



case modding & model cars
die Kühlung der DWARF
G-APD Kamera - FACT

Ehemaliges
HEGRA CT3
auf der Insel
La Palma

wird zu DWARF
werden



Inhalt



- ◆ Was kühlen wir?
 - ◆ Warum kühlen?
 - Arbeitspunkt
 - ◆ Wie kühlen wir?
-
- ◆ die Kamera FACT
 - ◆ Temp.-abhängigkeiten der Photodetektoren
 - ◆ Peltier Elemente
-
- ◆ Zusammenfassung



Inhalt



- ◆ Was kühlen wir?
 - ◆ Warum kühlen?
 - Arbeitspunkt
 - ◆ Wie kühlen wir?
-
- ◆ die Kamera FACT
 - ◆ Temp.-abhängigkeiten der Photodetektoren
 - ◆ Peltier Elemente
-
- ◆ Zusammenfassung

FACT die DWARF Kamera

- ◆ Modul 0:
 - 36 Pixel á 4 SiPM
 - 90 x 90 mm
- ◆ Heizleistung:
 - 8 W --> PreAmps
 - 2 W --> SiPM
 - 10 W --> passiv

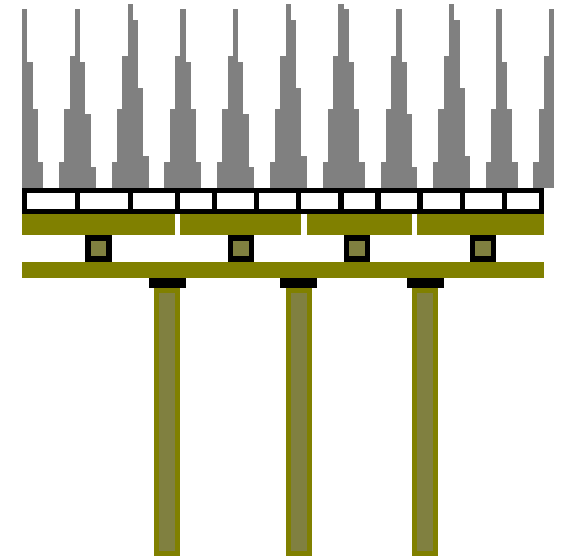
Winston Cones

SiPMs

Analog
Elektronik:

- PreAmps
- „HV“
- ...

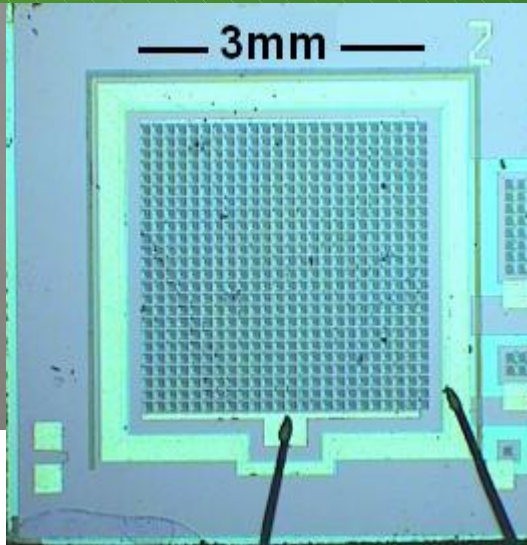
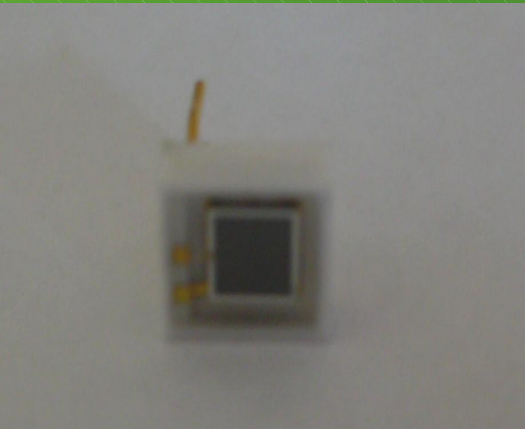
Digital Elektronik:



worst case --> 20W

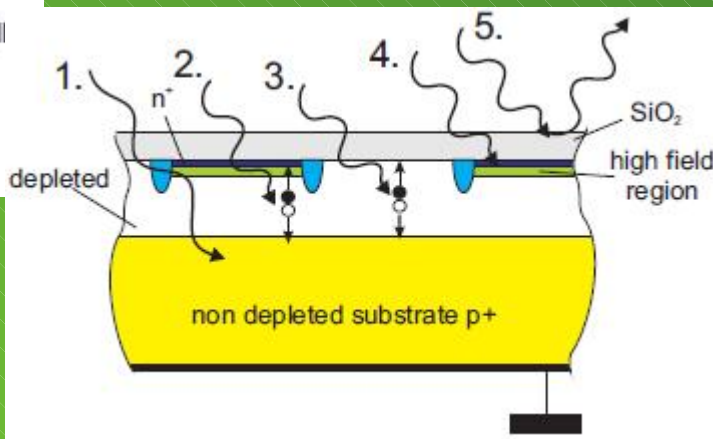
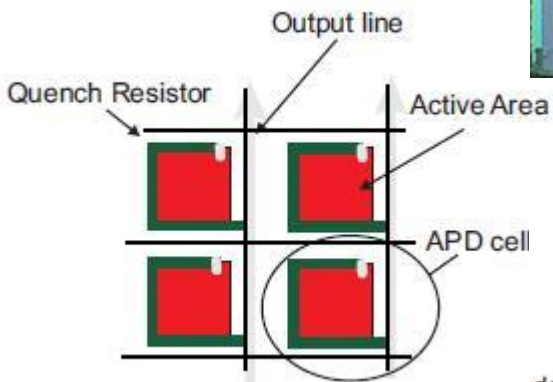
- DRS – Chips (3Ghz Samplingrate)
- FADCs
- slowcontrol

Die Photodetektoren MPPC von HAMAMATSU

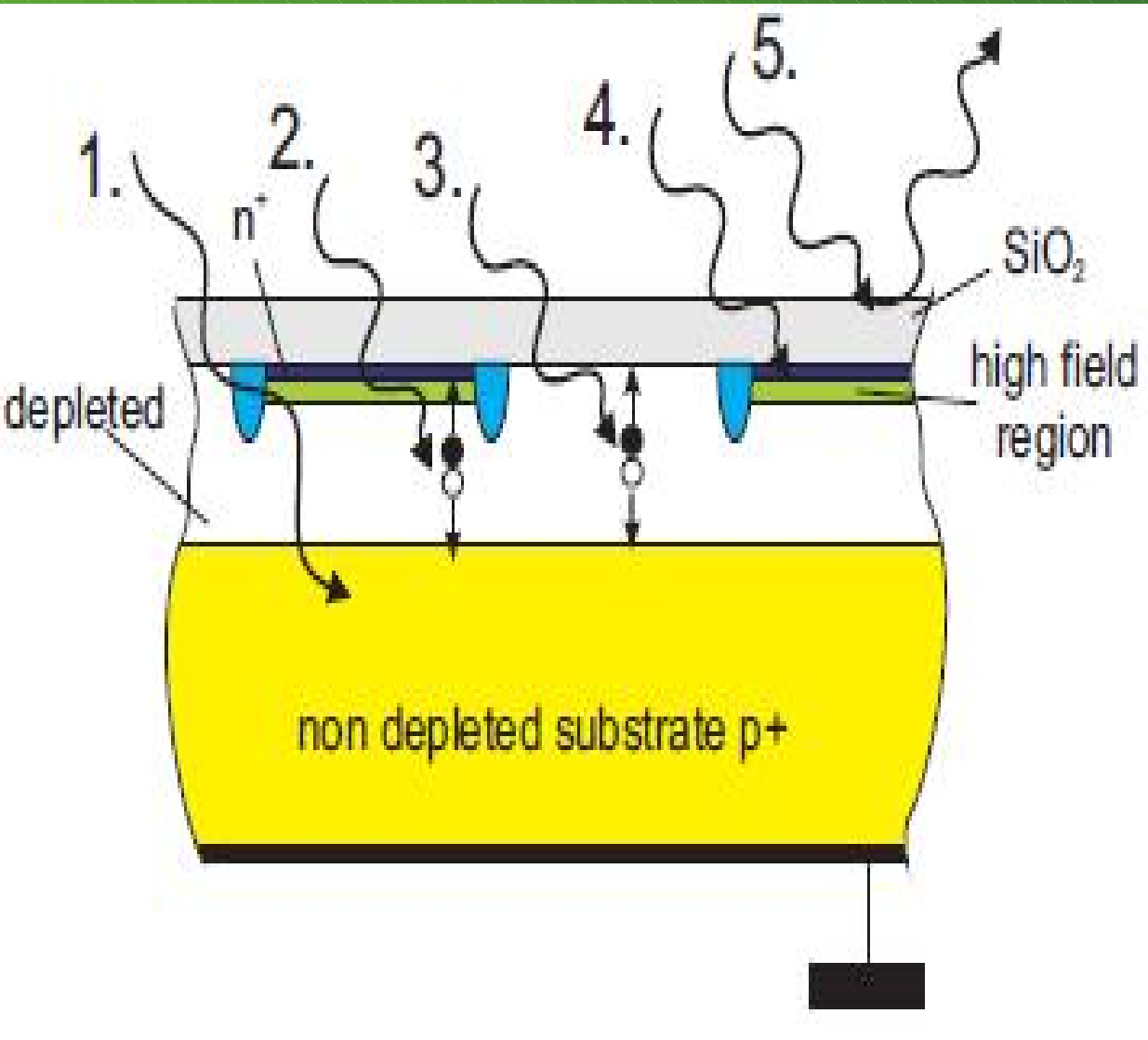


- ◆ Geigermodus
Avalanche
PhotoDioden

- 3x3mm
- 3600 Zellen á 50x50 μ
- $V_{bias} \approx 70V$
- Gain $\approx 10^6$
- PDE $\approx 50\%$ @ peak
PDE = QE \cdot A_{eff} \cdot P_{trigg}



Die Photodetektoren MPPC von HAMAMATSU



Geigermodus
Avalanche
PhotoDioden

- 3x3mm
- 3600 Zellen á 50x50µ
- $V_{\text{bias}} \approx 70\text{V}$
- Gain $\approx 10^6$
- PDE $\approx 50\%$ @ peak

$$\text{PDE} = \text{QE} \cdot A_{\text{eff}} \cdot P_{\text{trigg}}$$



Inhalt

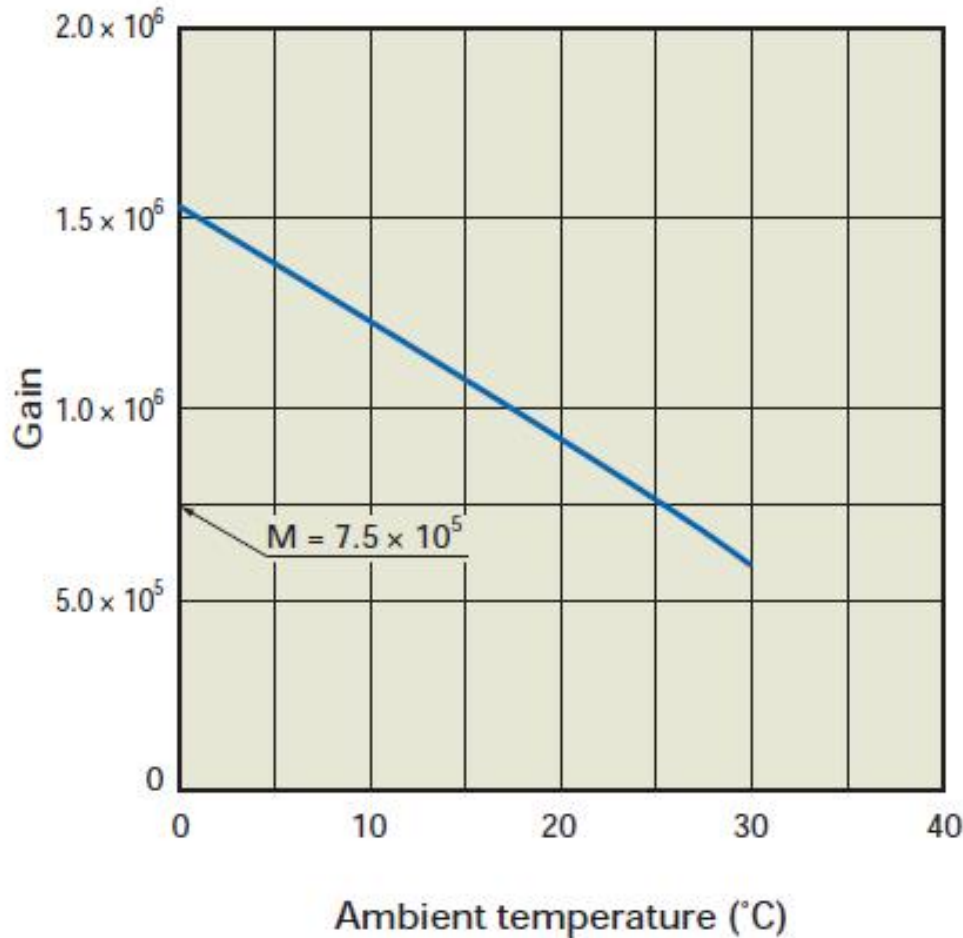


- ◆ Was kühlen wir?
 - ◆ Warum kühlen?
 - Arbeitspunkt
 - ◆ Wie kühlen wir?
-
- ◆ Zusammenfassung
-
- ◆ die Kamera FACT
 - ◆ Temp.-abhängigkeiten der Photodetektoren
 - ◆ Peltier Elemente

Temperaturabhängigkeiten

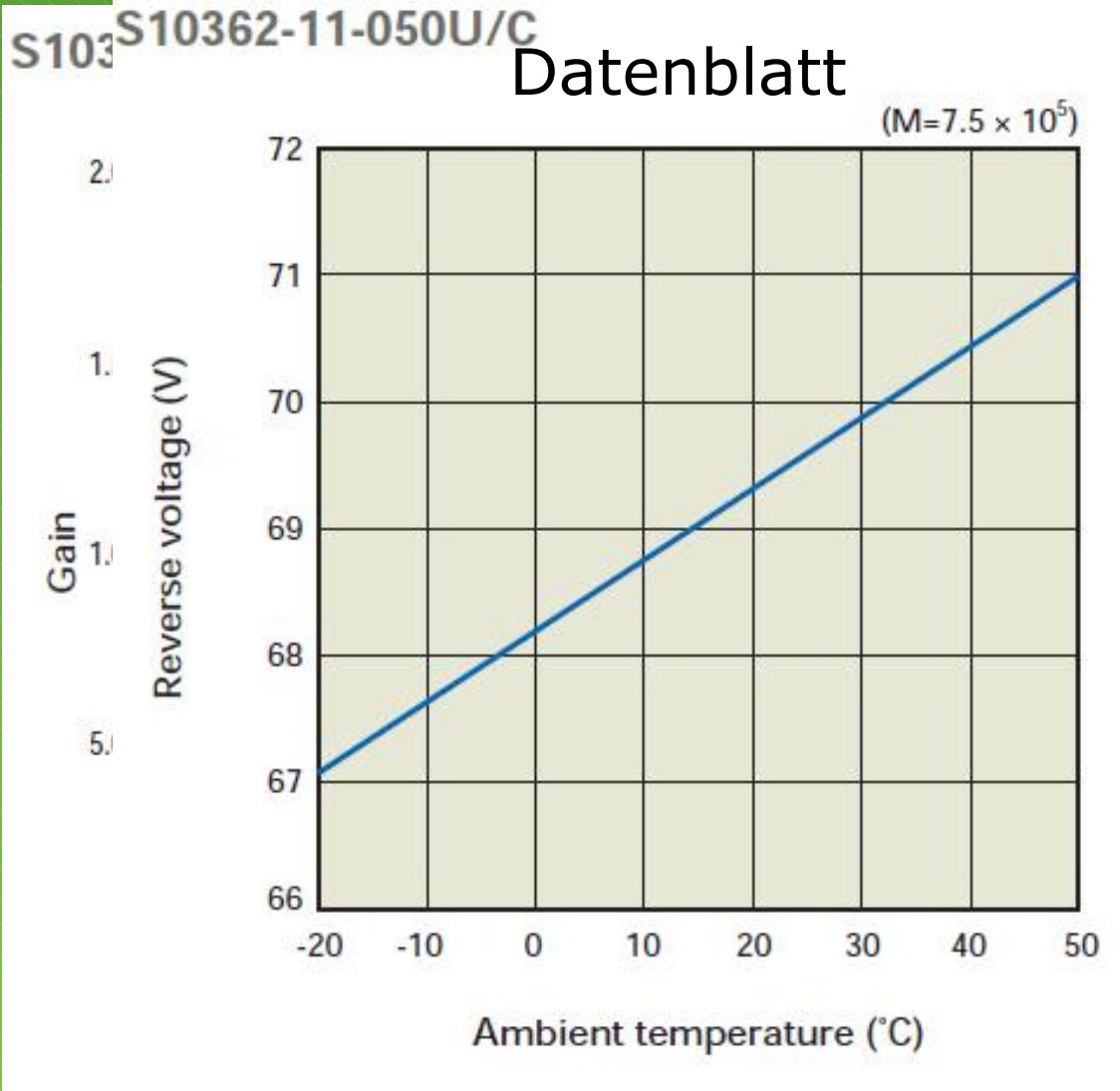
S10362-11-050U/C

Datenblatt



- ◆ Gain 3%/K

Temperatur-abhängigkeiten



- ◆ Gain 3%/K
- ◆ V_{bias} 50mV/K

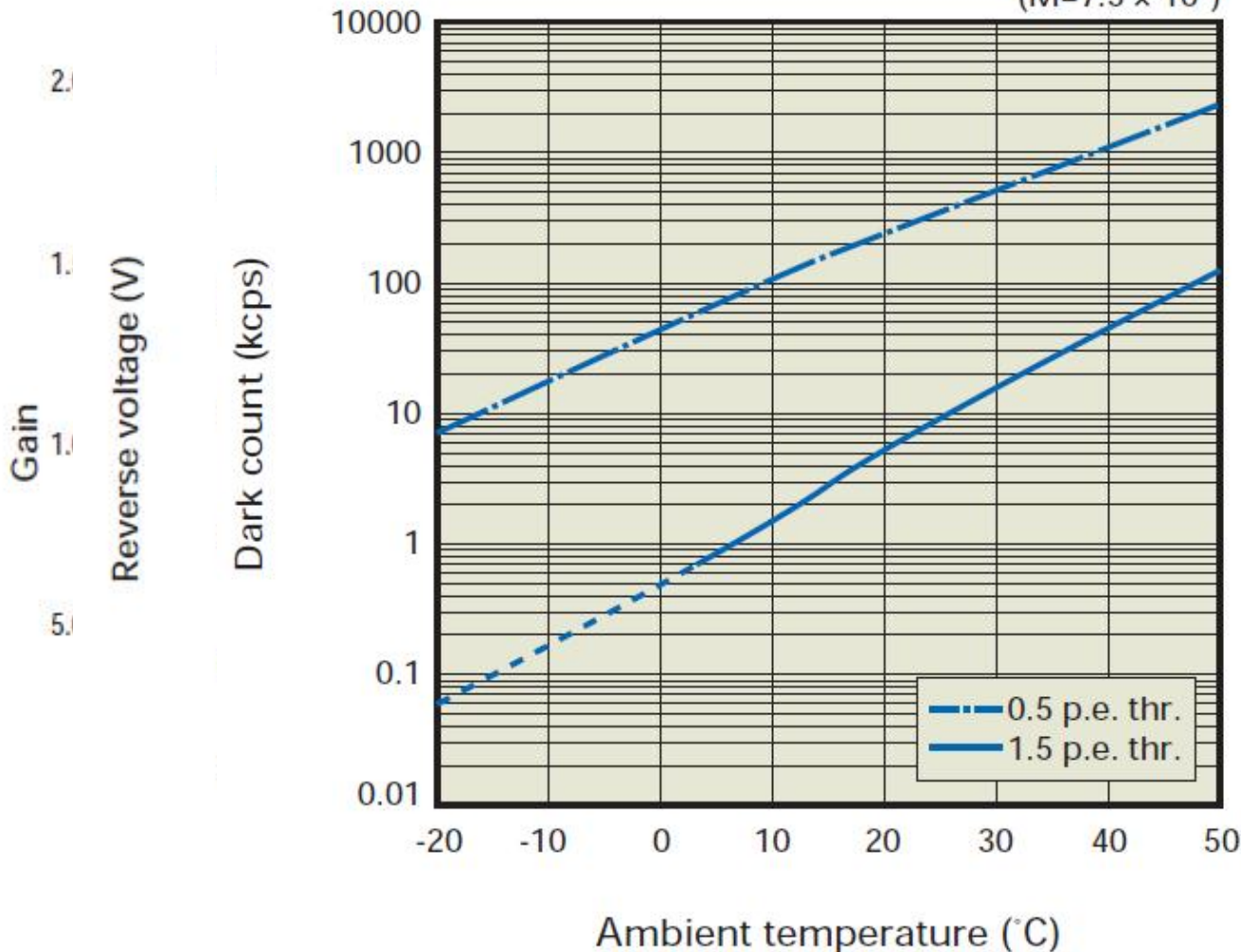
Temperaturabhängigkeiten

S10362-11-050U/C

Datenblatt

($M=7.5 \times 10^5$)

S10362



- ◆ Gain 3%/K
- ◆ V_{bias} 50mV/K
- ◆ DC-rate x10 / 20K

Arbeitspkt: 10°C auf 0.5K genau.

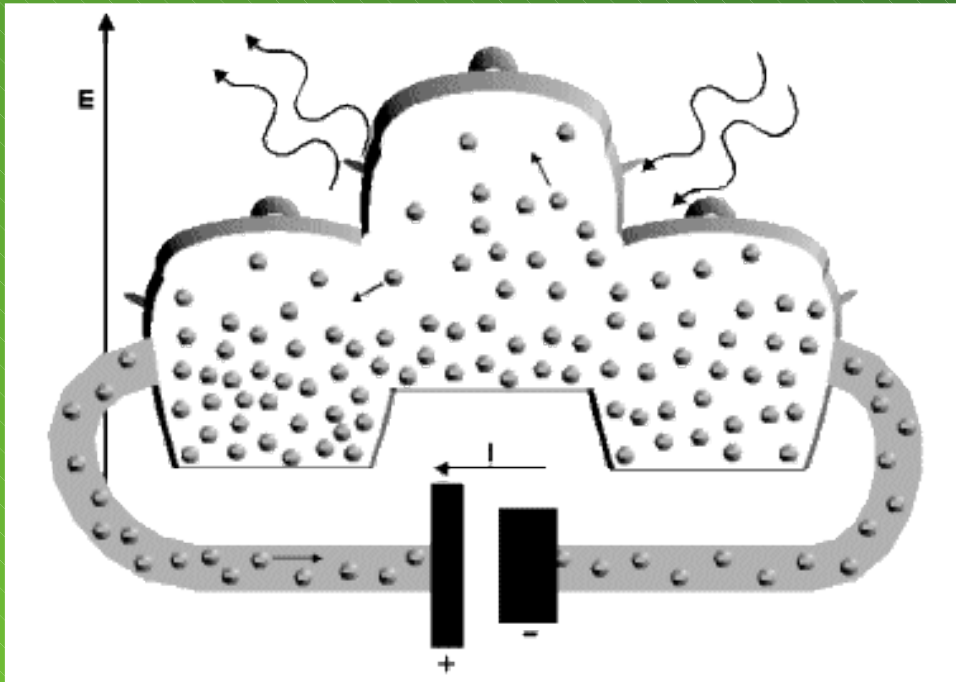


Inhalt



- ◆ Was kühlen wir?
 - ◆ Warum kühlen?
 - Arbeitspunkt
 - ◆ Wie kühlen wir?
-
- ◆ die Kamera FACT
 - ◆ Temp.-abhängigkeiten der Photodetektoren
 - ◆ Peltier Elemente
-
- ◆ Zusammenfassung

SiPM Kühlung mit Peltier Elementen



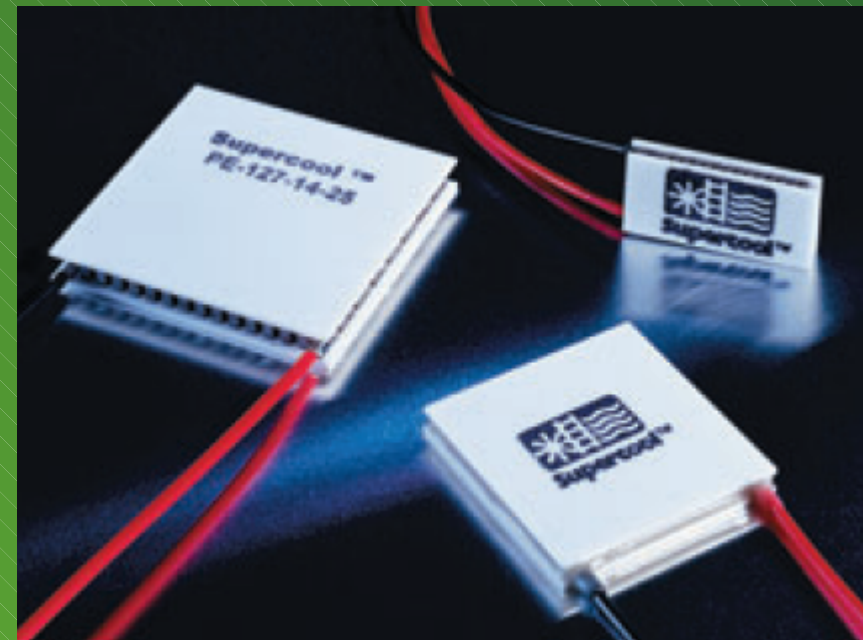
$$dQ/dt \sim I$$

$$W = U \cdot I$$

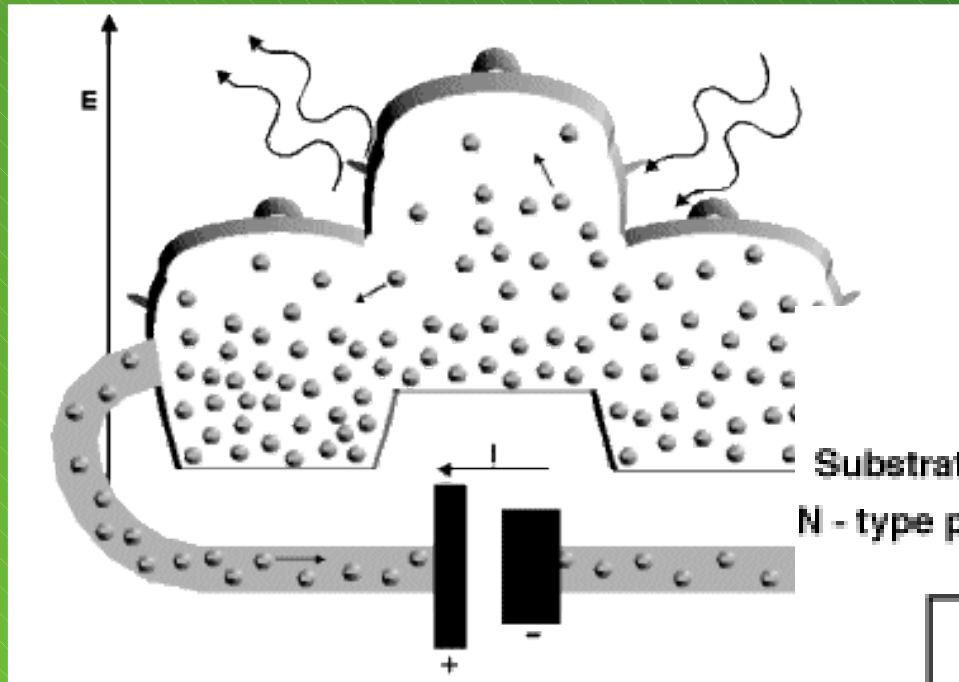
R_{el} klein

R_{th} groß

Bandabstand groß



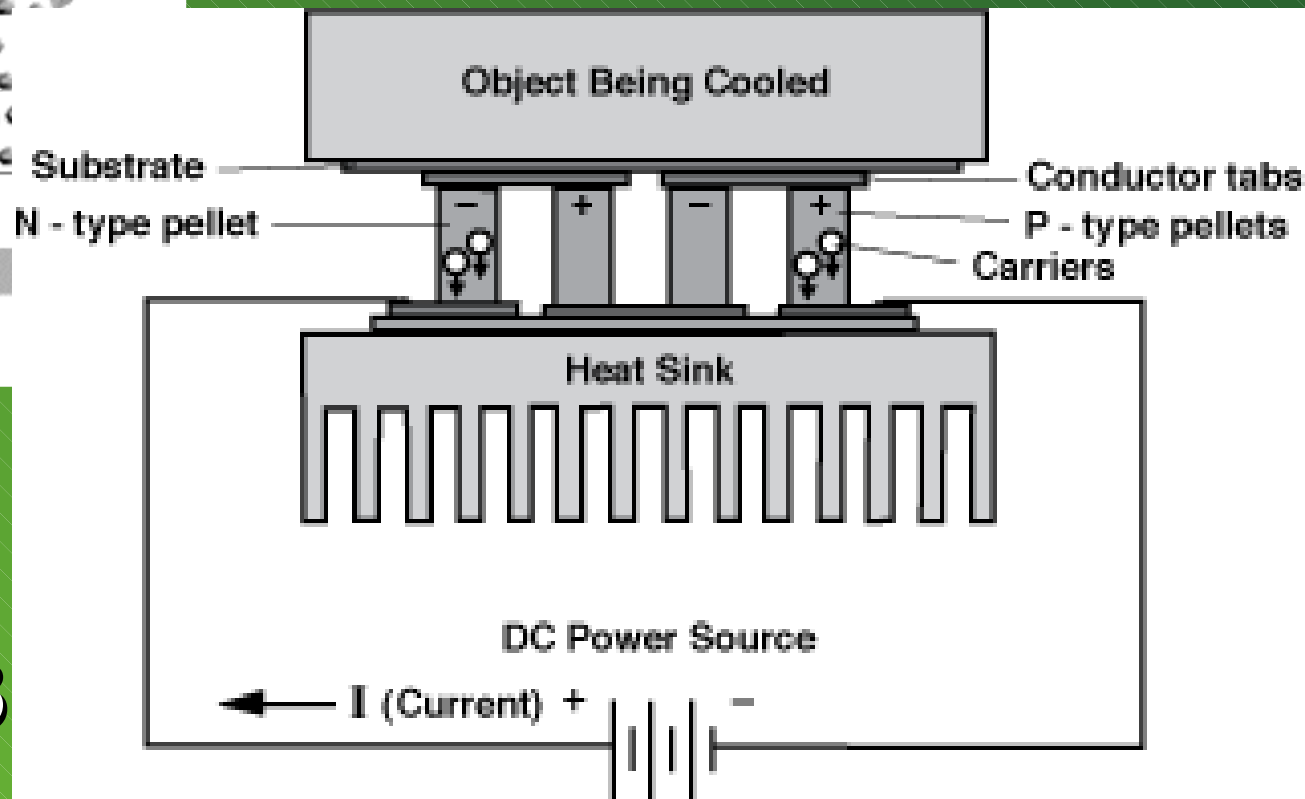
SiPM Kühlung mit Peltier Elementen



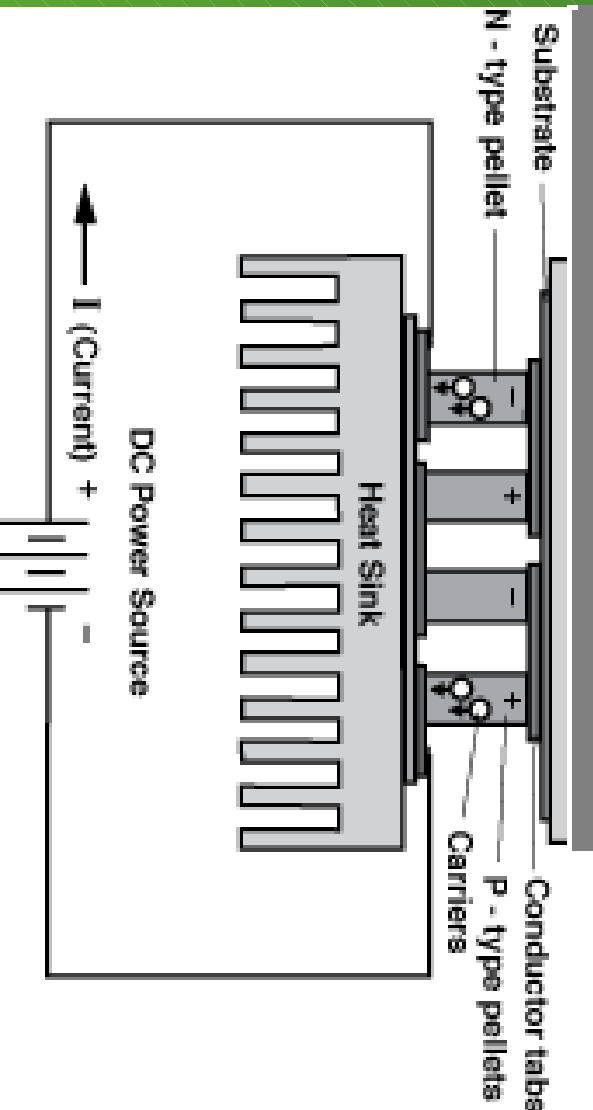
$$dQ/dt \sim I$$

$$W = U \cdot I$$

R_{el} klein
 R_{th} groß
 Bandabstand groß

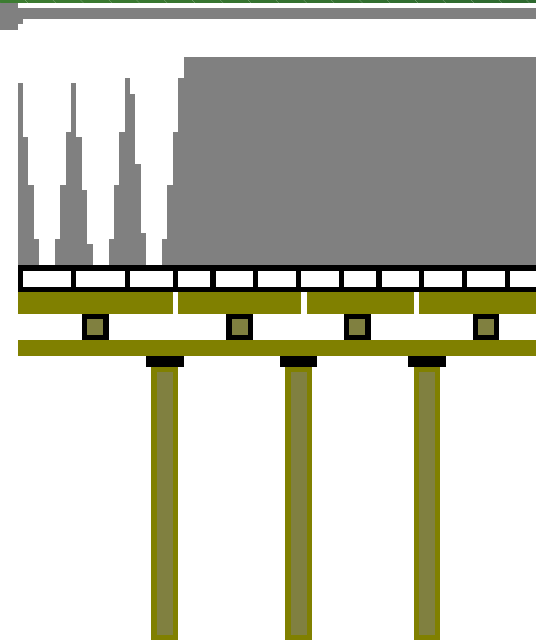


SiPM Kühlung mit Peltier Elementen



Das **ganze** Luftvolumen wird gekühlt.

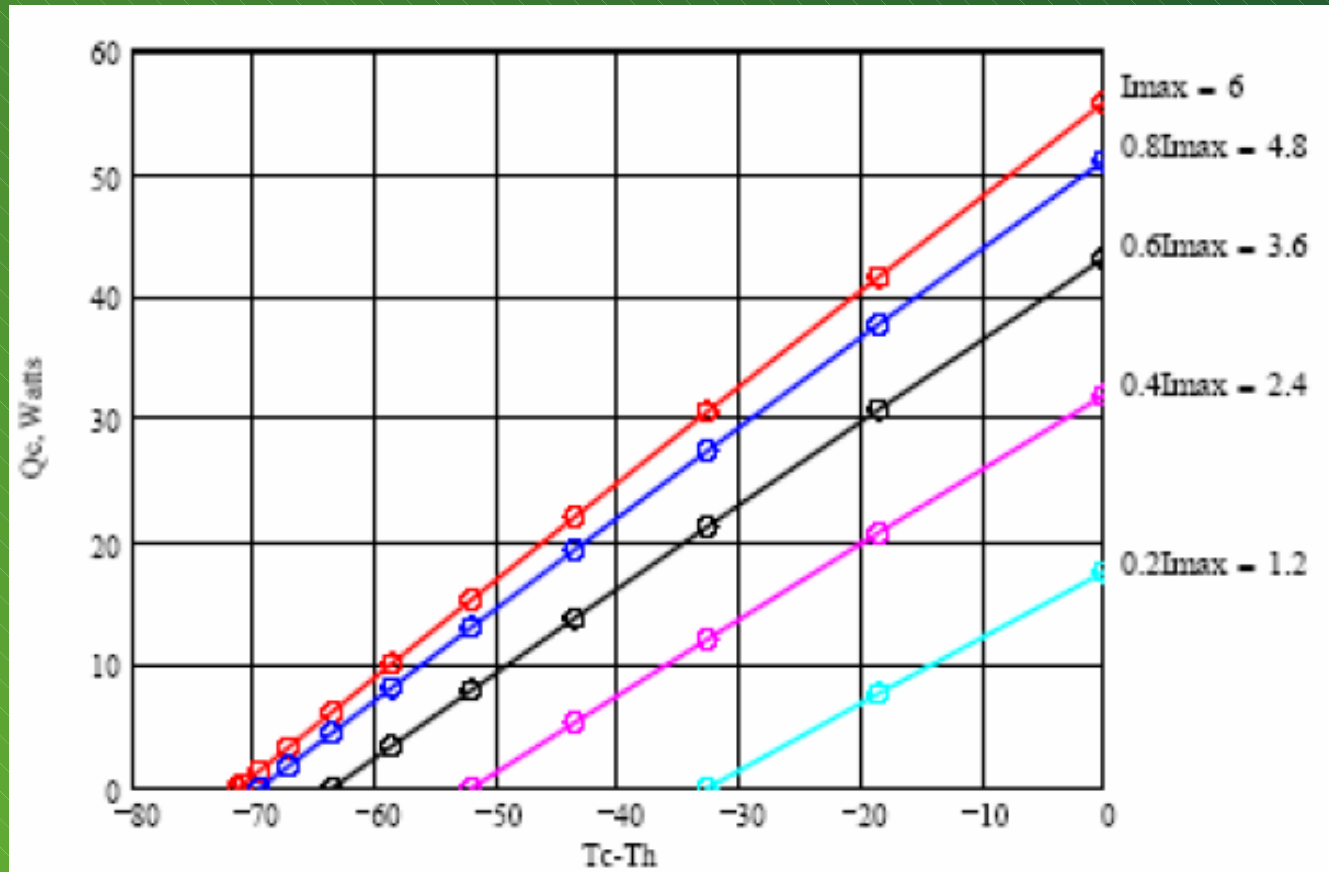
keine direkte thermische Kopplung



Klappt das denn so?

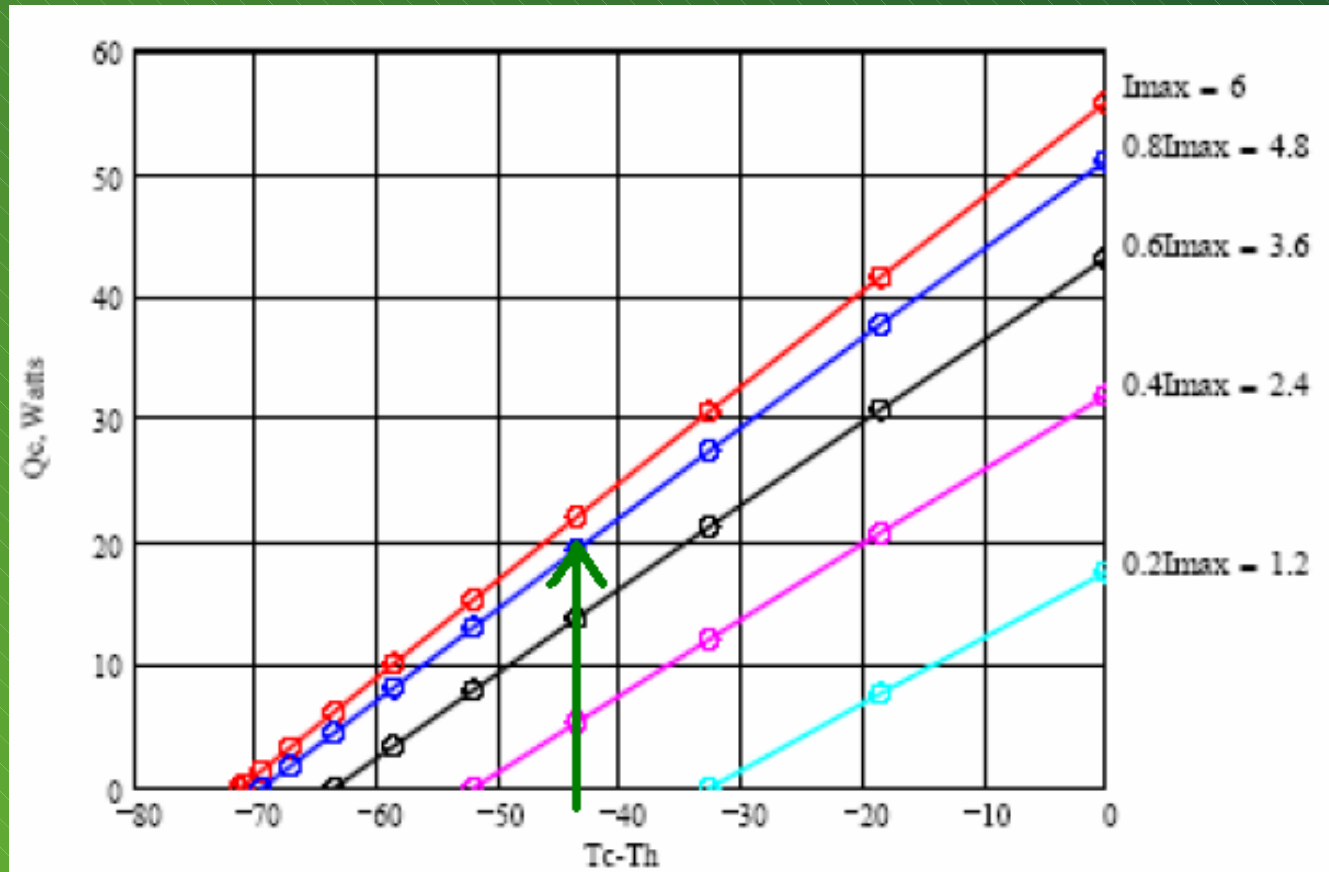
Design des Kühlsystems

- ◆ $P = 20W$
- ◆ $T_{out} \approx 25^{\circ}C$
- ◆ $T_{in} \approx 10^{\circ}C$
- ◆ $T_H \approx T_{out} + (U \cdot I + Q)R_{HS} \approx 45^{\circ}C$
- ◆ $\Delta T \rightarrow 45K$



Design des Kühlsystems

- ◆ $P_{\text{therm}} = 20\text{W}$
- ◆ $T_{\text{out}} \approx 25^\circ\text{C}$
- ◆ $T_{\text{in}} \approx 10^\circ\text{C}$
- ◆ $T_{\text{H}} \approx T_{\text{out}} + (U \cdot I + Q)R_{\text{HS}} \approx 45^\circ\text{C}$



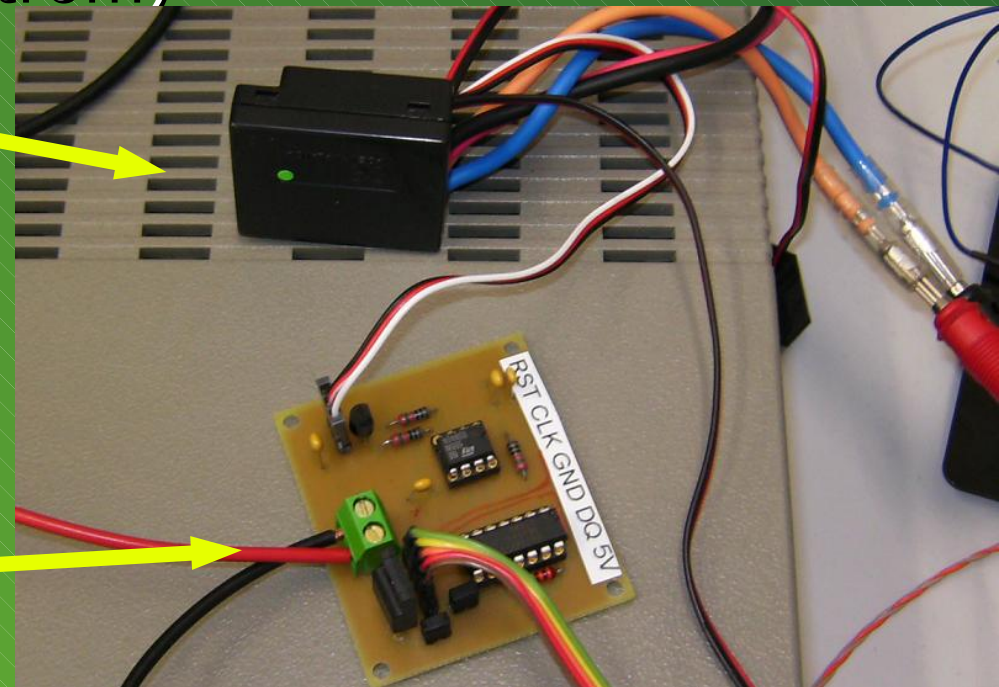
◆ $\Delta T \rightarrow 45\text{K}$

80% $I_{\text{max}} = 4.8\text{A}$

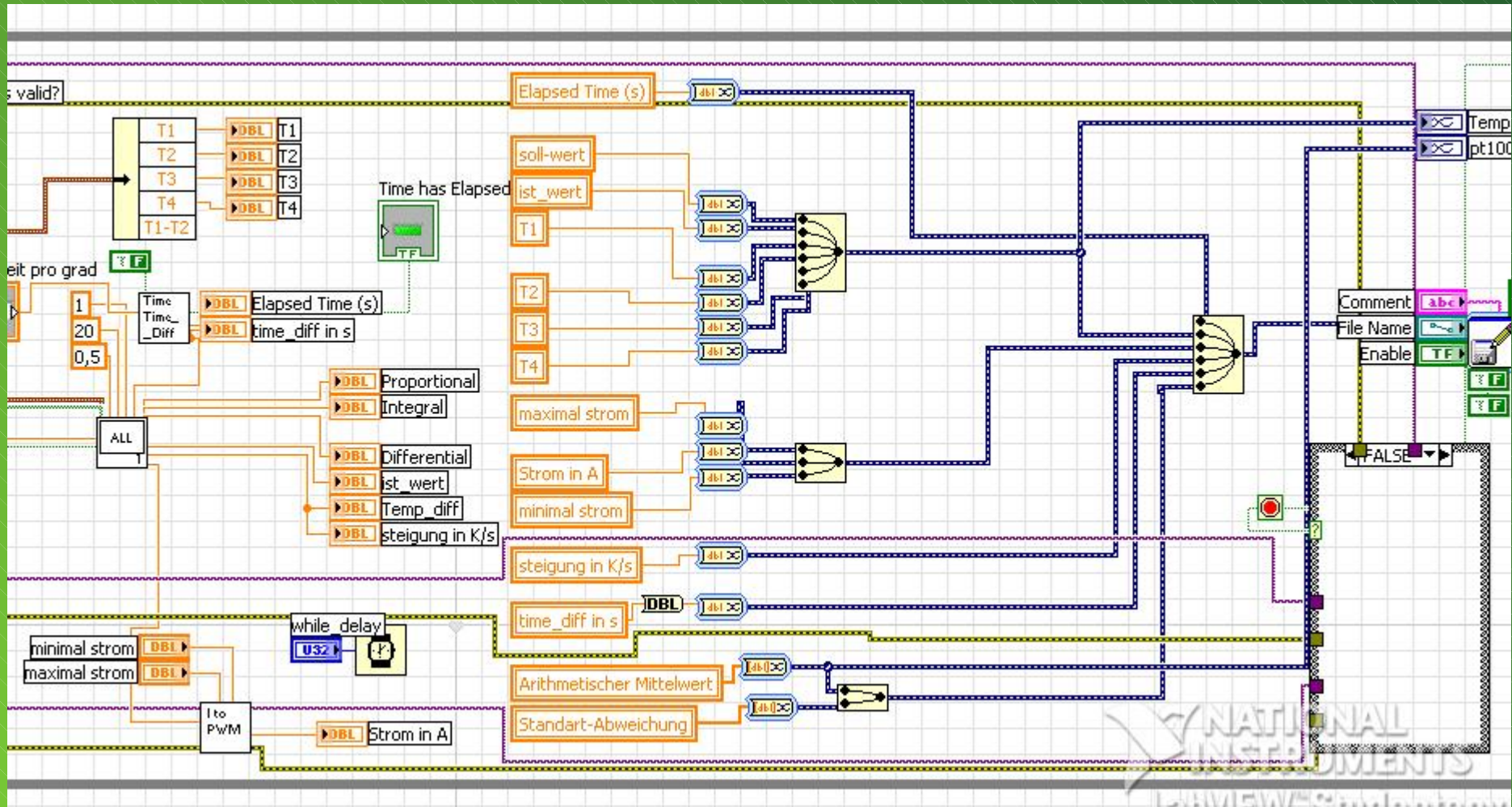
$R_{\text{el}} \approx 2.5\Omega$

Peltier Strom

- ◆ $P_{el,max} \approx 90W$ $P_{el,mean} \approx 60W$
Wohin mit den übrigen 30W?
- ◆ Problem bekannt aus dem Modellbau
 - Fahrtenregler (gepulster Strom)
 - ◆ $f = 50Hz$
 - ◆ $I = 15A$
 - ◆ Rechteckpuls
Tastverhältnis 80%
 - gesteuert durch
Pulse mit variabler
Breite (PWM)



Fahrtenregler Regelung - PID



Fahrtenregler Regelung - PID

Temp - Sensor (Pt1000)

$$u(t) = T(t) - T_s$$

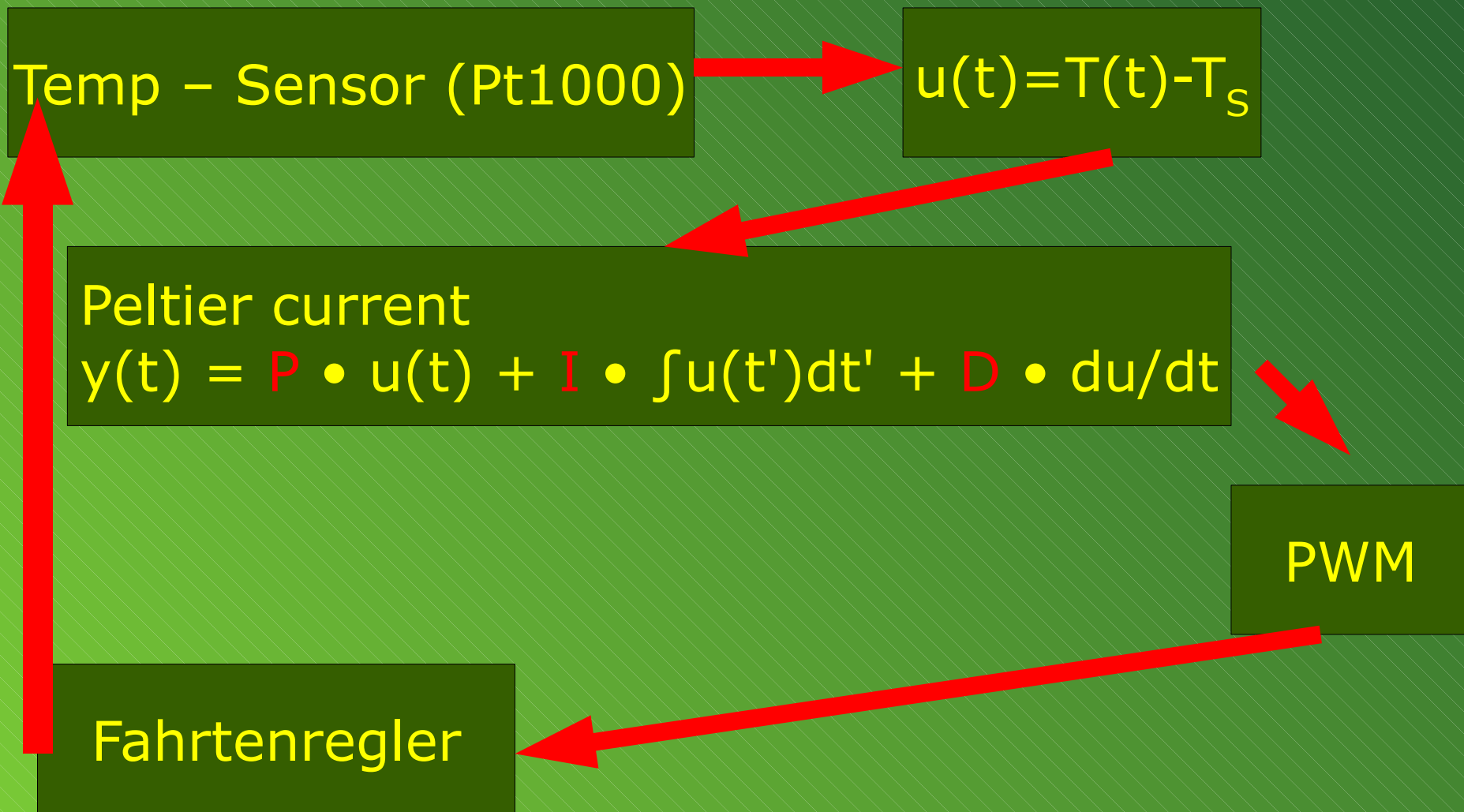
Peltier current

$$y(t) = P \cdot u(t) + I \cdot \int u(t') dt' + D \cdot du/dt$$

PWM

Fahrtenregler

Fahrtenregler Regelung - PID

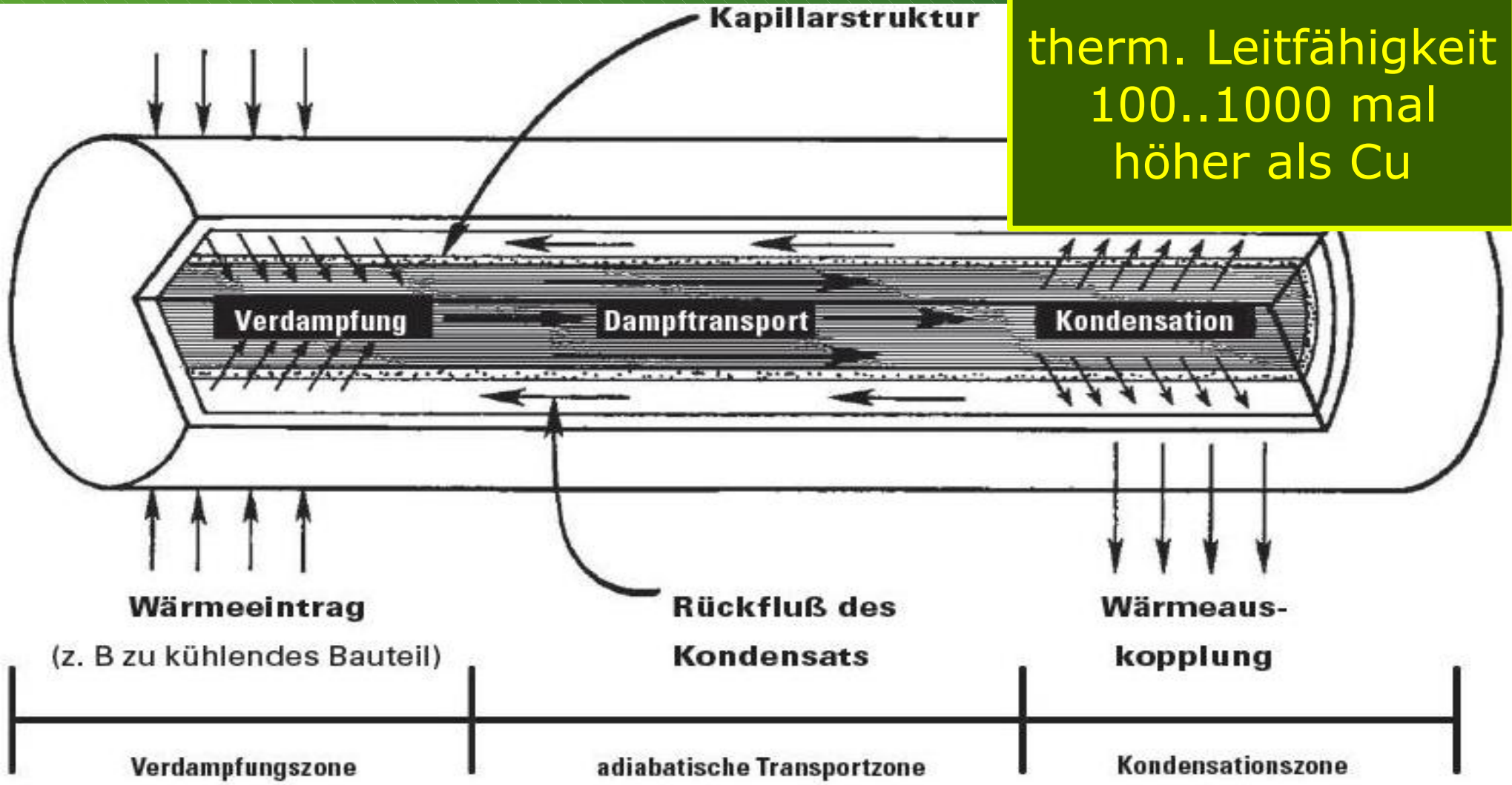


Ergebnisse

- ◆ Kameratemp $\approx 12^\circ\text{C}$ nach 7h !!
(3 Peltierelemente bei 6A benutzt)

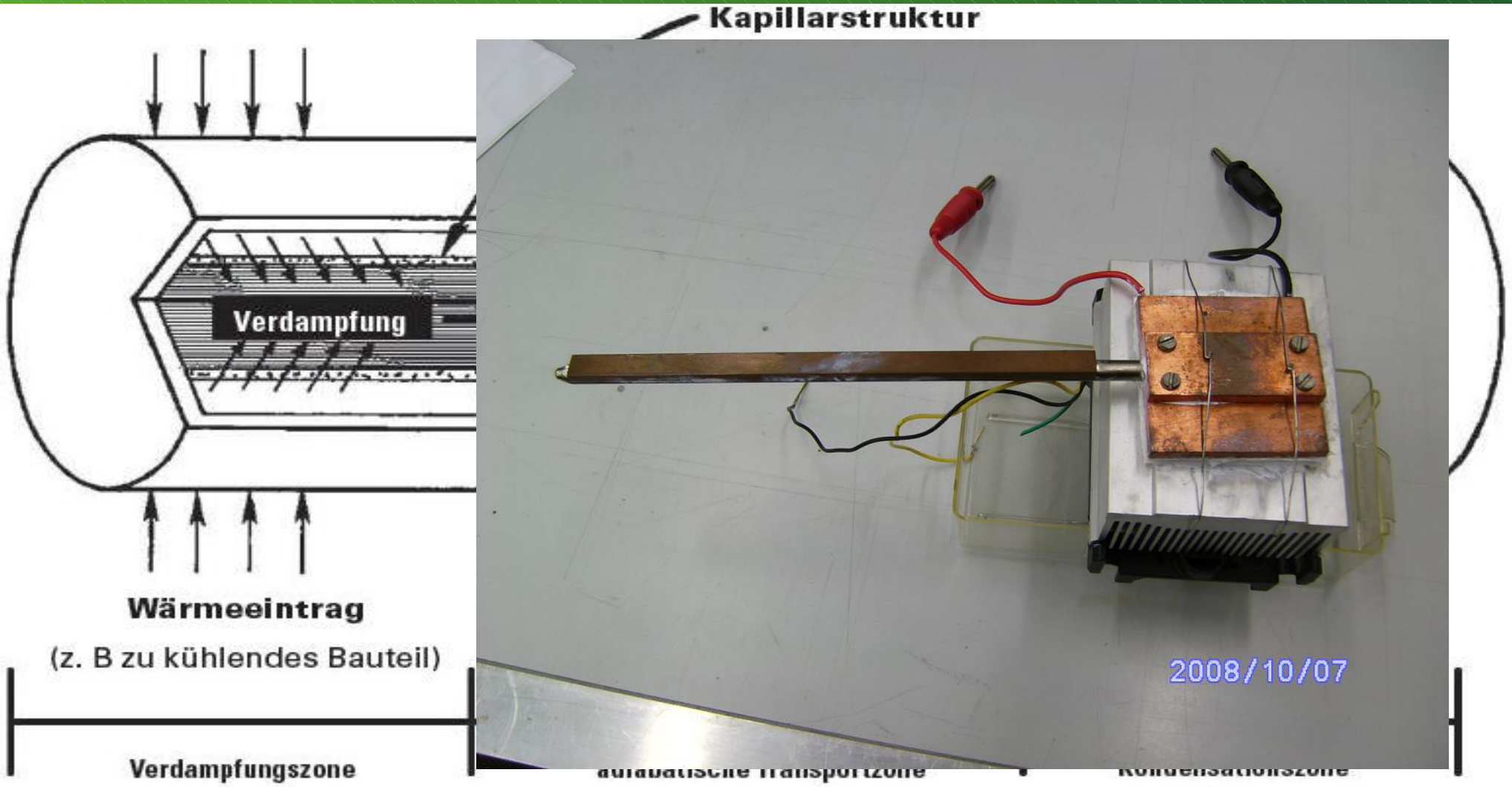
--> nicht praktikabel, das ganze Kamera-
volumen zu kühlen.
- ◆ Alternative: nur die Photodetekoren „direkt“
kühlen
 - Heatpipes
 - Kupferplatten

Heatpipe

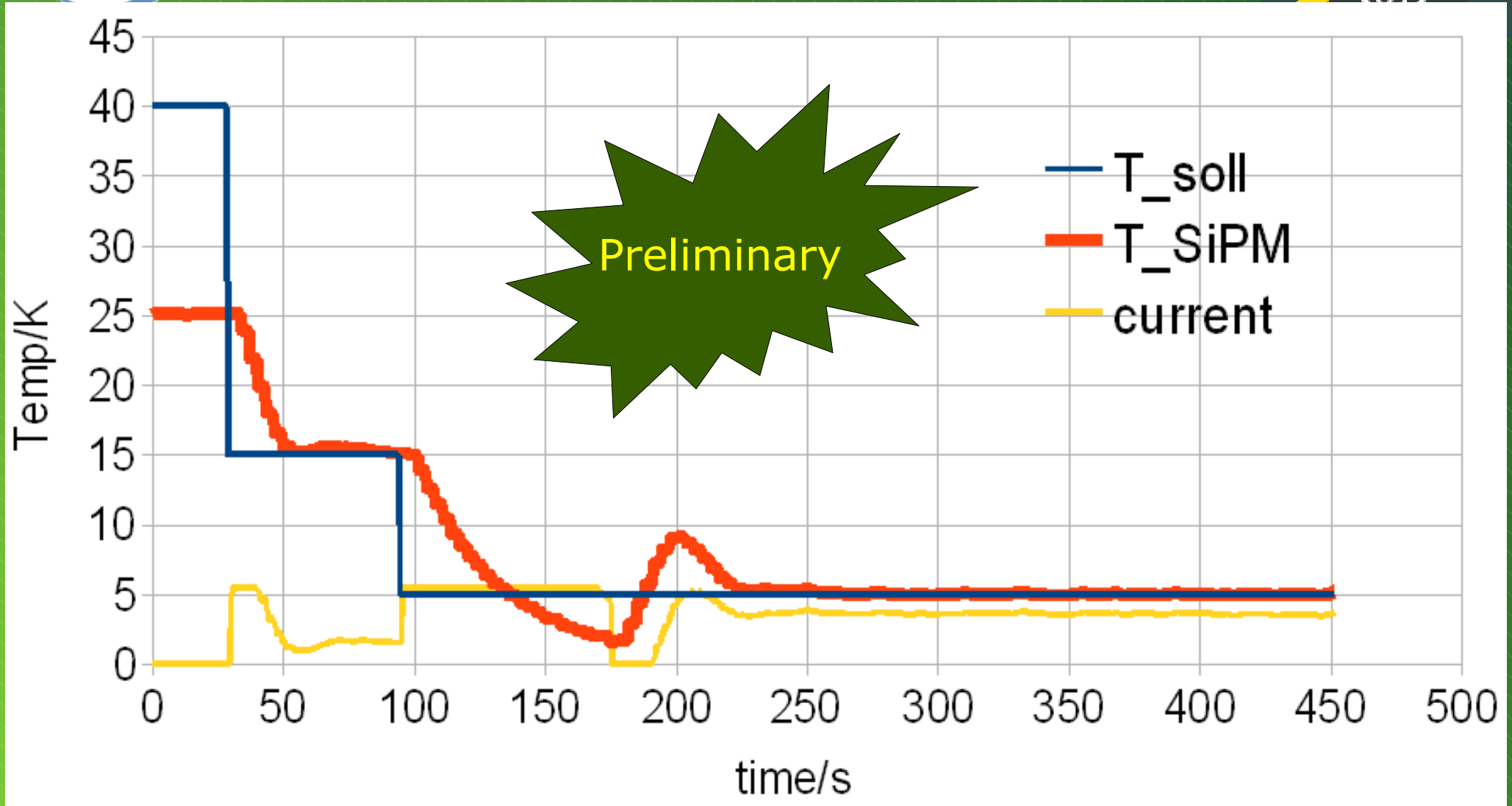


therm. Leitfähigkeit
100..1000 mal
höher als Cu

Heatpipe



5° in 200s erreicht





Akronyme



GAPD

MPPC

SIPM



Akronyme



GAPD

MPPC

SIPM

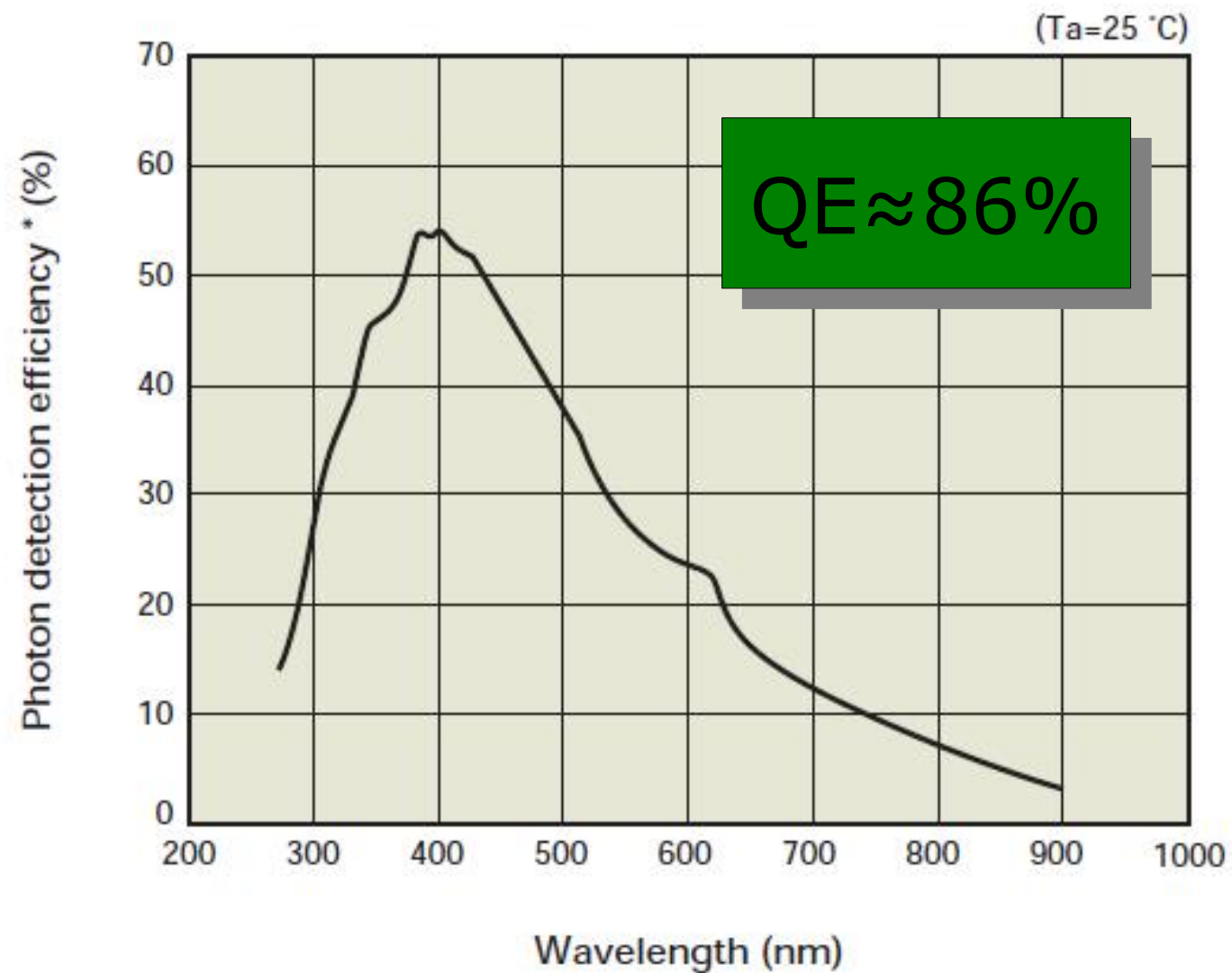
Grauenhafte **A**kronyme **P**hotonischer **D**etektoren
Machen **P**hysiker **P**ermanent **C**onfus.
Simpler **I**st **P**hoto **M**ultiplier



PDE 3x3mm MPPC

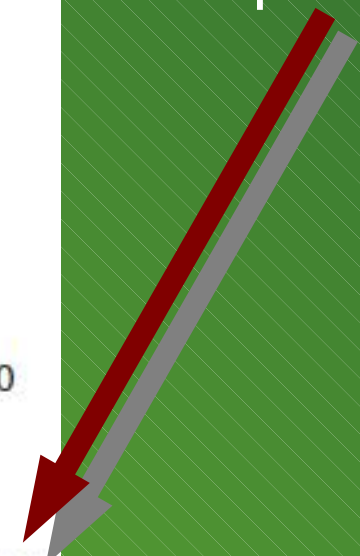


(b) S10362-33-050C

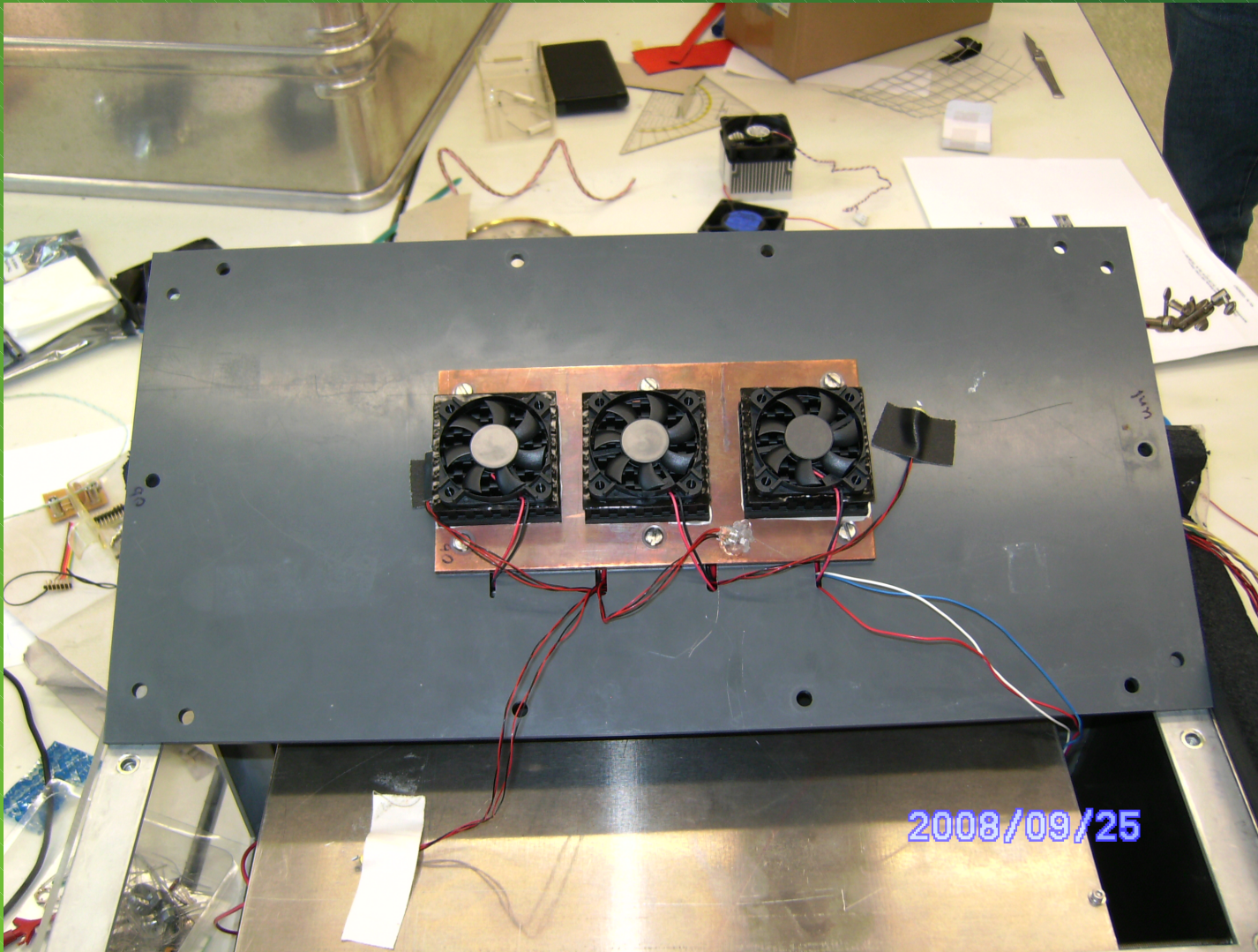


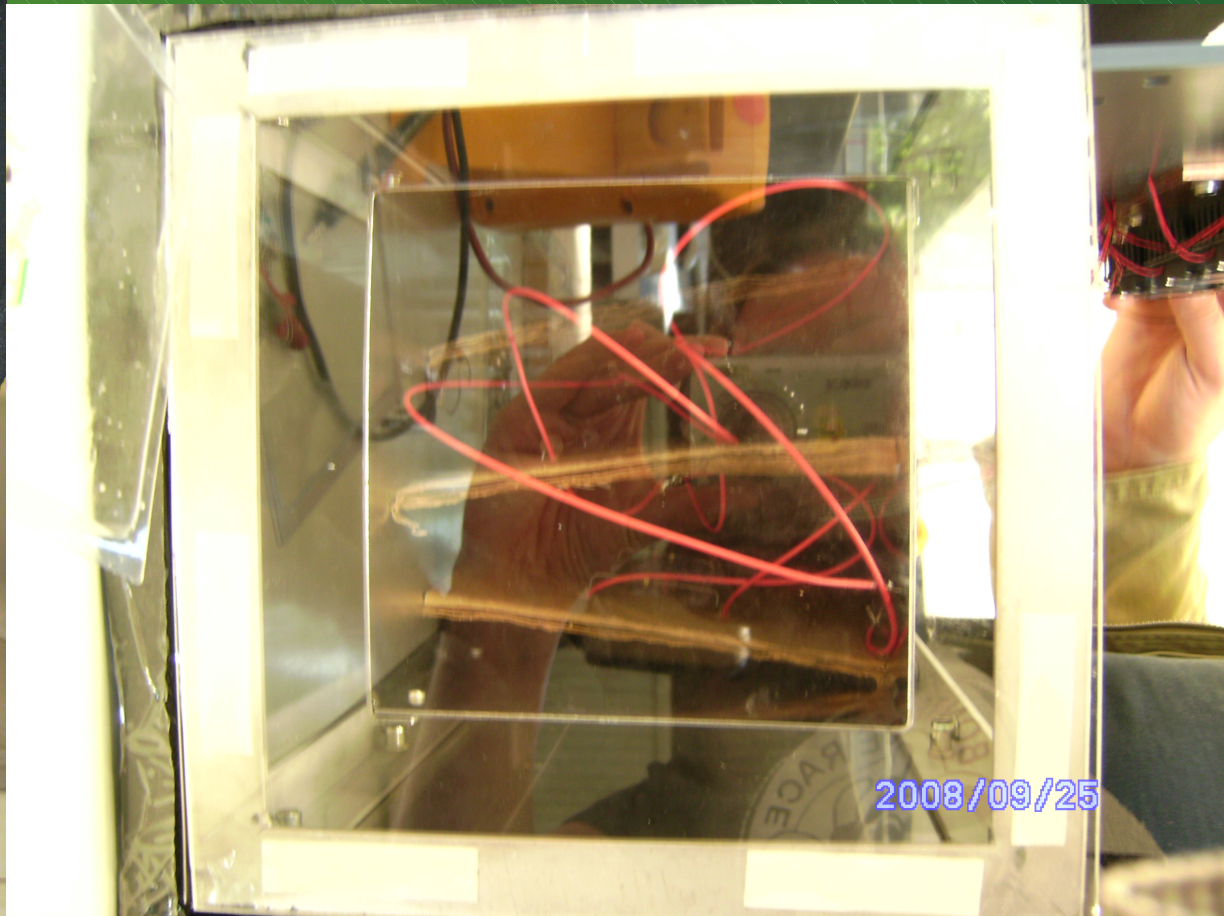
$$A_{\text{eff}} = 61.5 \%$$

not corrected for
opt. x-talk &
afterpulses!



* Photon detection efficiency includes effects of crosstalk and afterpulses.





MPPC Ersatzschaltbild

