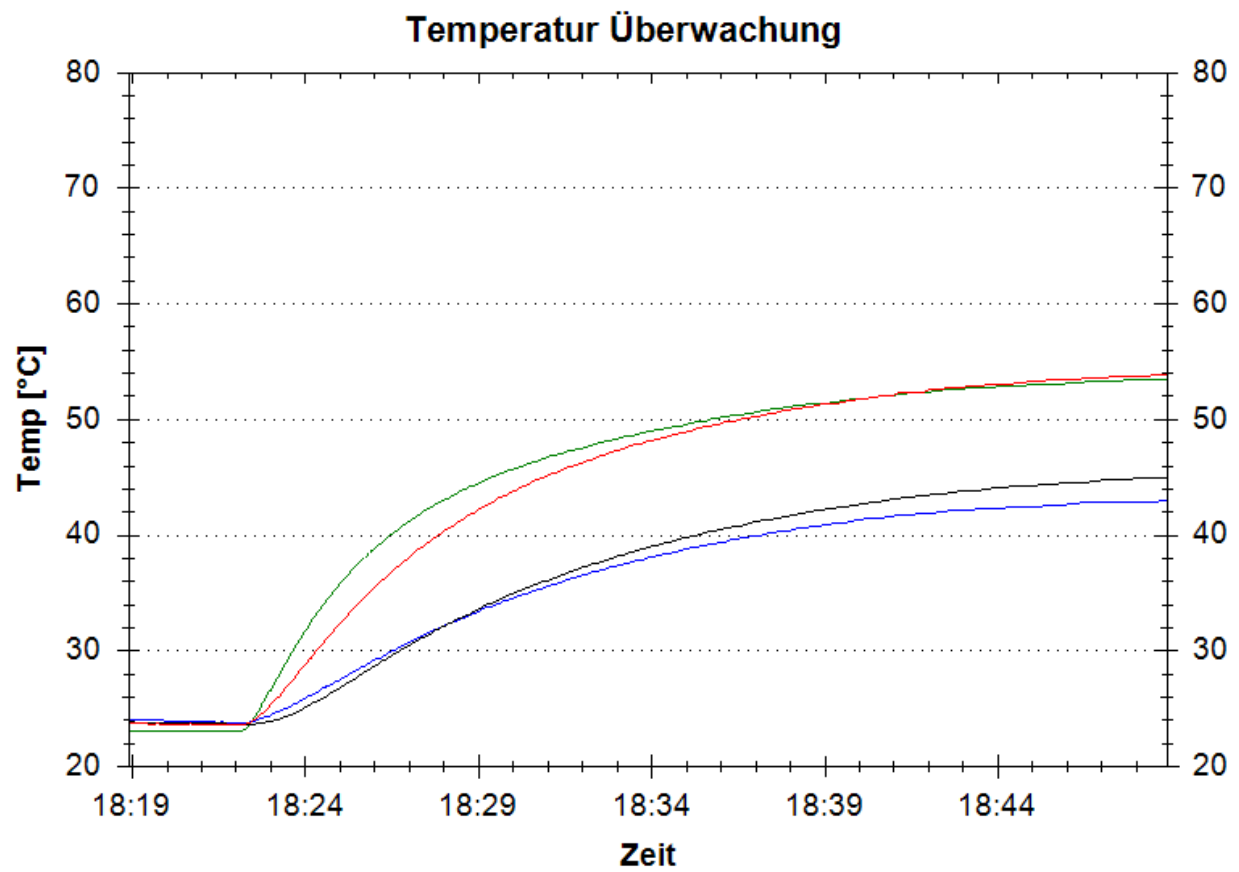
- R23 hat 7W
- R123 hat 5W

S19:	grün	Temperatur von R123 5W	
S2:	rot	Temperatur von R23 7W	
S20:	blau	Temperatur von Q2	auf Kontaktseite gemessen
S4:	schwarz	Temperatur von Q1	auf Rückseite gemessen

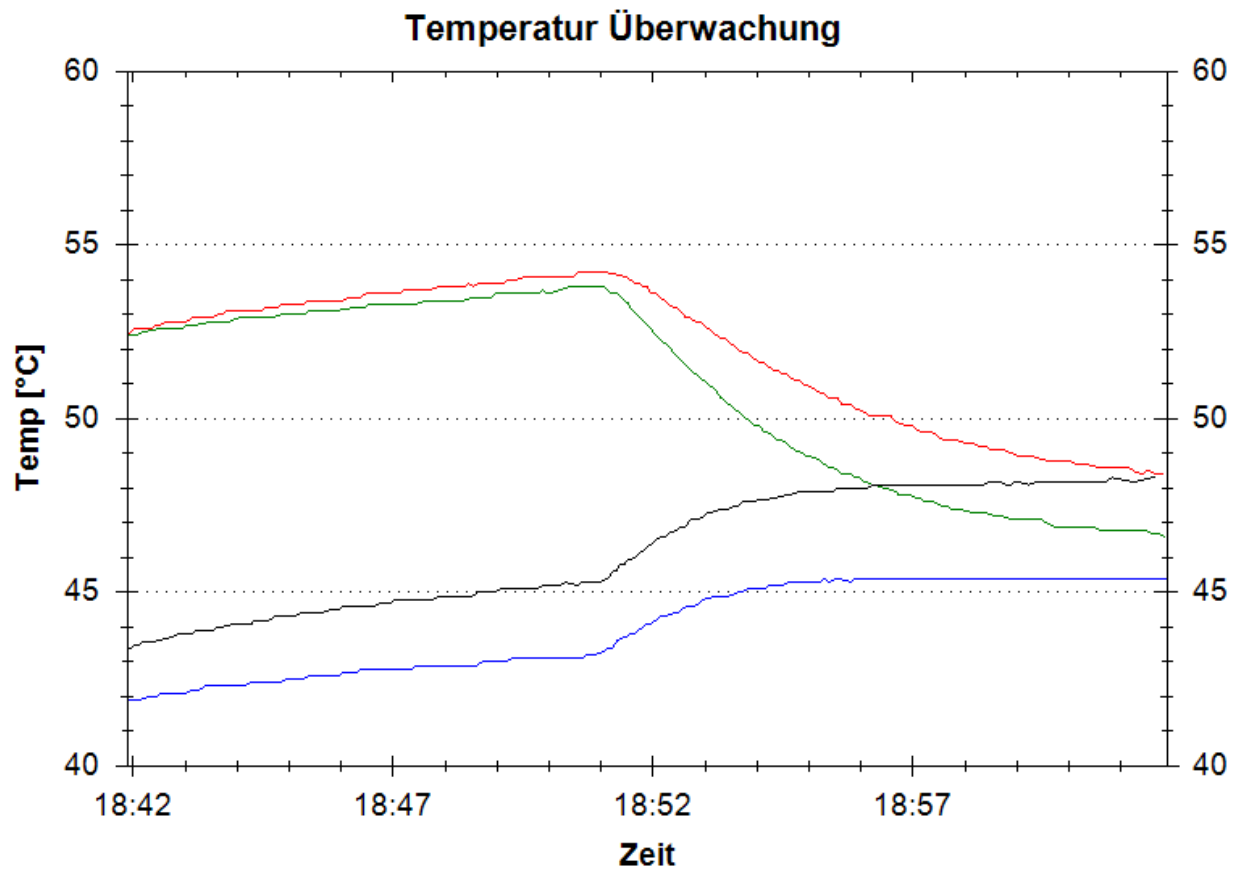
An jedem Kanal ist eine klassische Glühlampe mit 100W angeschlossen.

27.1.2012:

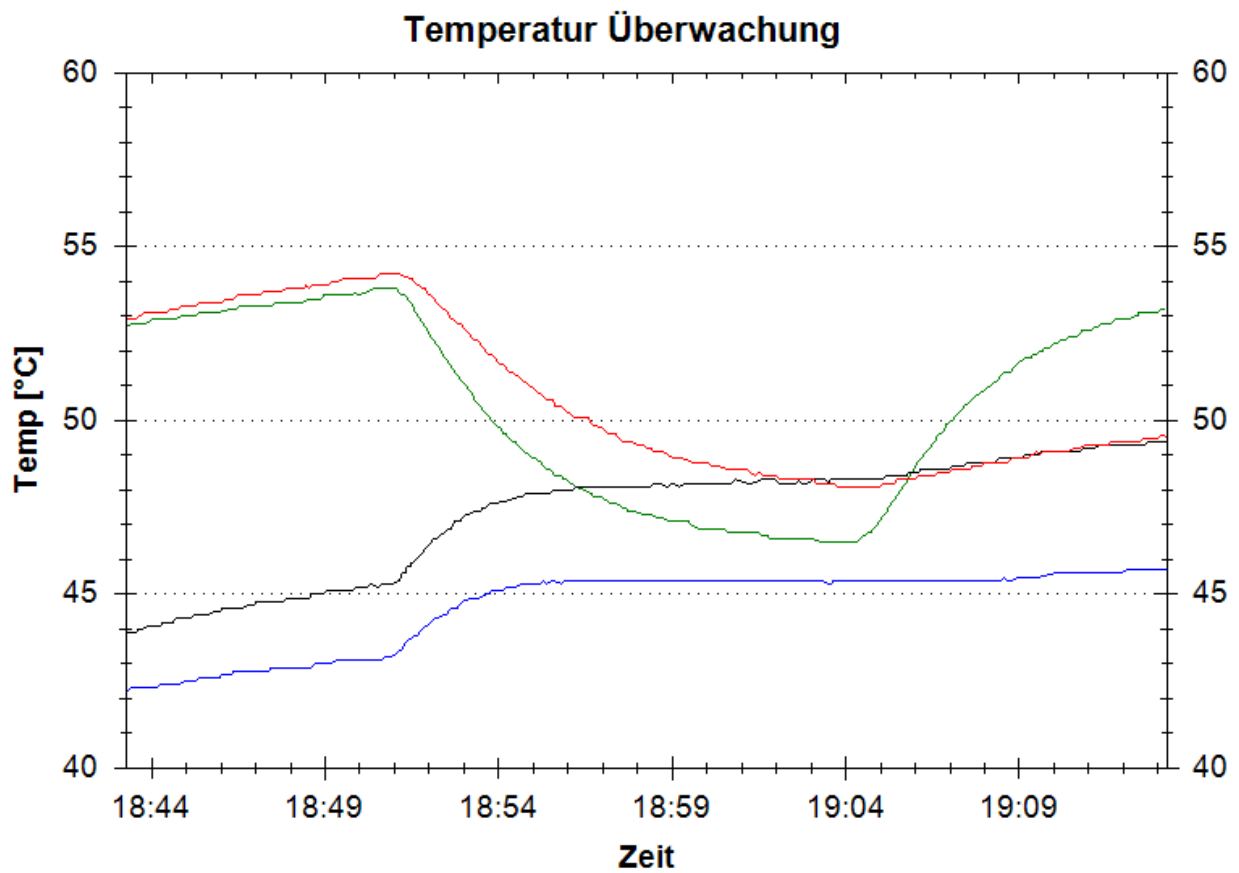
18:02:24 Start der Messung
18:22:00 Spannung eingeschaltet, beide Dimmer aus
18:49:00 Die Widerstände werden nicht wärmer als 55°C, also viel besser als vorher



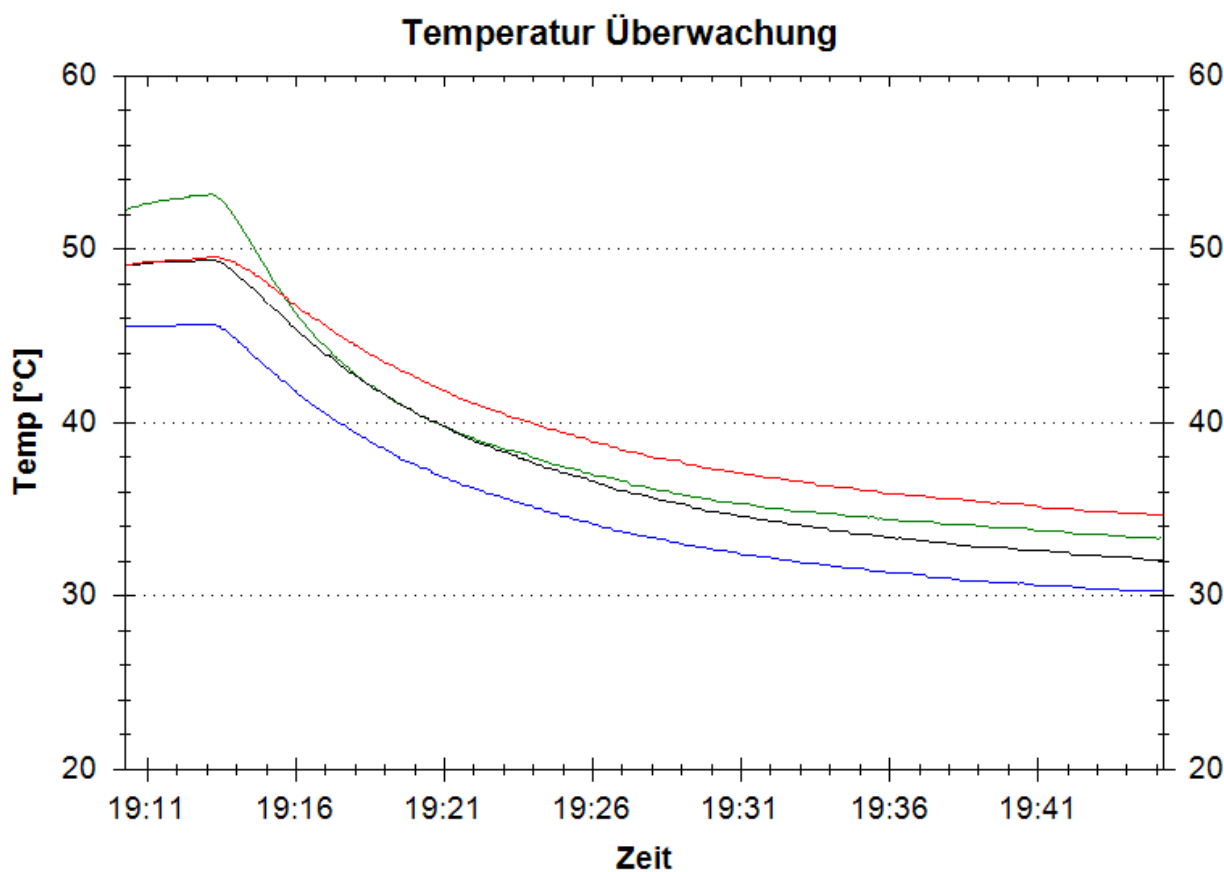
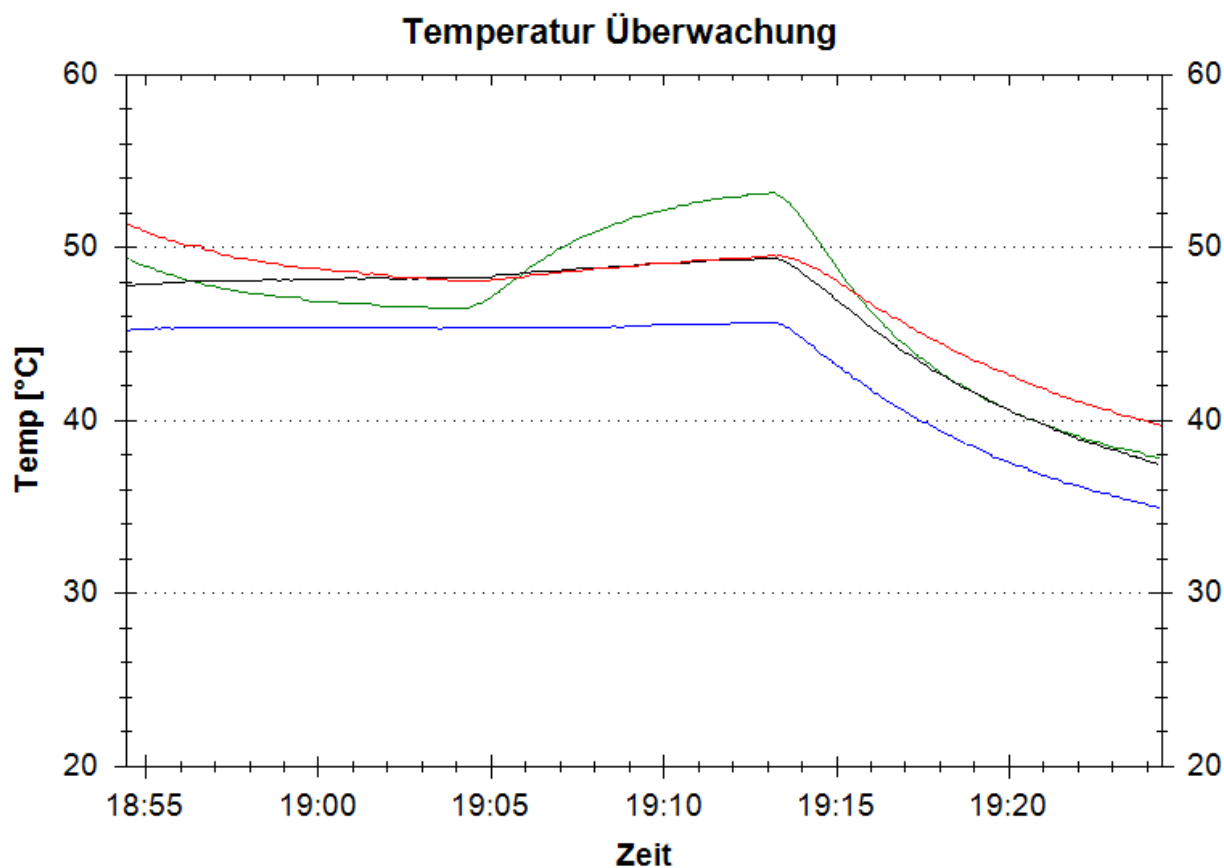
18:50 beide Kanäle auf Dimmwert 128, Phasenanschnitt
19:01 Temperatur geht auf unter 50°C



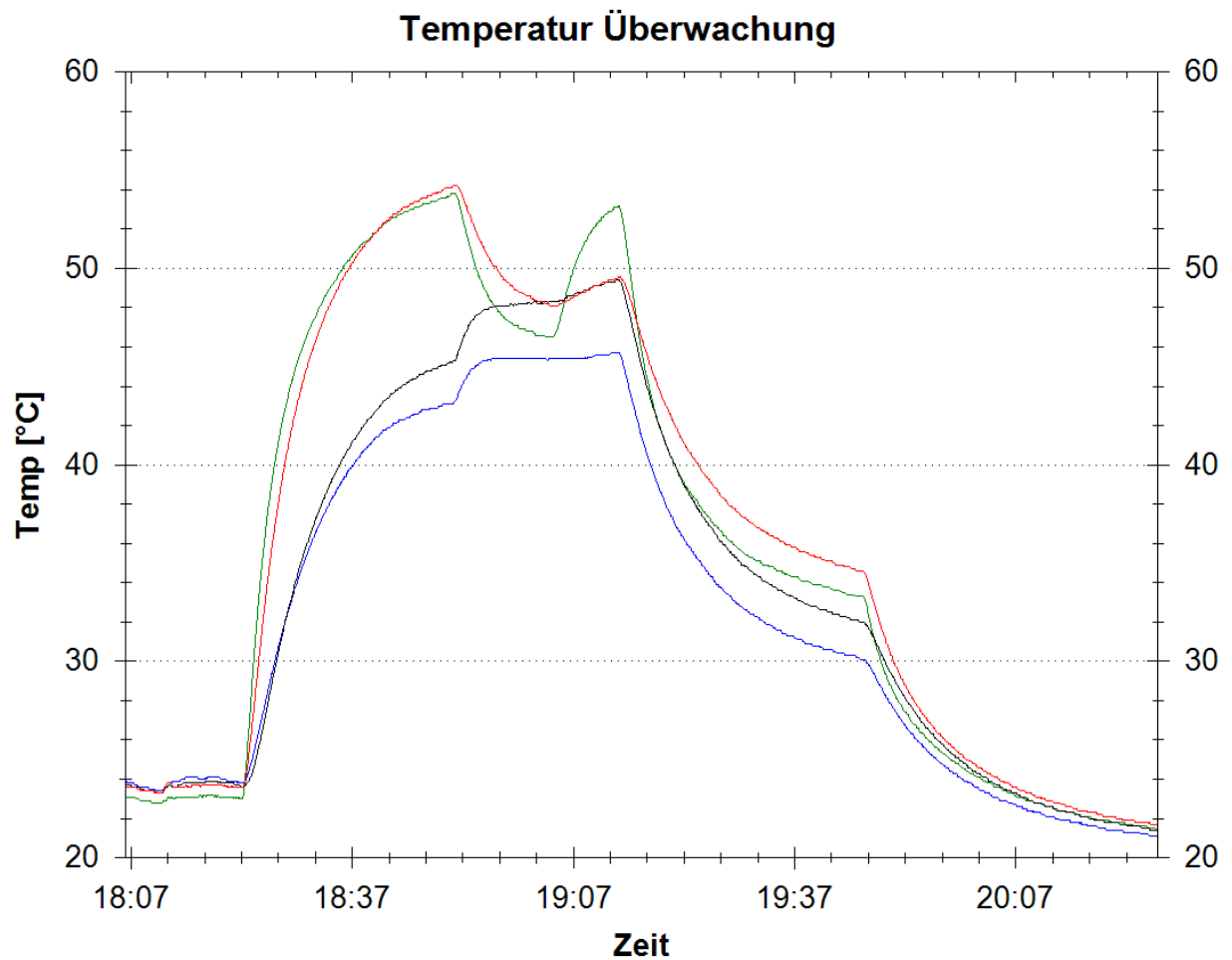
19:04 Kanal 2 ausschalten



19:13 beide Kanäle 255



19:45 Dimmer auf 0 und Spannung aus



Zusammenfassung:

		Dimmwert	0	128	255
S19:	grün	Temperatur von R123 5W	54	47	33
S2:	rot	Temperatur von R23 7W	54	48	35
S20:	blau	Temperatur von Q2	45	45	30
S4:	schwarz	Temperatur von Q1	45	48	32

3.9.4 Messung Netzteil

7.1.2012

Da R23 doch recht warm wird wurden folgende Messungen am Netzteil durchgeführt:

Kanäle des Oszis:

K1	gelb	vor R23
K2	blau	nach R23
K3	lila	vor D1
K4	grün	nach D23
K1-K2	rot	Spannung an R23

3.9.4.1 Dimmwert 0

Bild12:

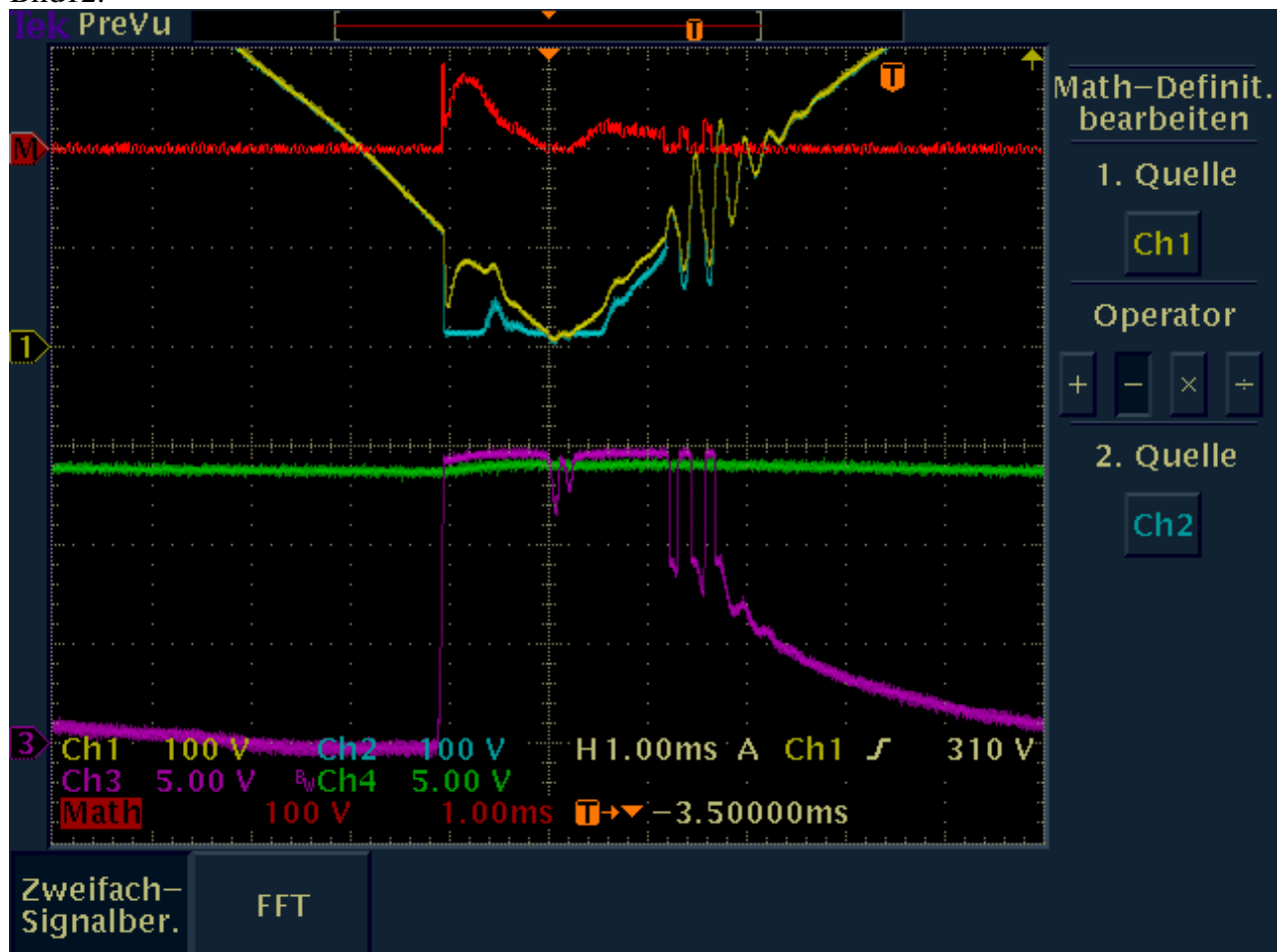
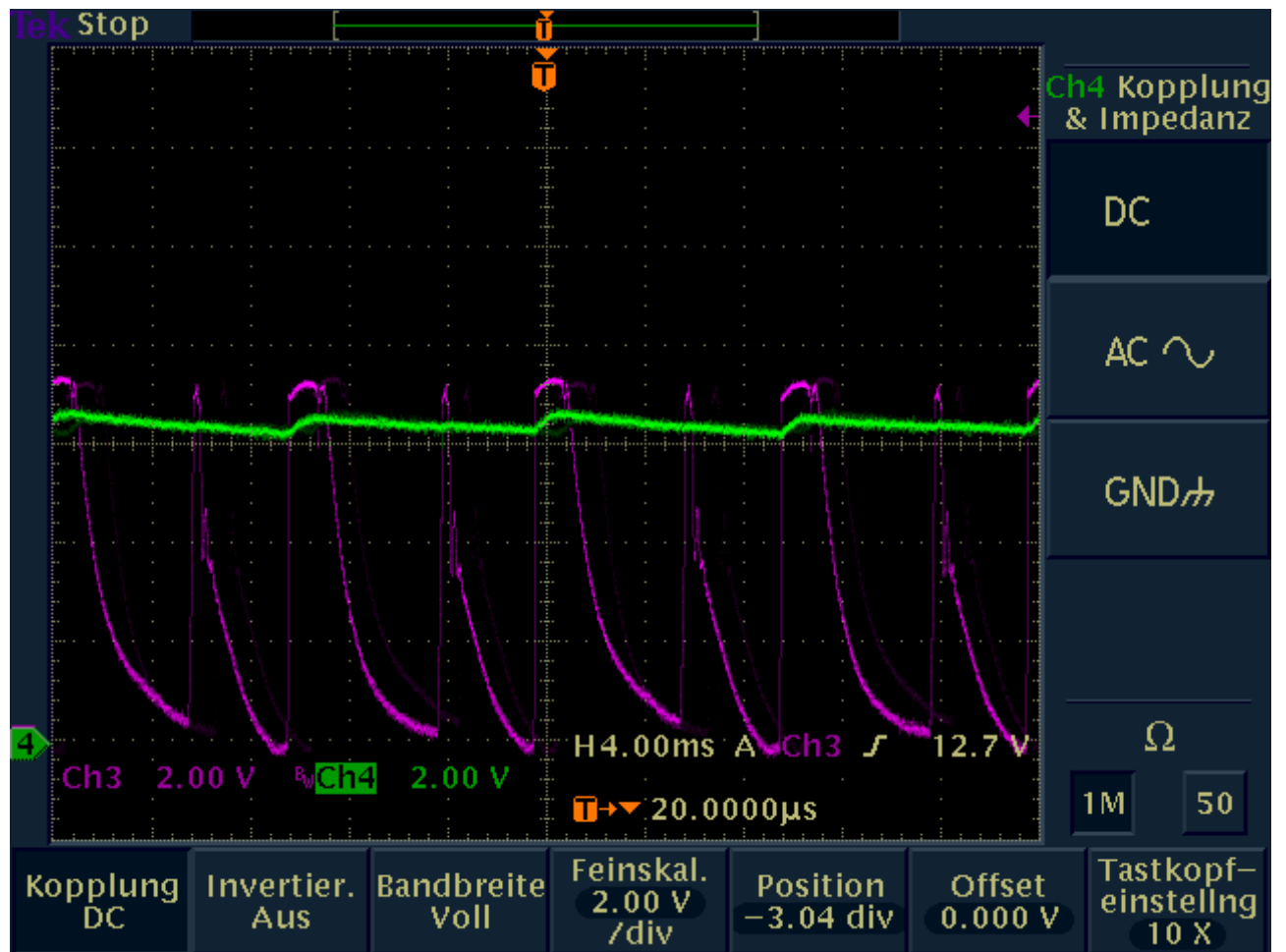


Bild13:



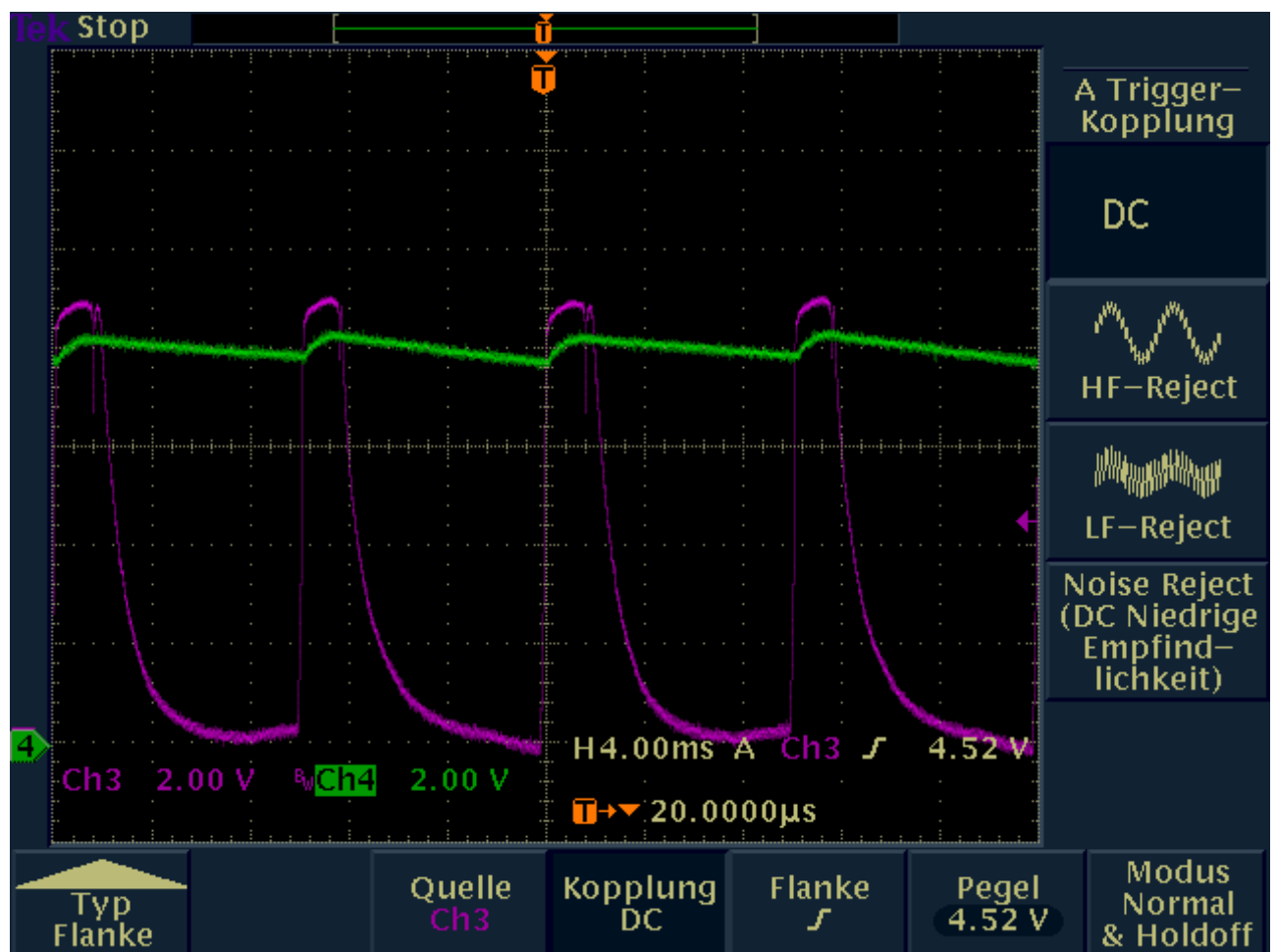
3.9.4.2 Dimmwert 128

Bild15:



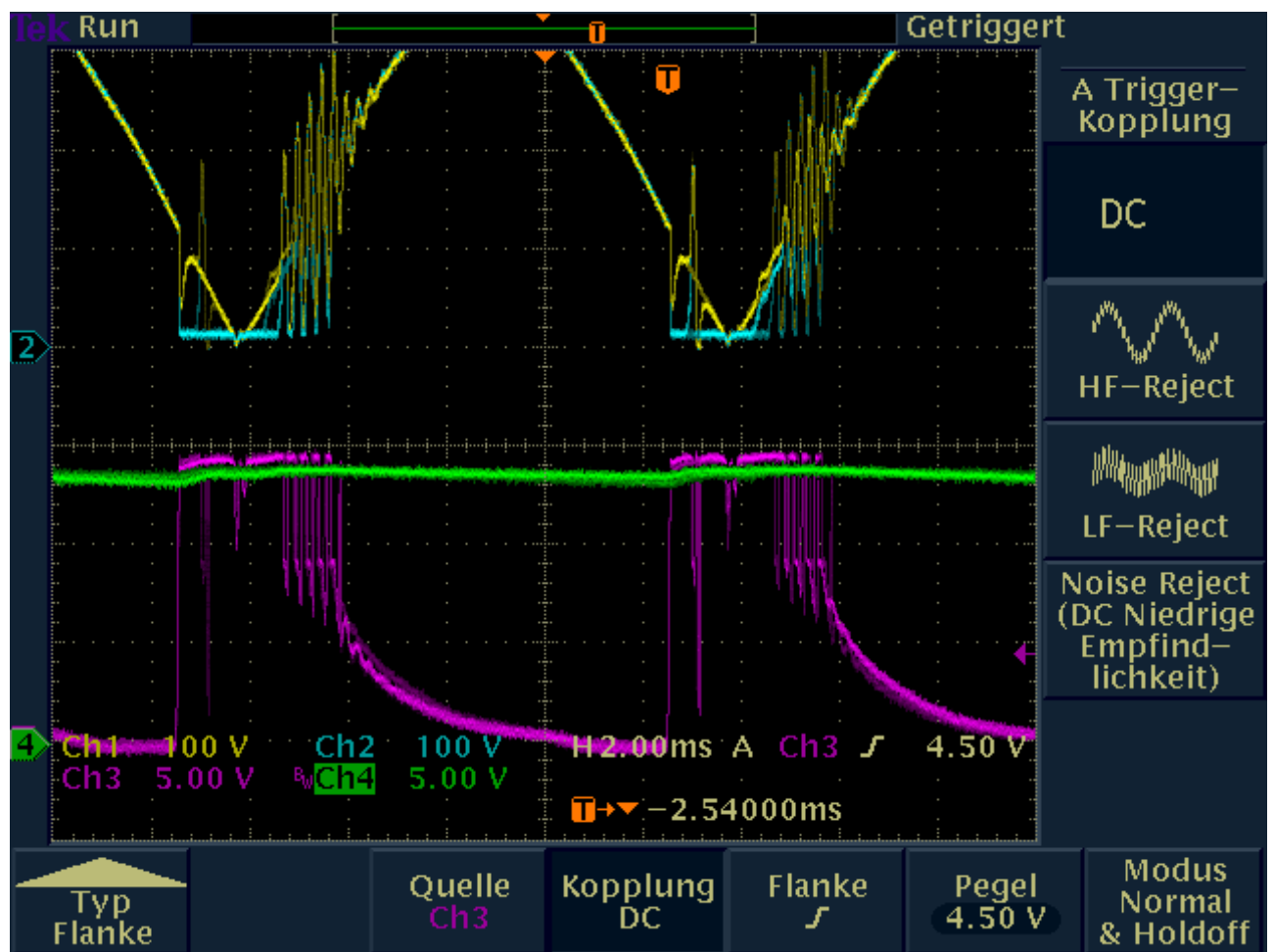
3.9.4.3 Dimmwert 255

Bild16:



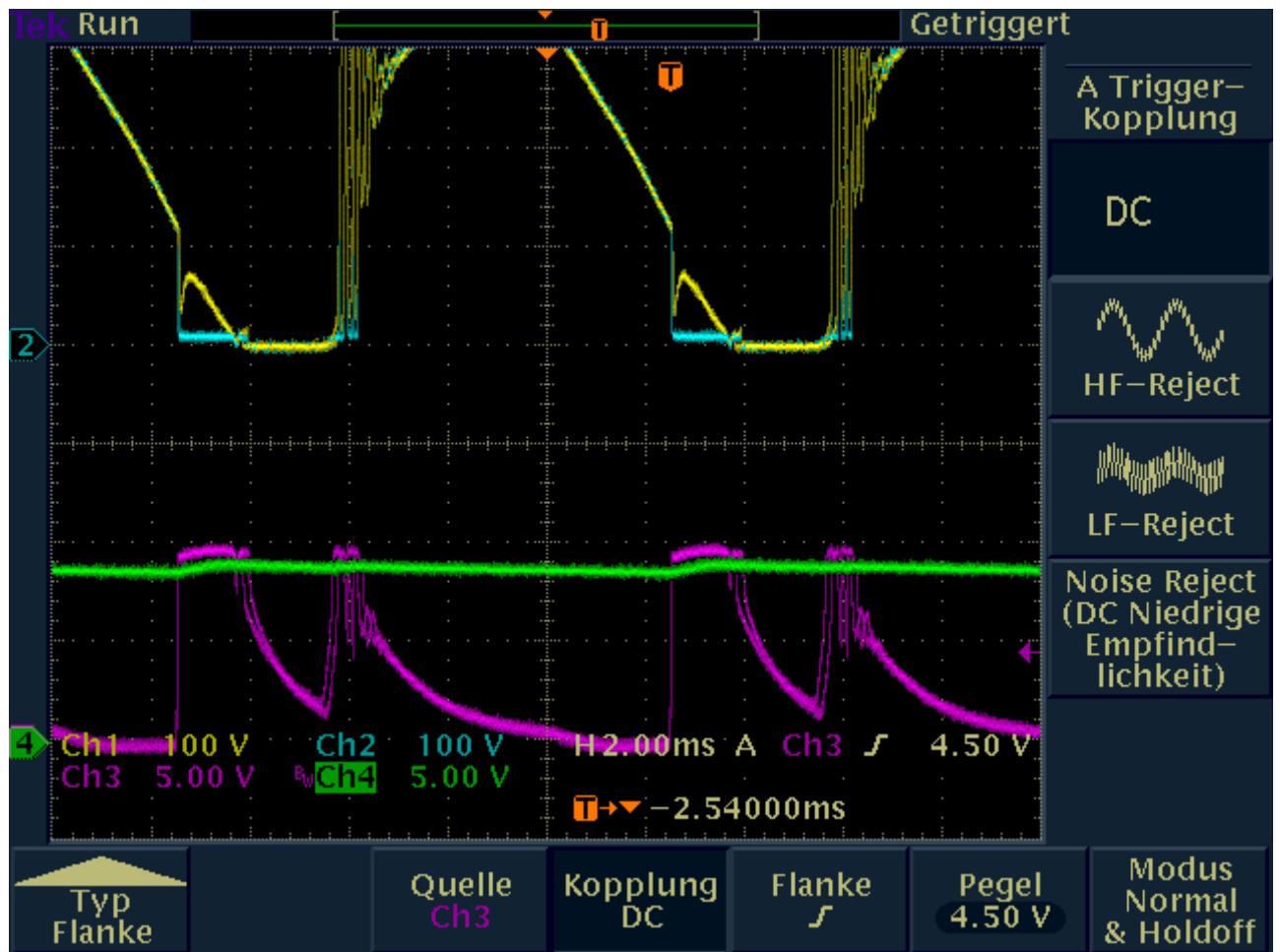
3.9.4.4 Dimmwert 0

Bild17



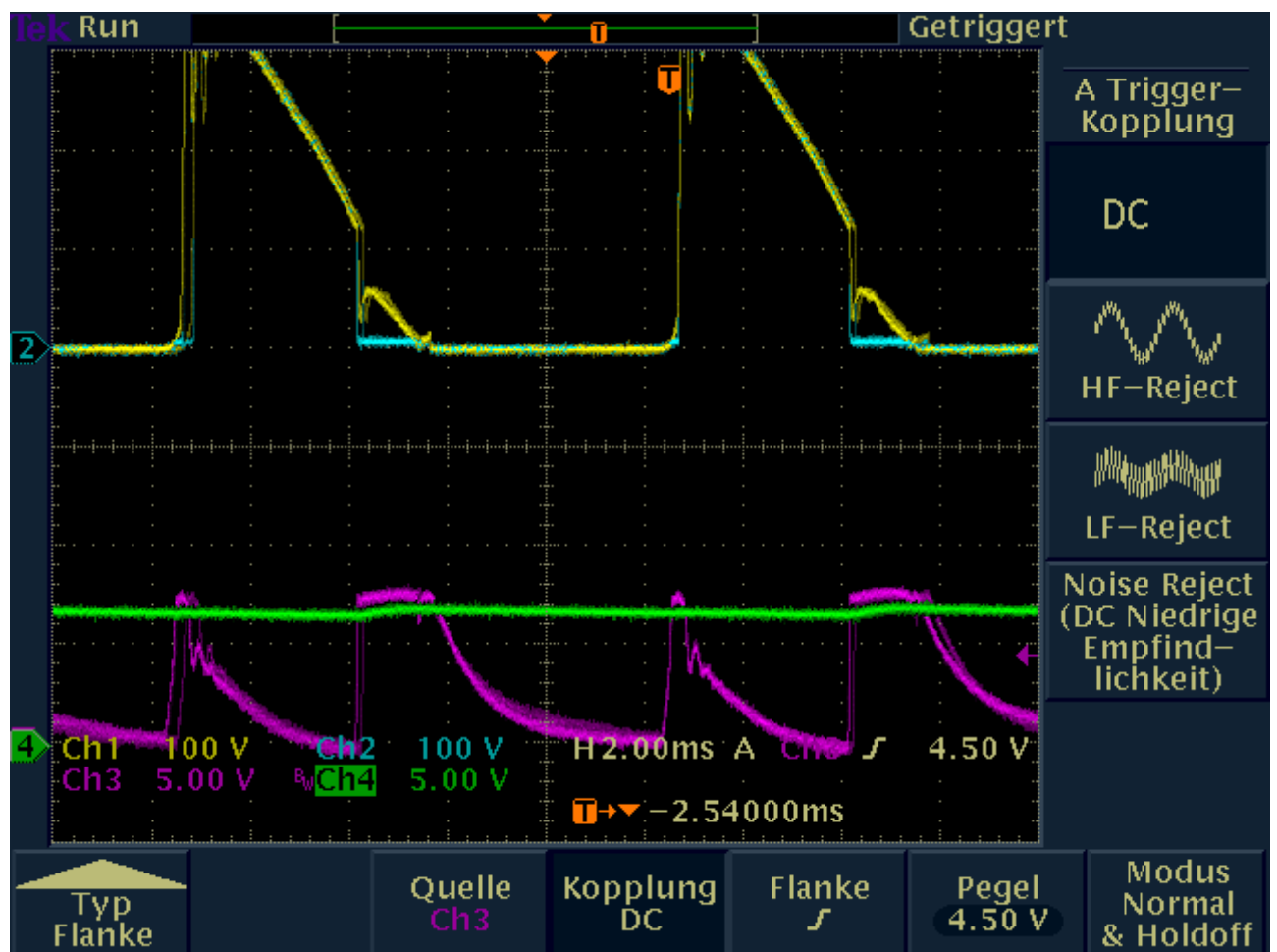
3.9.4.5 Dimmwert 3

Bild18:



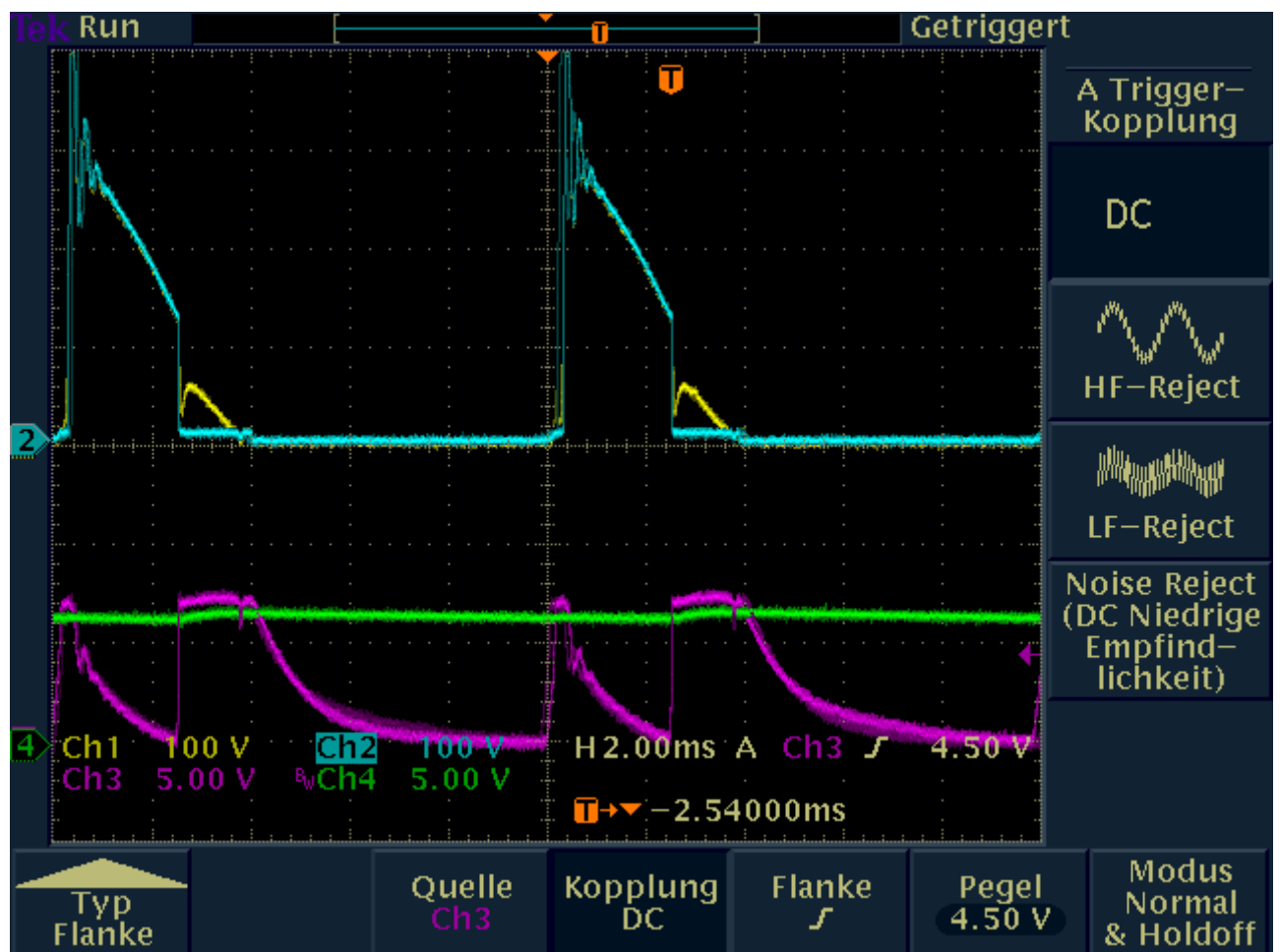
3.9.4.6 Dimmwert 128

Bild19:



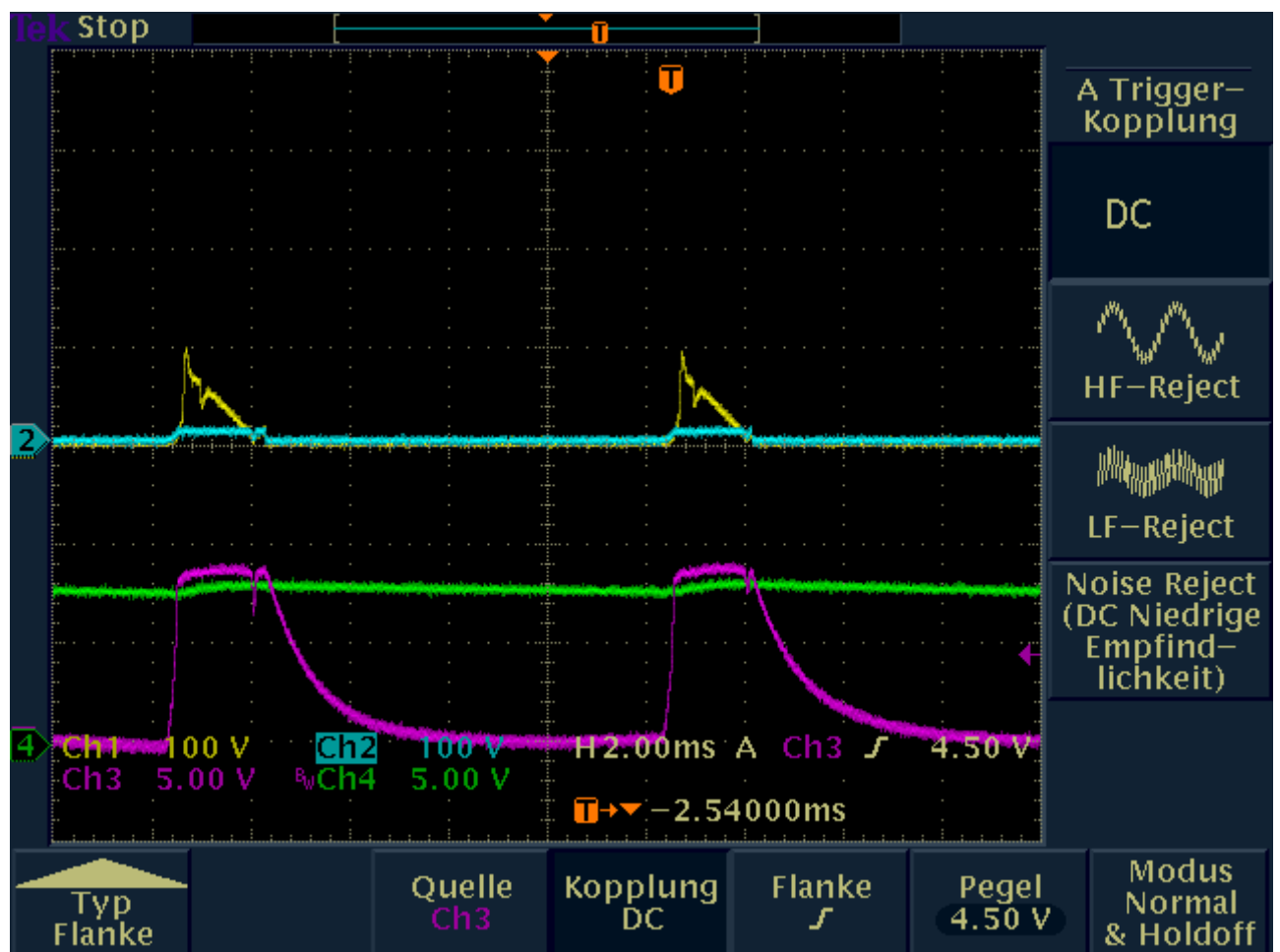
3.9.4.7 Dimmwert 178

Bild20:



3.9.4.8 Dimmwert 255

Bild21:



3.9.4.9 Dimmwert 0

Bild22:

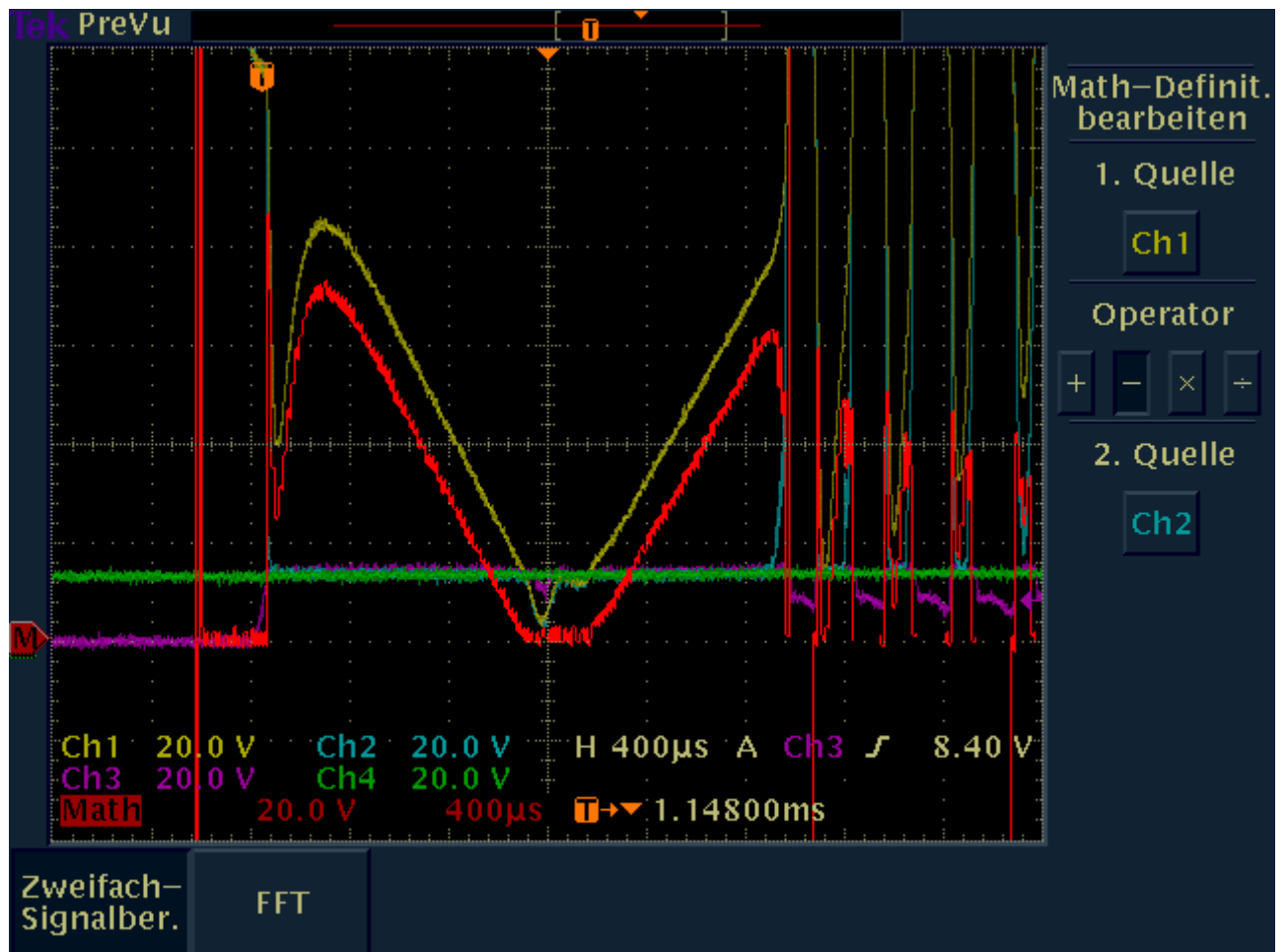
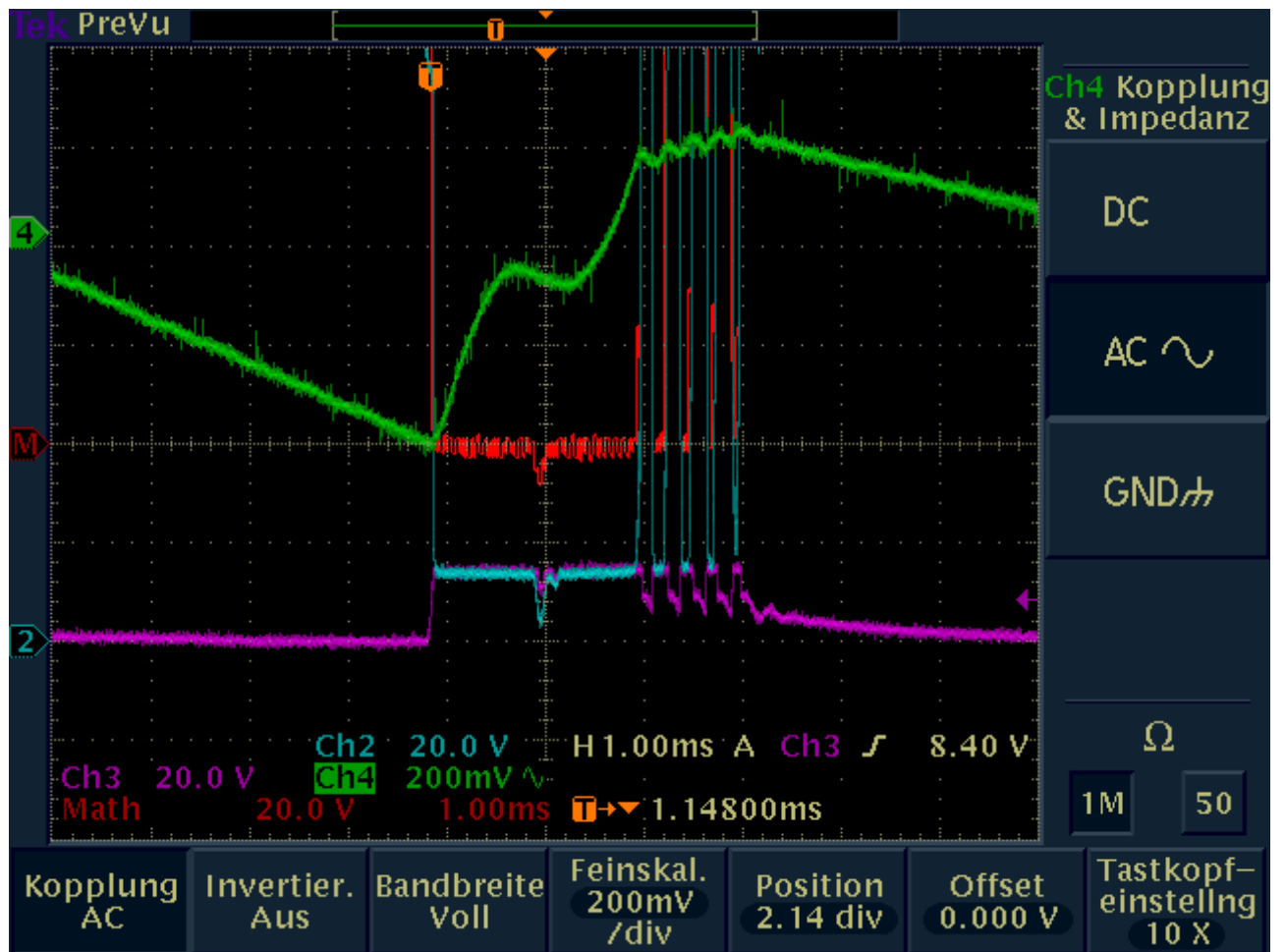


Bild23:

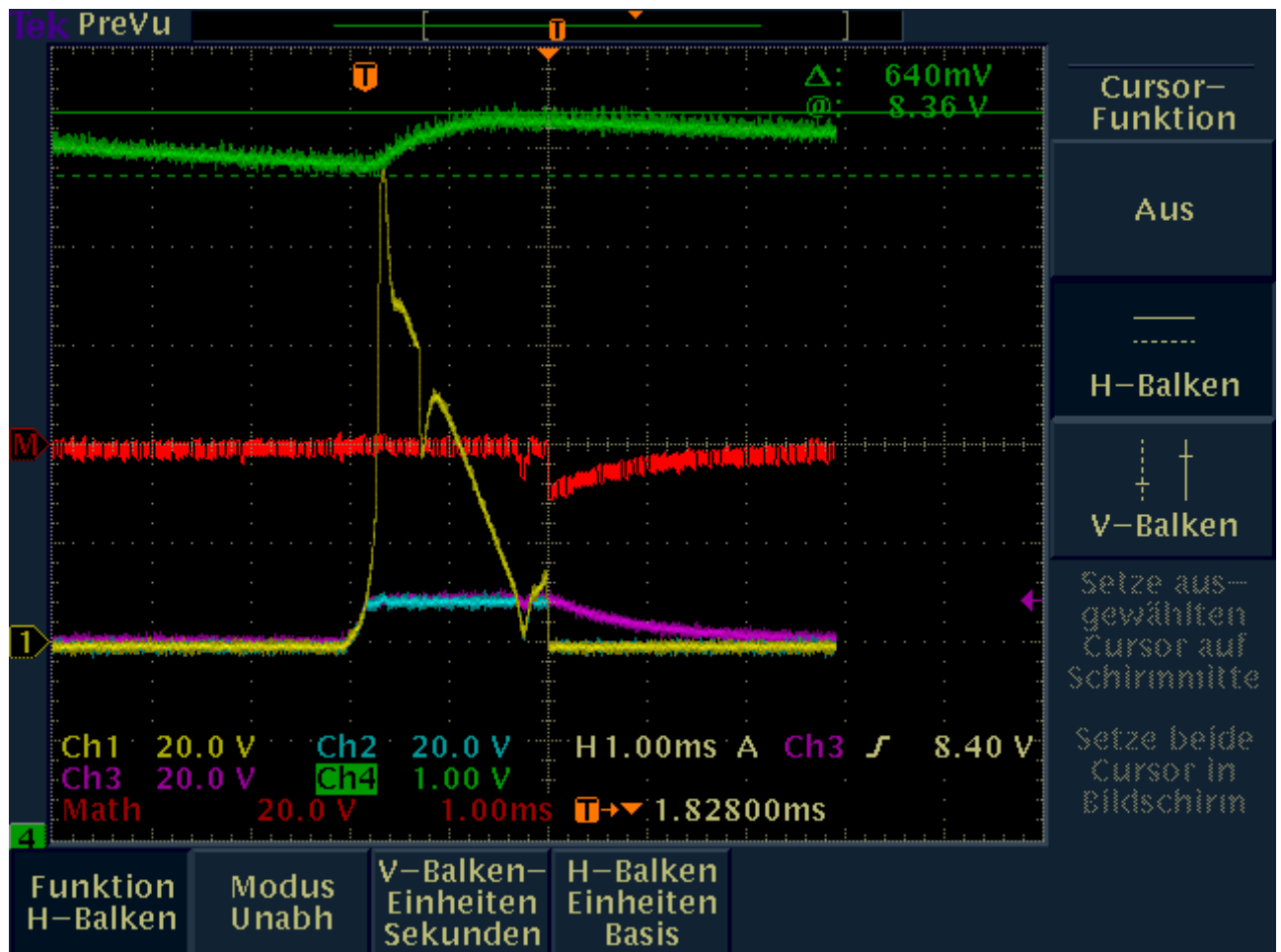


3.9.4.10 Dimmwert 255

Bild24:



Bild25:



3.10 Sonstiges

3.10.1 Leiterbahndicken

Bei einem maximalen Strom von 2A einer Kupferauflage von 35 μm wird eine Leiterbahn mit einer Dicke von 0.8mm um 10°C erwärmt.

Hier wurden 2.2mm gewählt, womit man auf der sicheren Seite ist. Ausserdem können die Leiterbahnen noch verzinkt werden.

70 μm und zusätzlich den Toplayer sind bei 16A (Relaiplatine nötig, nicht aber bei 2A).

Quelle:

http://www.mikrocontroller.net/attachment/12765/FED_Kap06_Strombelastung.pdf

<http://www.multipcb.de/ger/sites/pool/index.html?/ger/sites/leiterplatte/strombelastbarkeit.html>

3.10.2 Bestückungsdruck

Achtung: für den Bestückungsdruck müssen die folgenden Layer verwendet werden:

- 21 tplace
- 25 tnames
- 27 tvalues
- 51 tdocu