



Bachelorarbeit

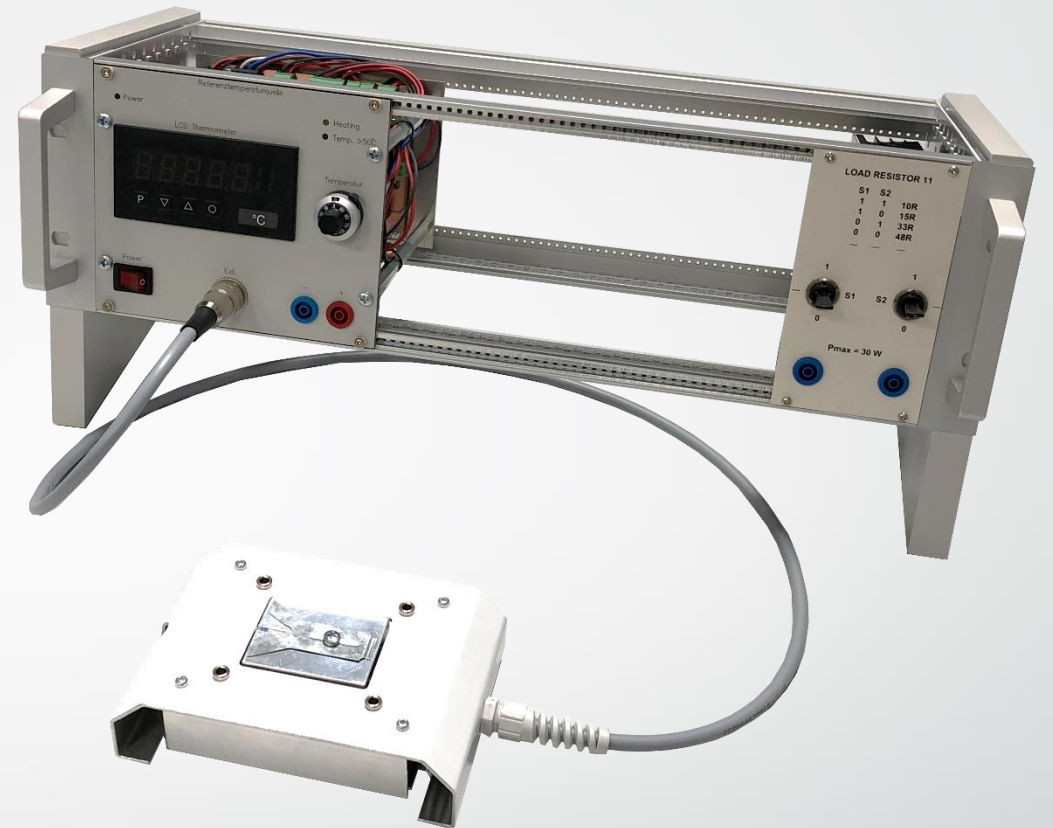
# „Entwicklung und Aufbau einer analog geregelten Referenztemperaturquelle zur Charakterisierung von Temperatursensoren“

Florian Frank

Bachelorarbeit an der Fachhochschule Dortmund

PDF für meine Webseite

# Motivation



- Neue Praktika für einen neuen Studiengang
- Praktischen Erfahrungen im Bereich der Elektronik und Sensorik
- Neue Aufbauten notwendig
- Geräteentwicklung, um in Laborpraktika selbst dimensionierte Temperaturmesssysteme zu charakterisieren

# Inhalt der Präsentation

- Vorarbeit
  - Spezifikationen
  - Auswahl eines geeigneten Thermometers und Parametrierung
- Entwicklung
  - Entwicklung und Fertigung des Heizelements
  - Modellbildung der Regelstrecke und auslegen des Reglers
  - Entwicklung der Schaltungen
    - Regler
    - Stellglied
  - Entwicklung der Platine
  - Entwicklung des Tischgestells
  - Entwicklung der Frontplatte
- Fazit
- Ausblick

# Spezifikationen

Geeignete Auflösung der Einstellbarkeit

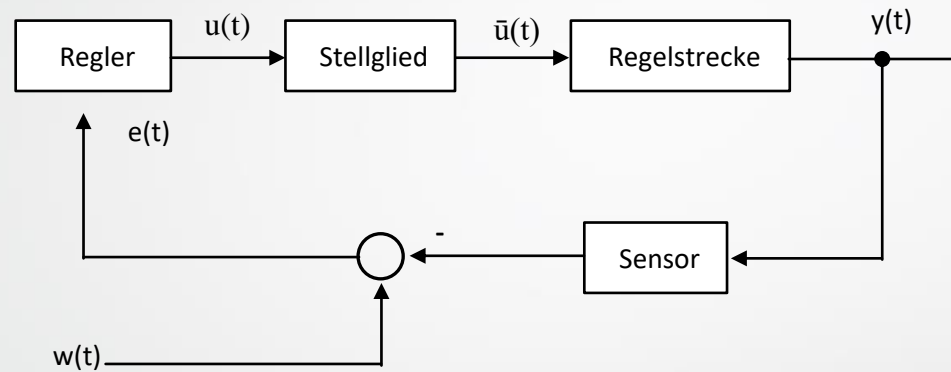
- Grob in 10 °C Schritten
- Fein in 0,1 °C Schritten

Temperaturbereich von + 30 °C - 130 °C

Genauigkeit von 0,1 °C

zulässige Regelabweichung 0,1 °C - 0,2 °C

# Blockschaltbild des Regelkreises



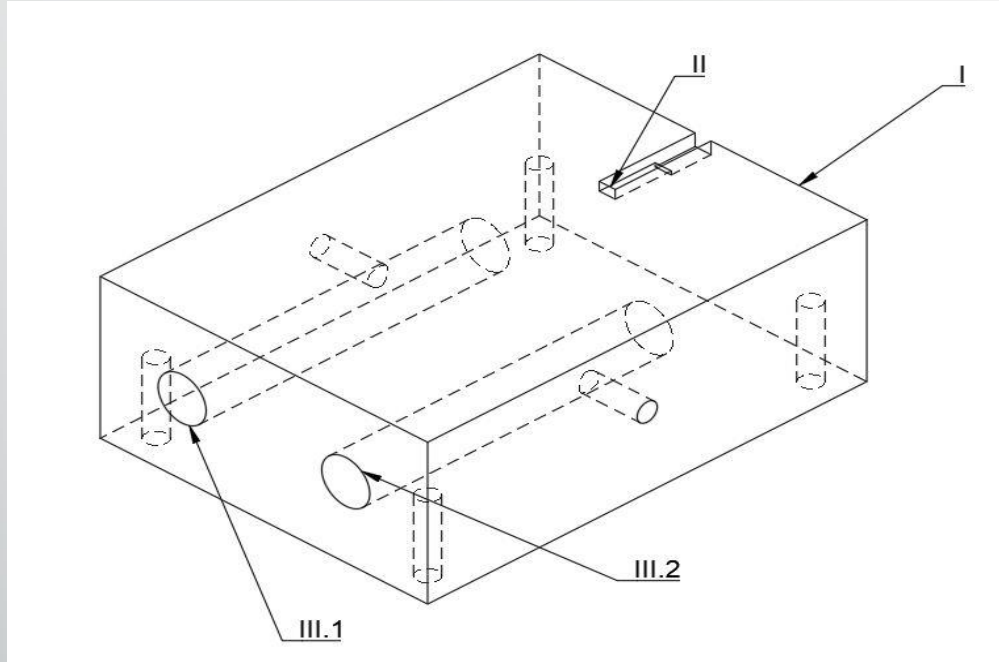
# Einbau Referenzthermometer



Parametrierung des Analogausgangs 0-10 V & 0/4-20 mA

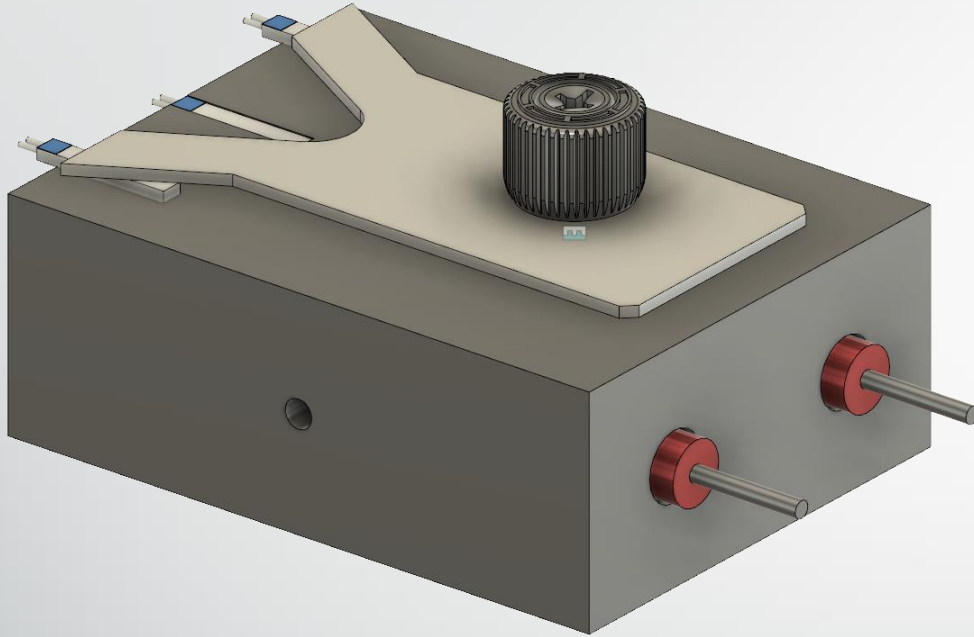
- $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 0\text{ V}$
- $150\text{ }^{\circ}\text{C} = 10\text{ V}$

# Konstruktion des Heizblocks



- 2 Heizelemente  
→ Gleichmäßige Oberflächentemperatur
- Löcher für Befestigung und Klemmung durch Madenschrauben
- Nur Oberflächentemperatur relevant  
→ Pt100 Sensor auf der Oberfläche

# Konstruktion des Heizblocks



- 2 Heizelemente  
→ Gleichmäßige Oberflächentemperatur
- Löcher für Befestigung und Klemmung durch Madenschrauben
- Nur Oberflächentemperatur relevant  
→ Pt100 Sensor auf der Oberfläche

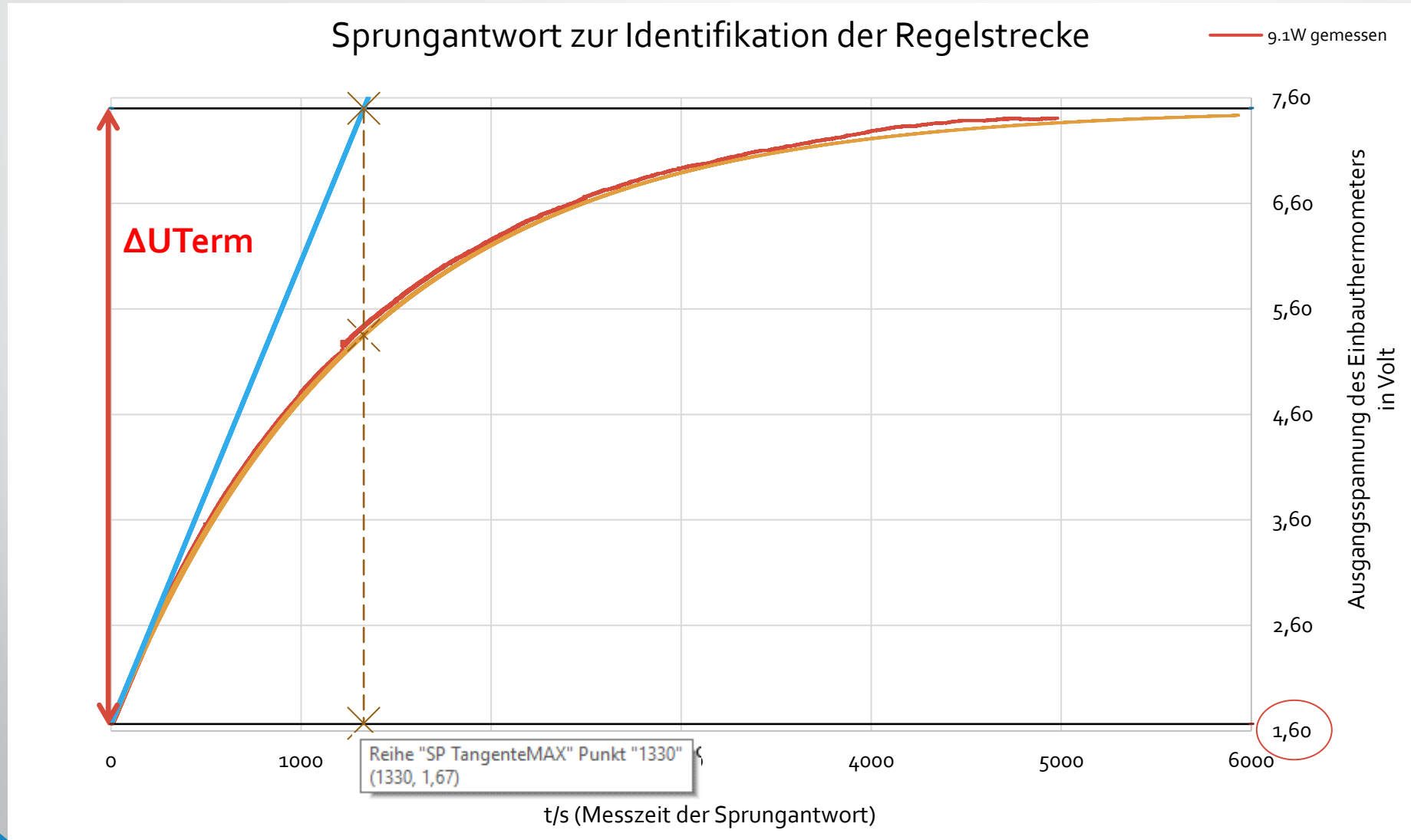
- Montage weiterer Sensoren durch Klemmung mit Klemmfeder auf der Oberfläche



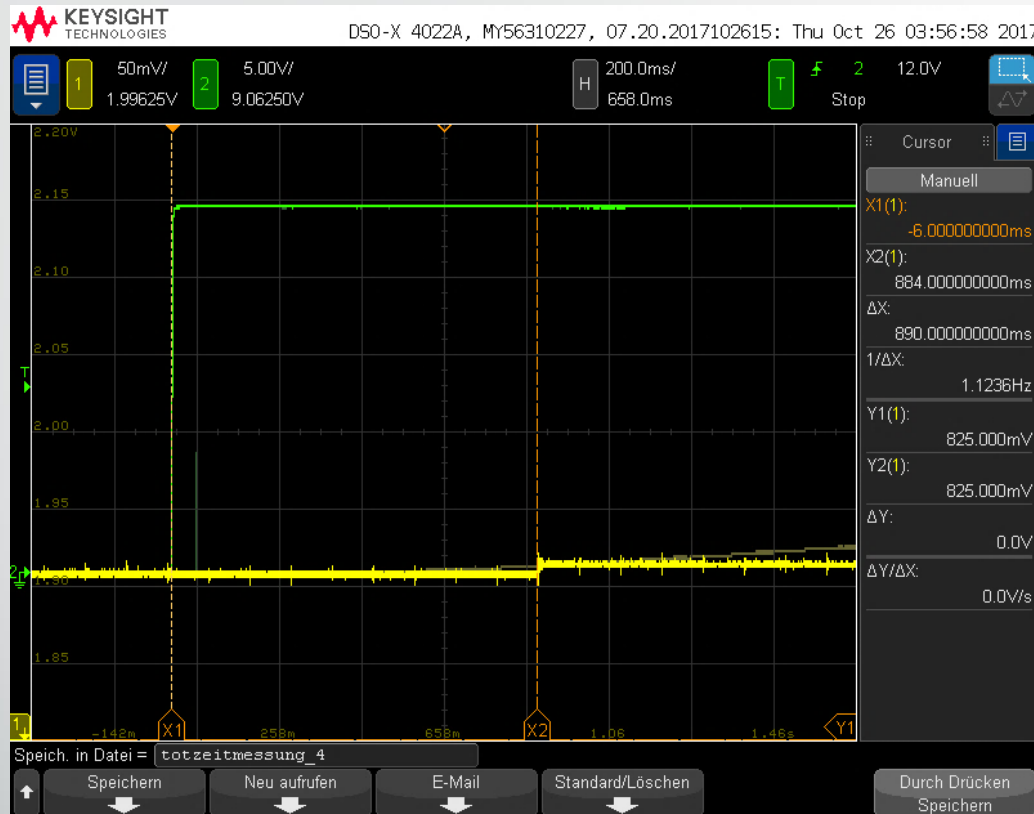
# Identifikation der Regelstrecke



# Identifikation der Regelstrecke



# Identifikation der Regelstrecke

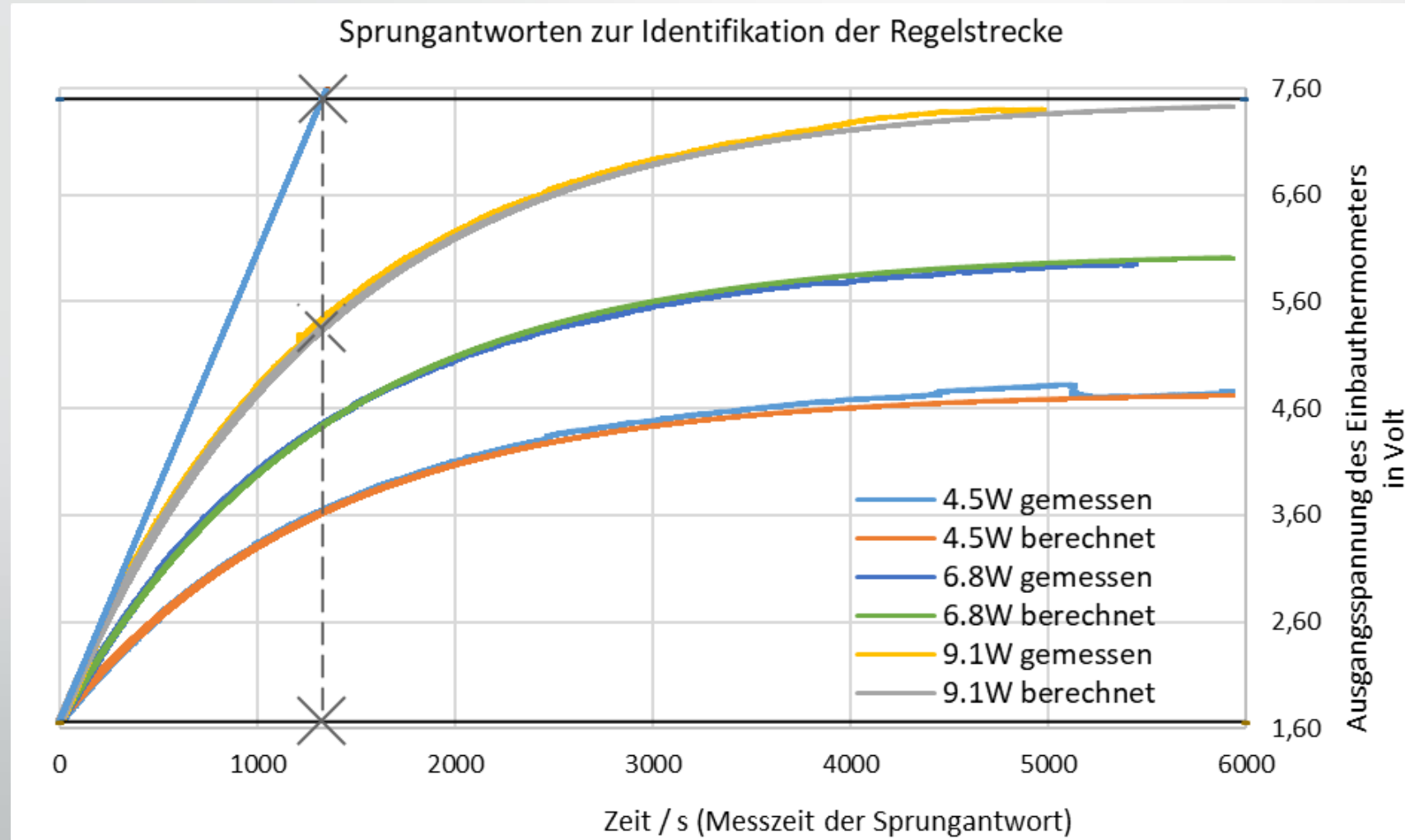


Totzeit des Heizblocks  
abgelesen: 890 ms

Prozentual entspricht dies  
0,067% der Zeitkonstante  $\tau$   
des Heizblocks

→ Einflüsse der Heizelemente (PT1) im Gegensatz zum Aluminiumblock (PT1) sehr gering. Kann vernachlässigt werden

# Untersuchung auf Linearität



# Untersuchung auf Linearität

$$K_S = \frac{\Delta U_{Therm}}{P_n}$$

$$\Delta U_{Therm} = U_{ThermOut} - U_{Therm25}$$

Leistung $P_n$	Messung 1 - 4,5 W	Messung 2 - 6,8 W	Messung 3 - 9,1 W
Maximale Temperatur	71,4 °C	91 °C	112,5 °C
$U_{ThermOut}$	4,76 V	6,067 V	7,50 V
$U_{Therm25}$ Raumtemperatur ~25°C	1,69 V	1,68 V	1,67 V
$\Delta U_{Therm}$	3,07 V	4,39 V	5,83 V
$K_S$	<u>0,683</u>	<u>0,645</u>	<u>0,641</u>

- Für die Steckenverstärkung  $K_S$  ergibt sich ein Wert von 0,645

# Realisierung des Reglers

Leistung $P_n$	Messung 1 - 4,5 W	Messung 2 - 6,8 W	Messung 3 - 9,1 W
$K_s$	<u>0,683</u>	<u>0,645</u>	<u>0,641</u>

- Reglerspannung von 0 – 10 V
- Verstärkung des Stellgliedes  
→ Um 100W zu erreichen, verstärkt das Stellglied 10fach
- Regler → Stellglied → Regelstrecke  
Verstärkung Regelstrecke aus Sicht des Reglers  $K_{SRegler} = 6,45$

# Realisierung des Reglers

$$G_R(s) = K_R + \frac{K_R}{T_I * s} = K_R \left( 1 + \frac{1}{T_I * s} \right)$$

$T_1 = 1330 \text{ s}$  abgelesen  
 $K_{SRegler} = 6,45$

Mit  $G_W(s)$  vorgegeben  $T_2 = 15 \text{ s}$

Kompensationsregler

$$G_W(s) = \frac{1}{T_2 * s + 1}$$

$$G_S(s) = \frac{K_S}{T_1 * s + 1}$$

$$G_W(s) = \frac{G_0 * G_R}{1 + G_0 * G_R}$$

$$G_R(s) = \frac{T_1 * s + 1}{T_2 * s * K_{SRegler}} = \frac{T_1}{K_{SRegler} * T_2} + \frac{1}{K_{SRegler} * T_2 * s}$$

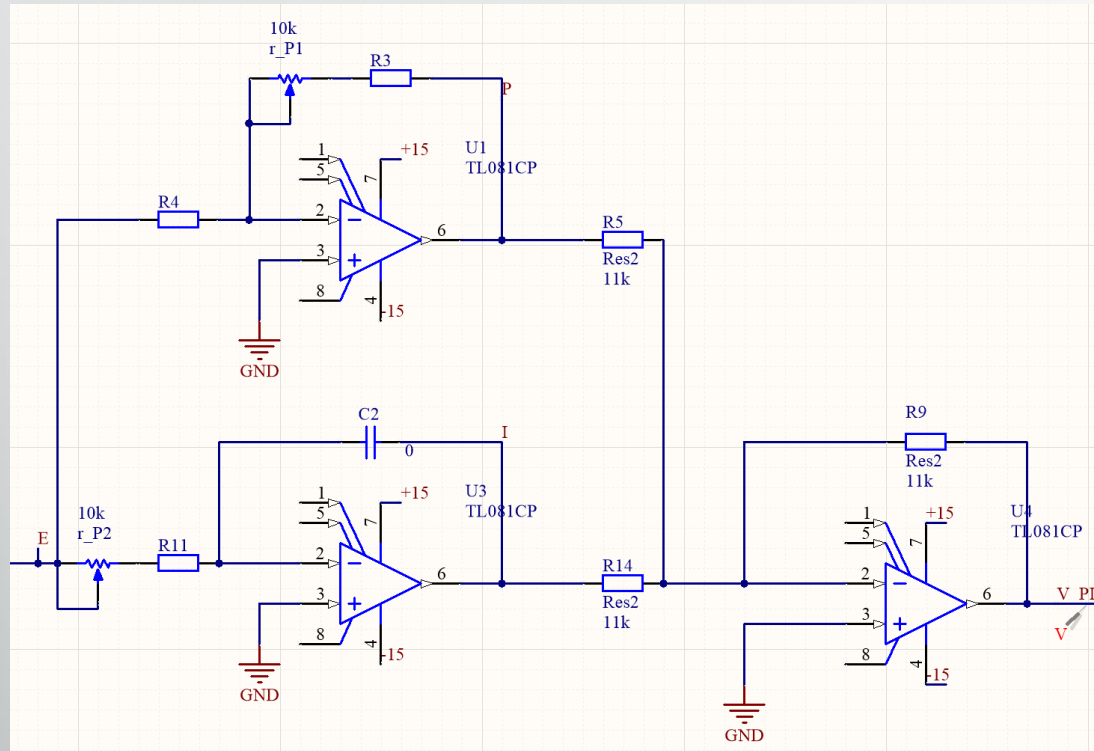
P-Anteil

I-Anteil

$$G_R(s) = \frac{1330}{6,45 * 15} + \frac{1}{6,45 * 15 * s}$$

---

# Realisierung des Reglers

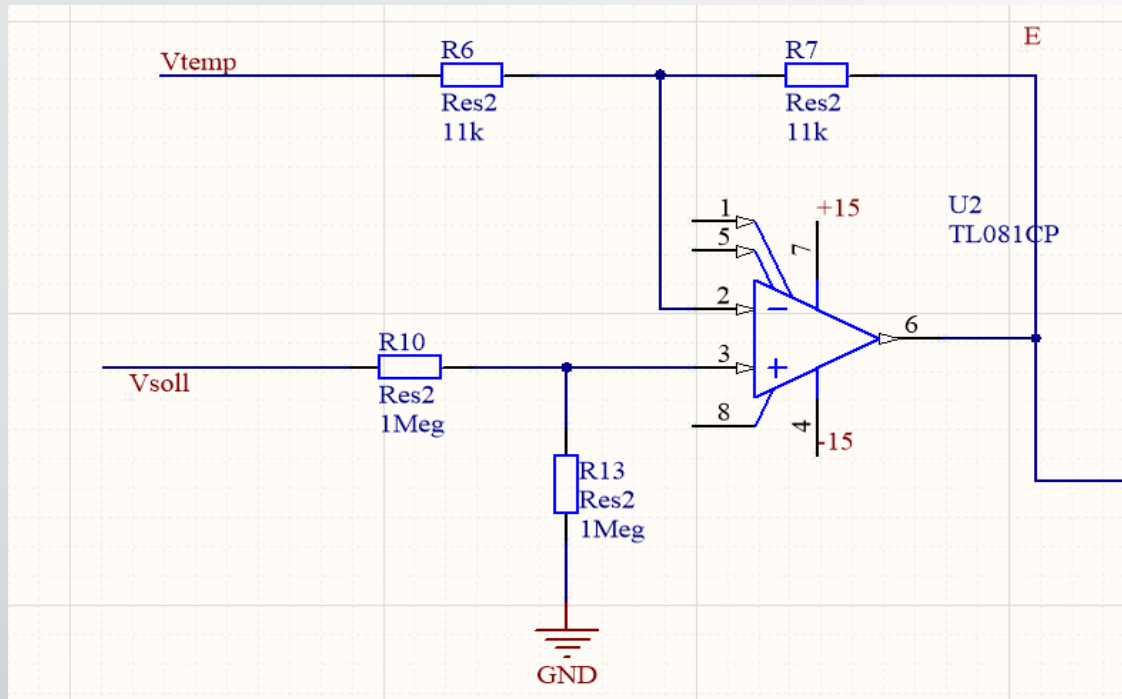


$$K = \frac{R_3}{R_4}$$

$$T_I = R_{11} * C_2$$



# Bildung der Regelabweichung



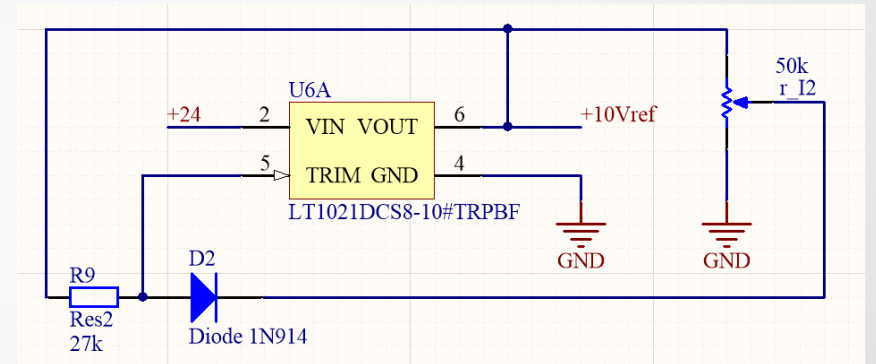
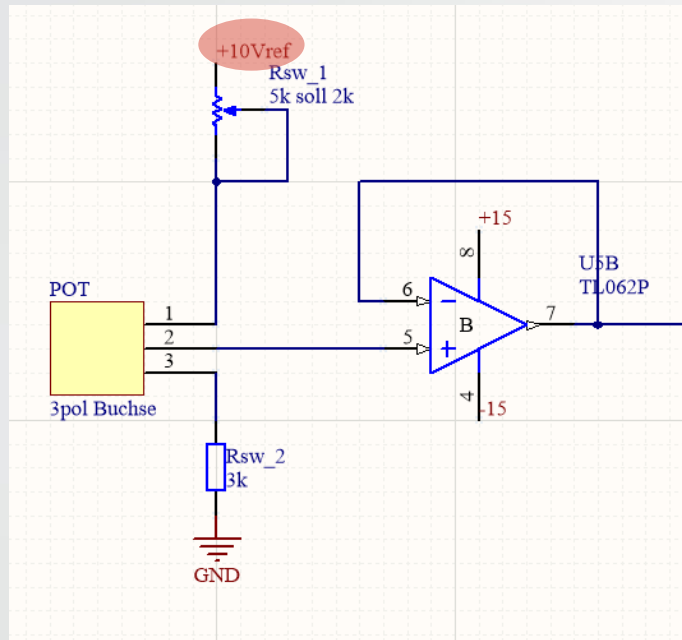
- Über den Differenzverstärker wird die Regelabweichung E gebildet

$$E = V_{soll} * \frac{R_{13}}{R_{10}+R_{13}} * \frac{R_6+R_7}{R_6} - V_{temp} * \frac{R_6}{R_7} = V_{soll} - V_{temp}$$

# Sollwertzeugung



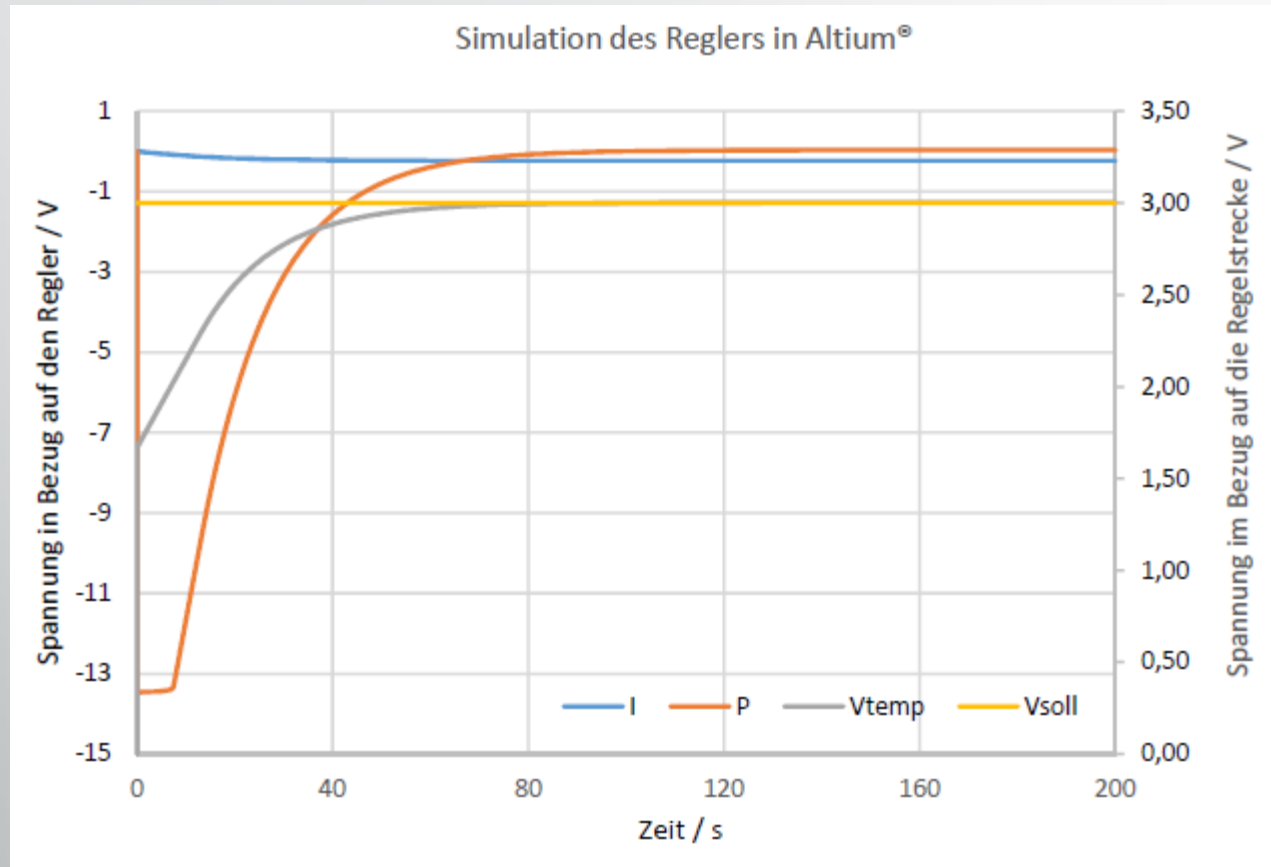
- Grob (Fenster) in 10 °C Schritten
- Feinskala in 1 °C Schritten



## 10V Referenzspannungsquelle

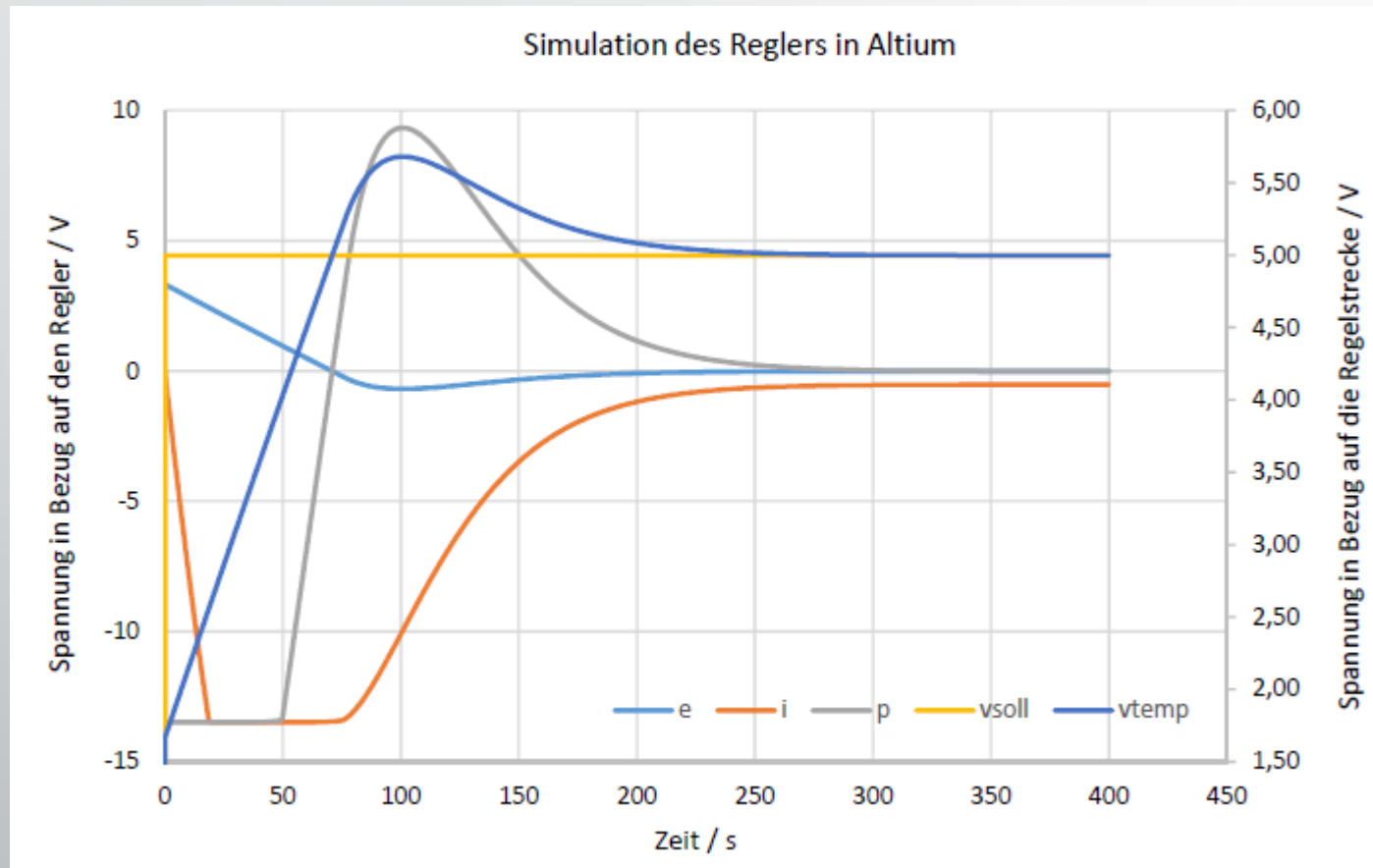
- Spannungsstabilität damit der Sollwert nicht schwankt

# Simulation des Reglers in Altium



- Aus den Berechnungen ergibt sich eine Verstärkung  $K_p=13,74$   $T_I=96,7s$
- Laut Berechnung und Simulation genau. Temperatur wird gehalten.
- Temperatur wird in der Realität nicht gehalten.
- Aufgrund der Auflösung des Einbauthermometers wird die Temperatur erst nach langer Zeit erreicht.
- → Simulation stimmt nicht mit Aufbau überein

# Simulation des Reglers in Altium

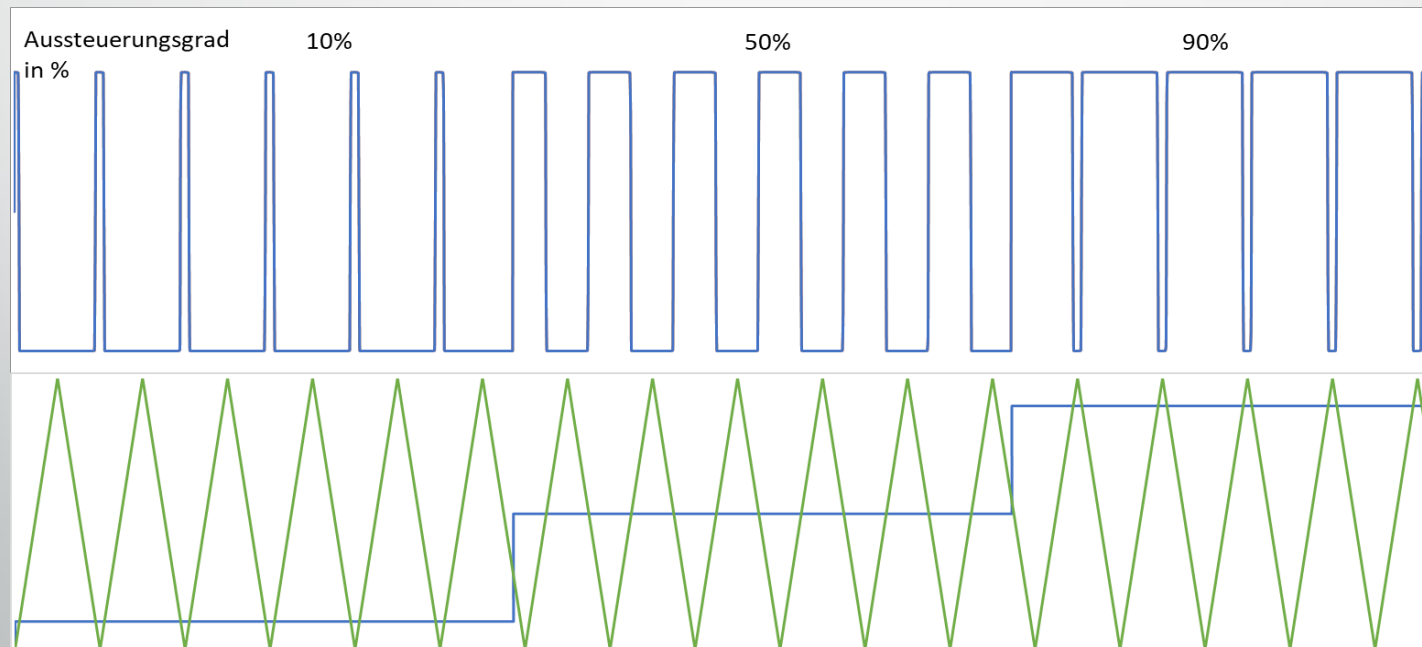
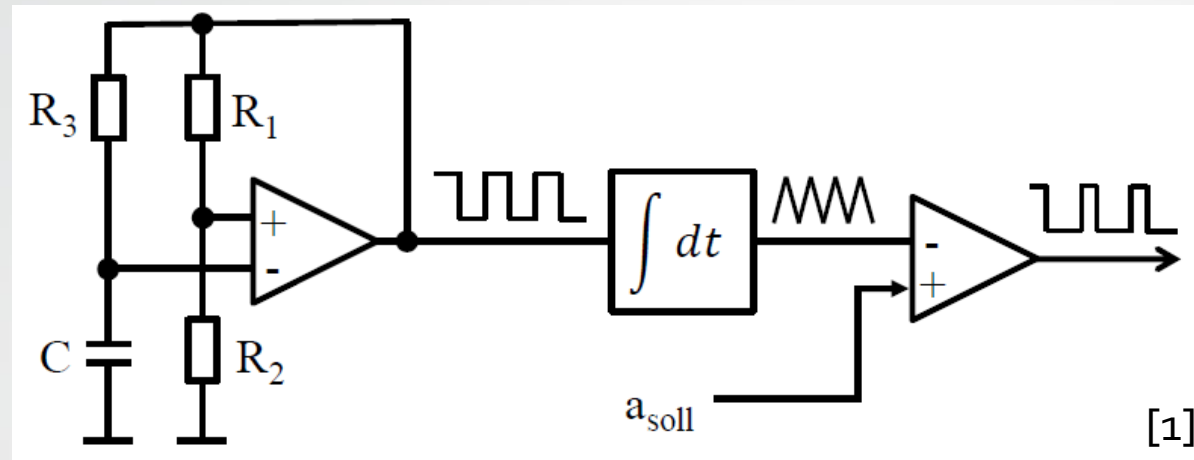


- $K_p=13,74$
- I Anteil wurde empirisch beschleunigt  
→  $T_I=4s$  festgelegt

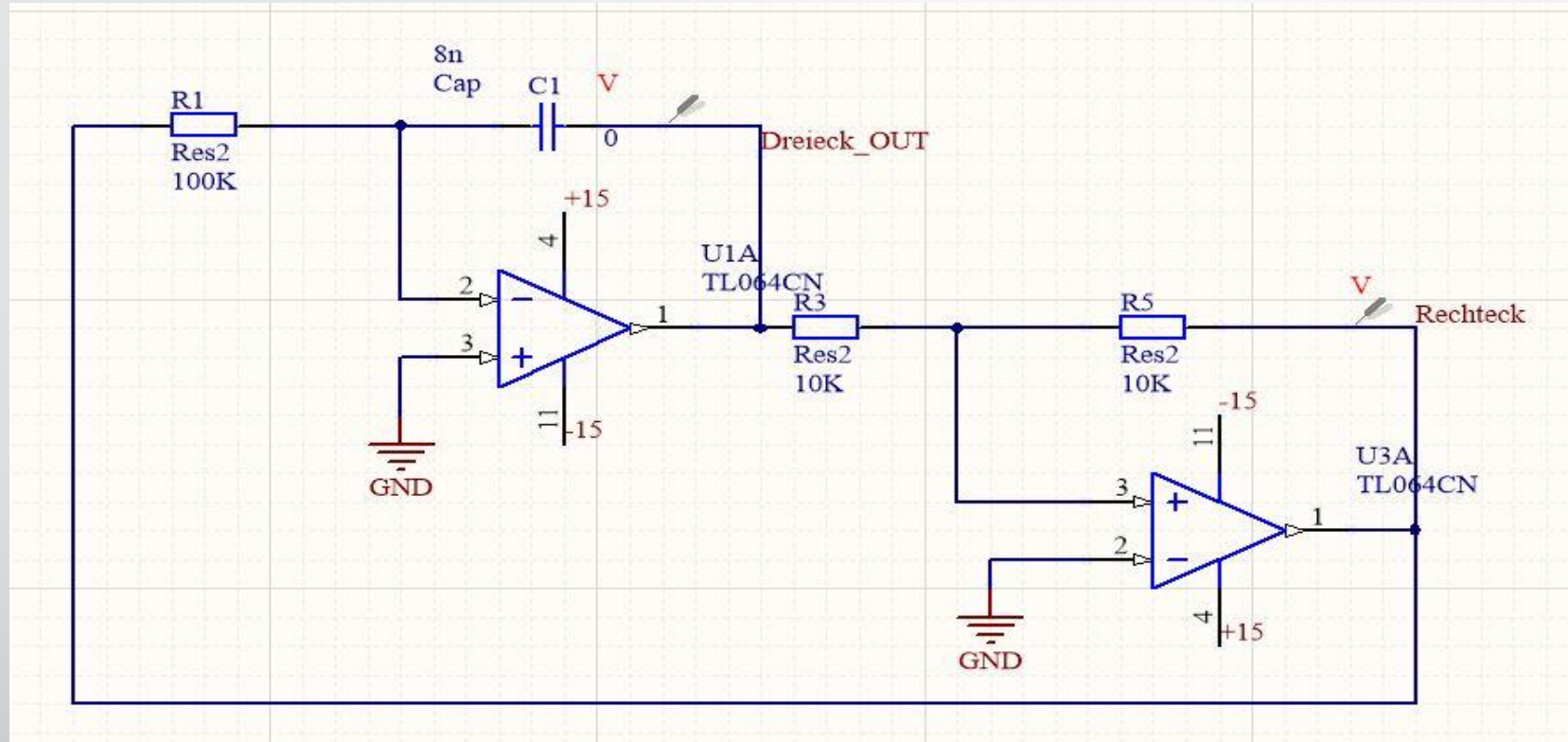
# Stellglied

- Leistung der Heizung soll über den Regler von 0-10V regelbar sein
  - Pulsweitenmodulation
  - Geringe Schaltverluste über dem Transistor

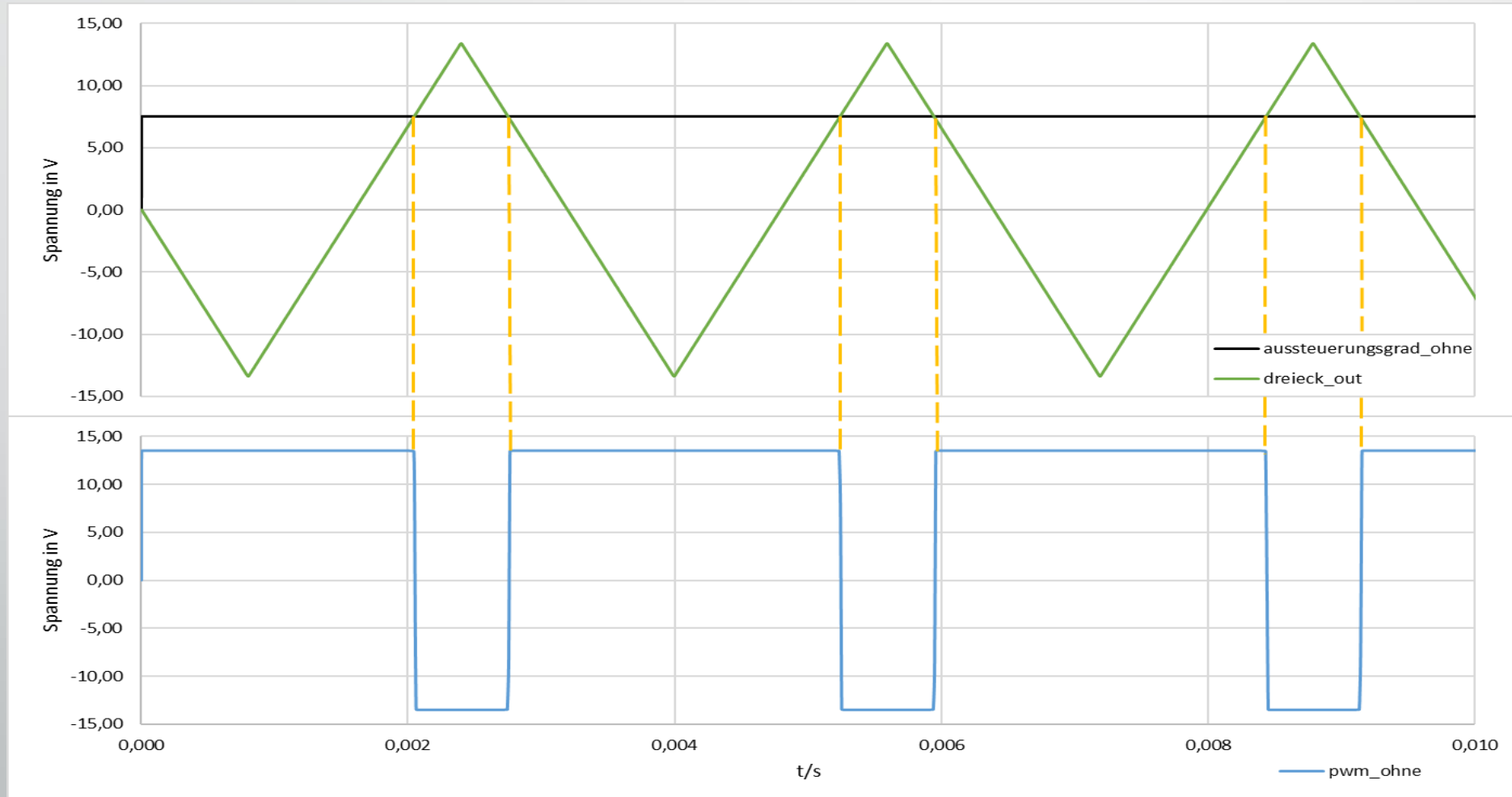
# Was ist eine PWM



# Realisierung eines PWM Generators

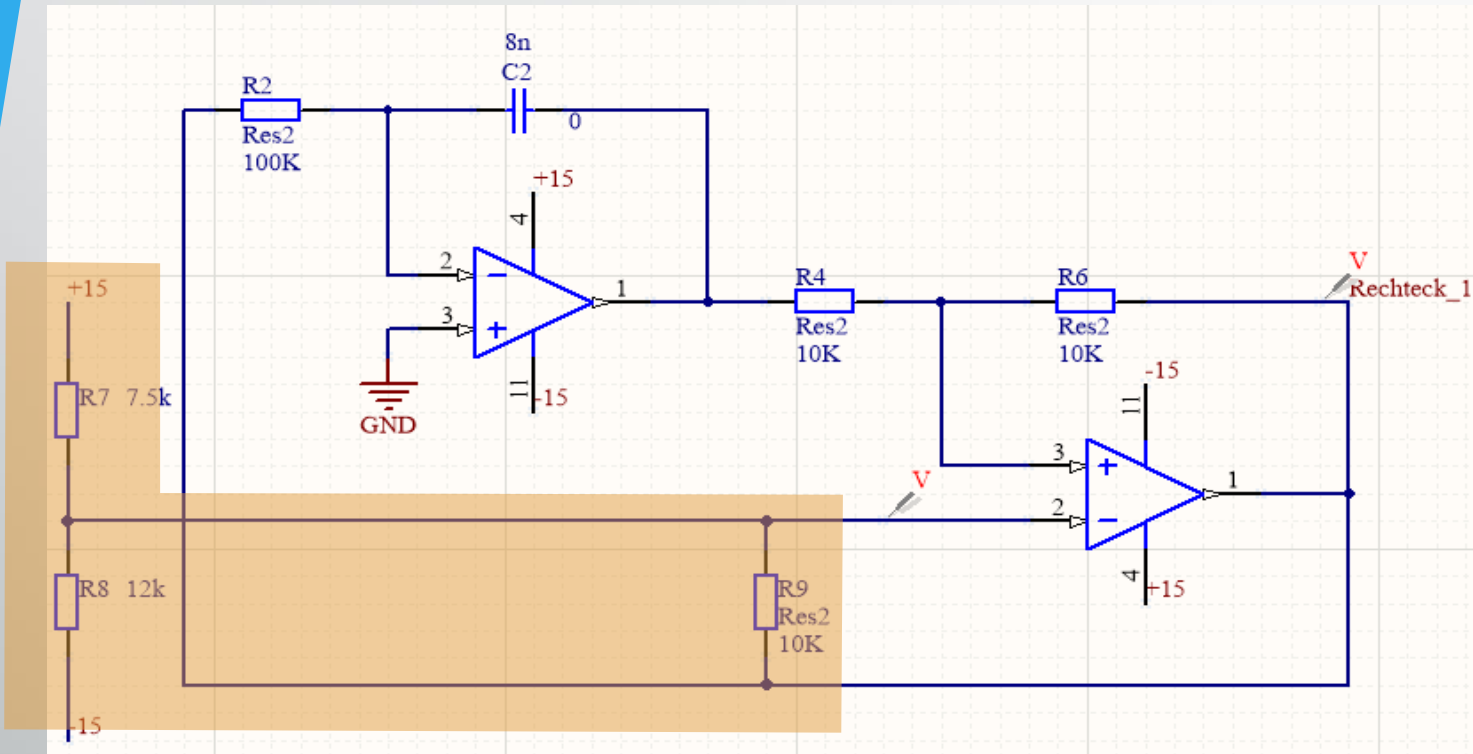


# Realisierung eines PWM Generators



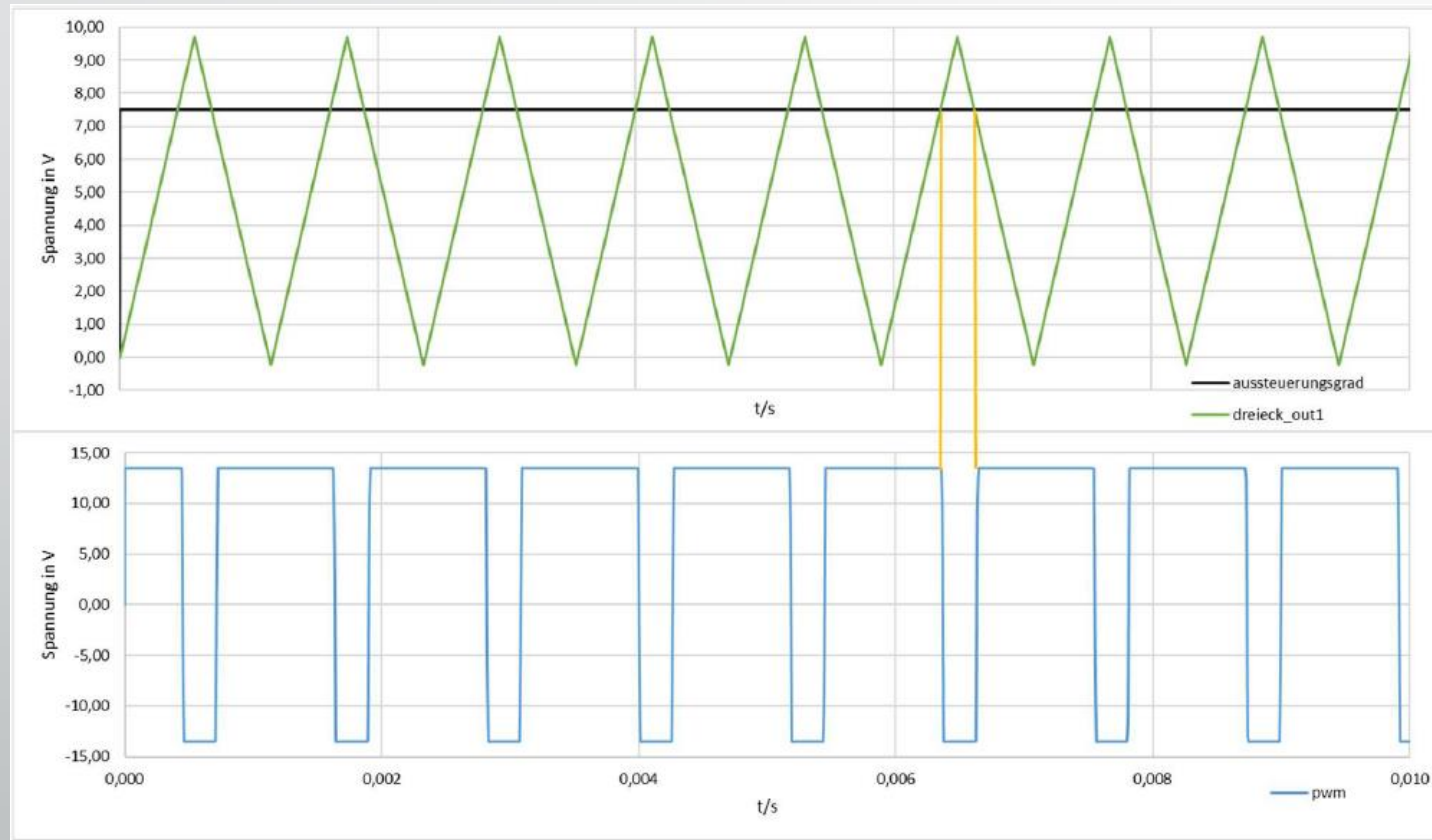


# Realisierung eines PWM Generators



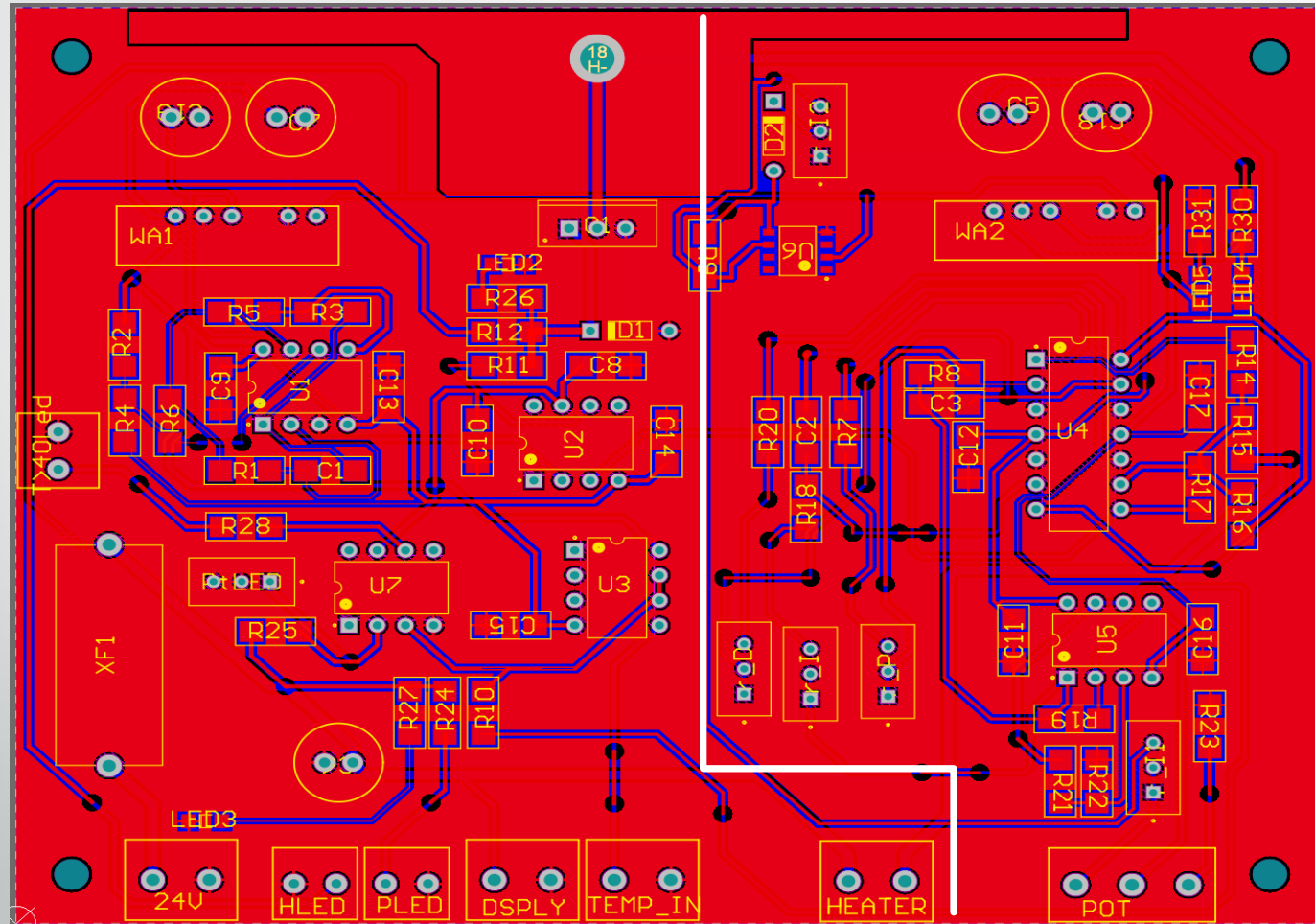
- Dreieckssignal von 0 – 10 V im Bereich des Reglers
- Vergleichsspannung am Schmitt-Trigger durch reale Spannungsquelle mit Innenwiderstand

# Realisierung eines PWM Generators

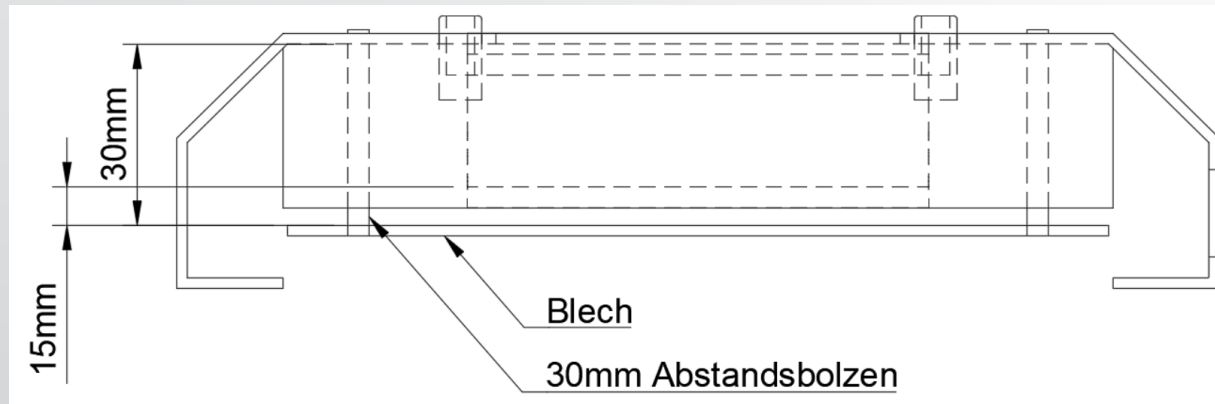


- Dreiecksignal von 0 – 10 V im Bereich des Reglers
- Vergleichsspannung am Schmitt-Trigger durch reale Spannungsquelle mit Innenwiderstand

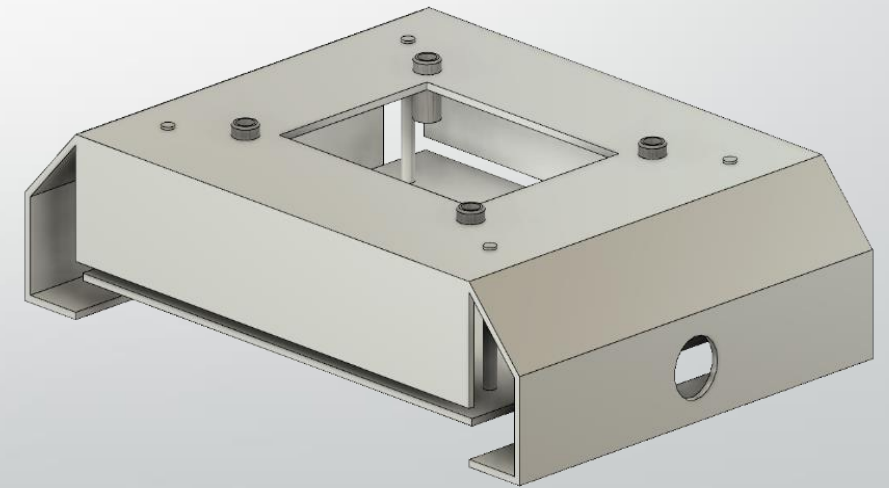
# Platinenlayout in Altium® Designer



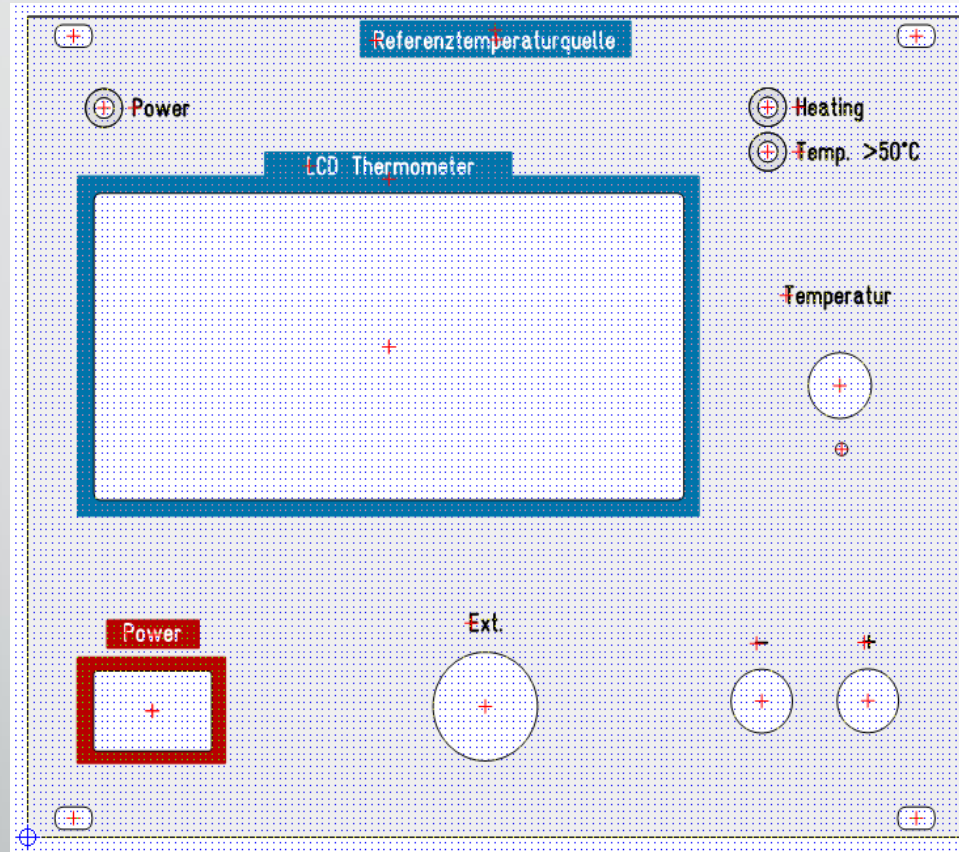
# Konstruktion des Tischgestells



- Thermische Entkopplung durch Abstandsbolzen
- Berührungsschutz aufsteckbar
- Blechtemperatur bei beheiztem Block  $130^{\circ}\text{C}$  bei ca.  $45^{\circ}\text{C}$



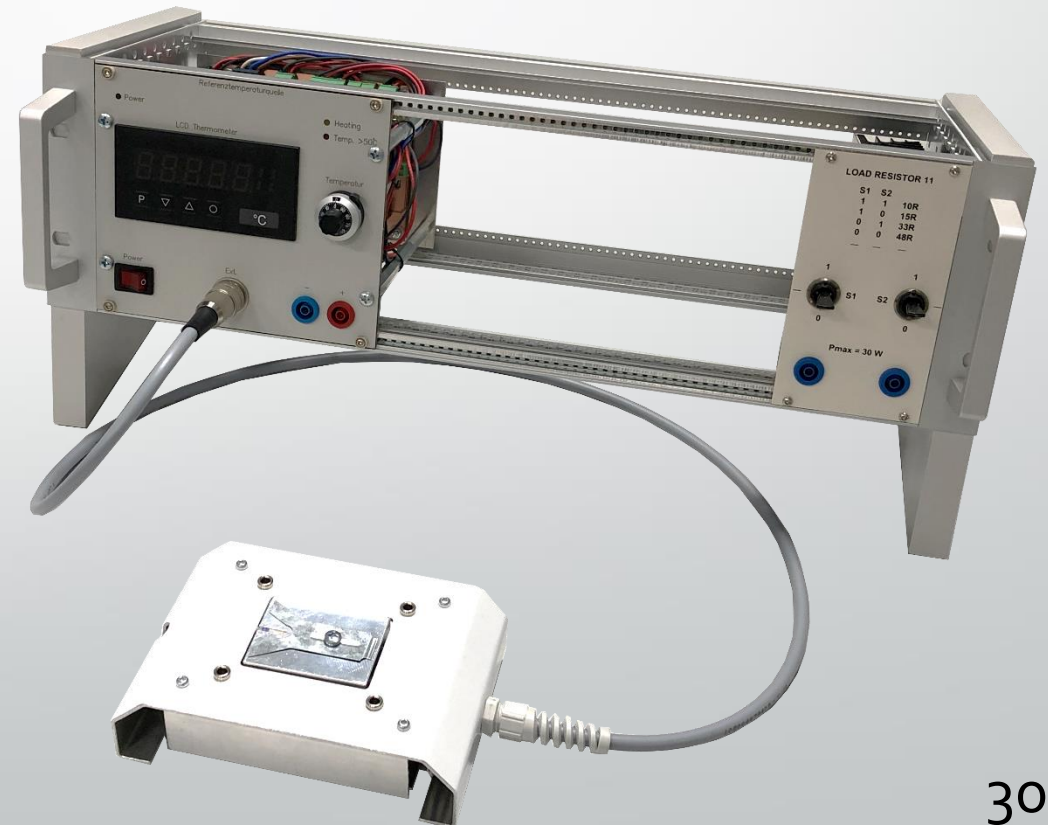
# Frontplatte



- 19“ Schroff Trägerbauform
- Übersichtlich
- LEDs zeigen Status an
- Ab 50°C leuchtet rote LED „Temp >50°C“
- Gelbe „Heating“ LED zeigt Ansteuerung der Heizelemente an
- Ist- Temperatur auf dem Thermometer ablesbar

# Fazit

- Robuster labortauglicher Aufbau
- Wiederholgenaue Messungen → Reproduzierbarkeit
- Analoge Regelung möglich
- Trotz Einfluss des Thermometers genau



# Ausblick

- Thermometerauflösung  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  → Thermometer durch andere Schaltung ersetzen
- Berührungsschutz und Übertemperaturschutz
- Mikrocontroller mit Display
- Regler digital aufbauen
- PWM Erzeugung schwer in einem Bereich zu realisieren, ggf. fertig zukaufen

# Quellen

- [1] Ausschnitt aus Vorlesung RA02: Prof. Dr. Kiel, FH Dortmund  
Funktionsweise PWM Generator





Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

$$G_W(s) = \frac{G_R(s) * G_S(s)}{1 + G_R(s) * G_S(s)}$$

$$G_R(s) = \frac{G_W(s)}{G_S(s) * (1 - G_W(s))}$$

$$G_R(s) = \frac{T_1 * s + 1}{T_2 * s * K_S}$$

$$G_R(s) = \frac{1}{K_{SRegler}} * \frac{T_1}{T_2} * \left(1 + \frac{1}{T_1 * s}\right)$$

$$G_R(s) = \frac{1}{K_{SRegler}} * \left(\frac{T_1}{T_2} + \frac{1}{T_2 * s}\right)$$

$$G_R(s) = \frac{T_1}{K_{SRegler} * T_2} + \frac{1}{K_{SRegler} * T_2 * s}$$

