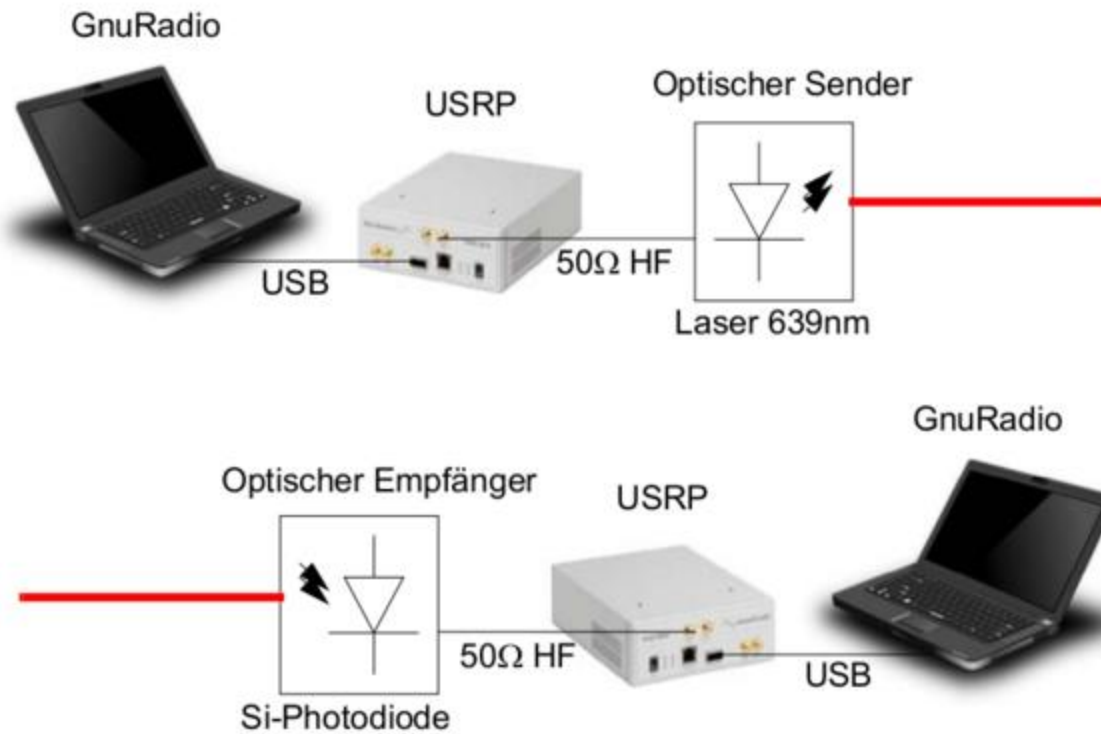


Free Space Optics

Entwicklung eines opt. Senders zur
Übertragung analoger und digitaler Signale

Prof. F. Stockmayer

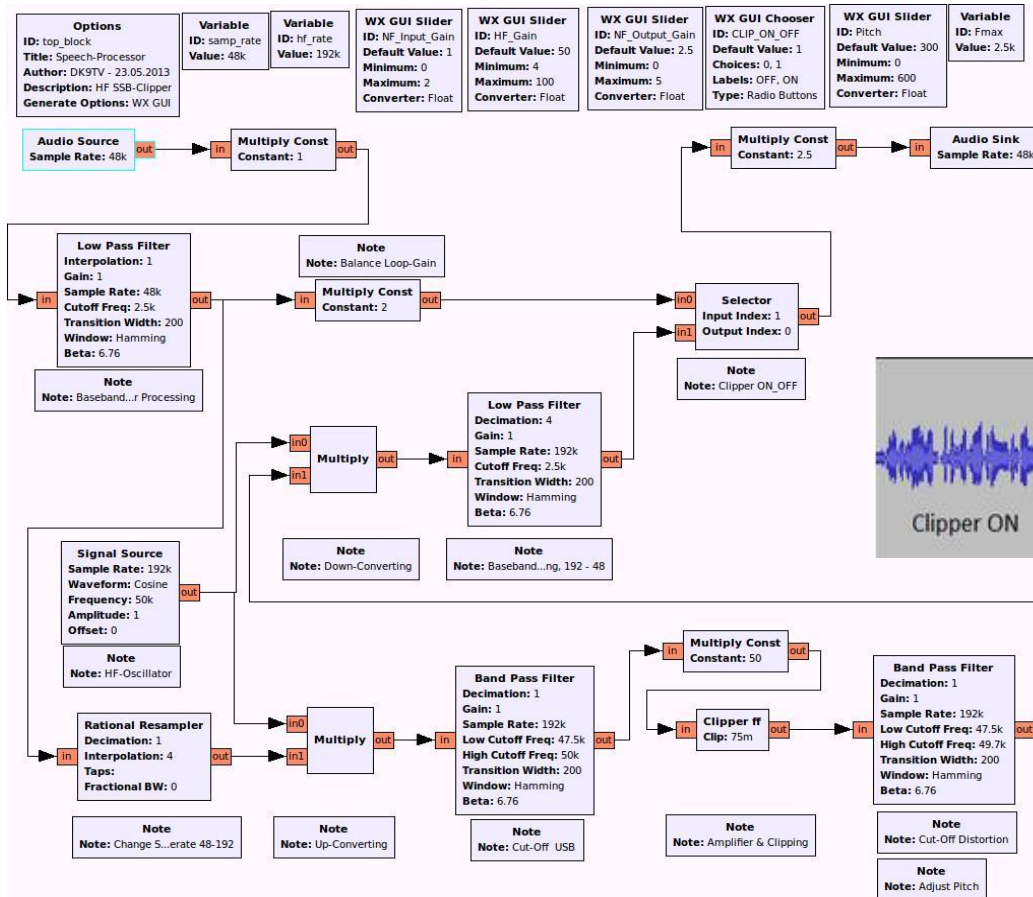
Idee: FSO & GNURadio



GnuRadio

- Toolkit zur Signalverarbeitung
- Realtime Processing Audio ... HF
- In Verbindung mit ext. A/D – D/A Wandler:
„Software Defined Radio“
- Open Source

Beispiel: Sprachkomprimierung mit GnuRadio



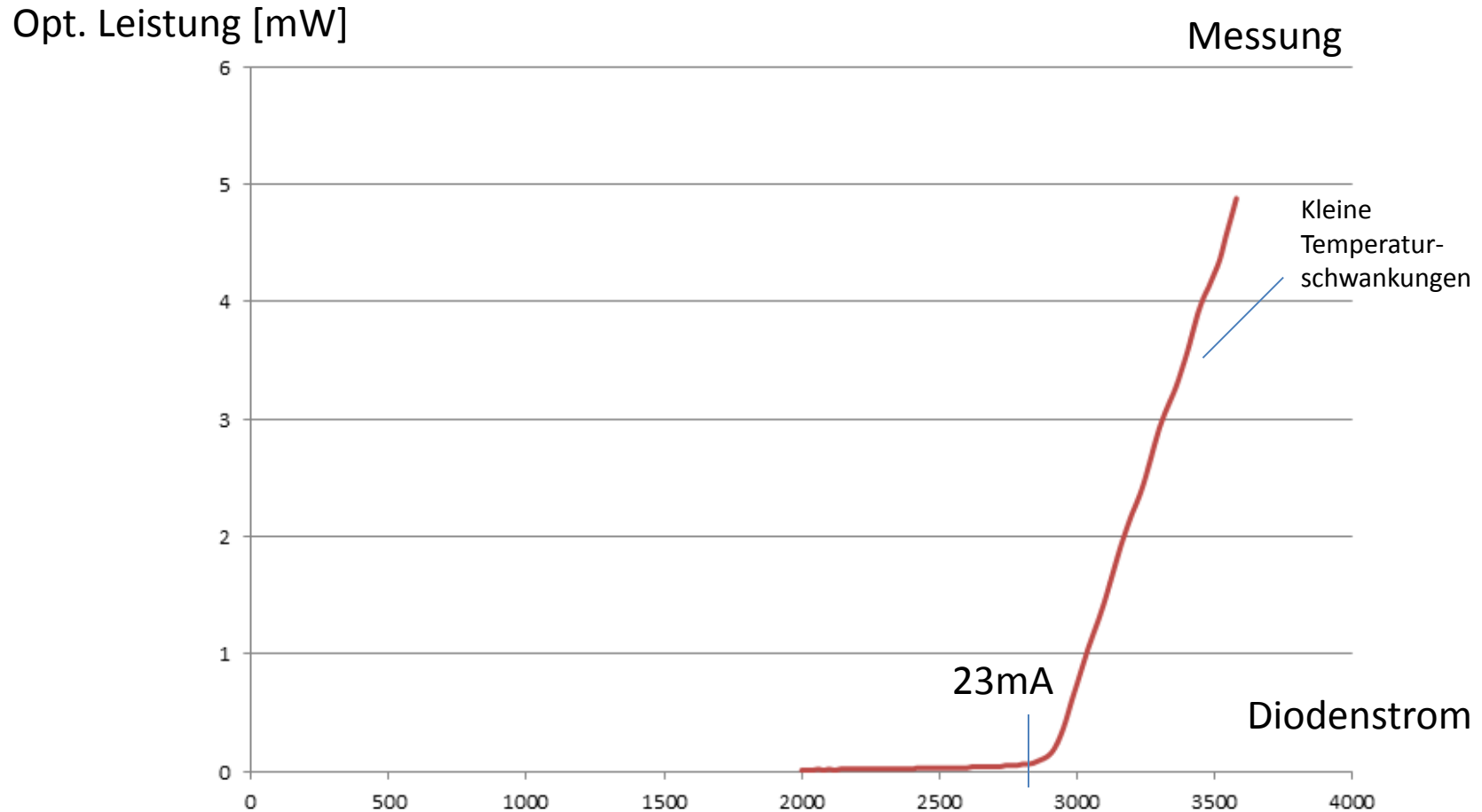
Signalfluss und
Verarbeitungsstufen
In GNURadio

Wirkung der Kompression

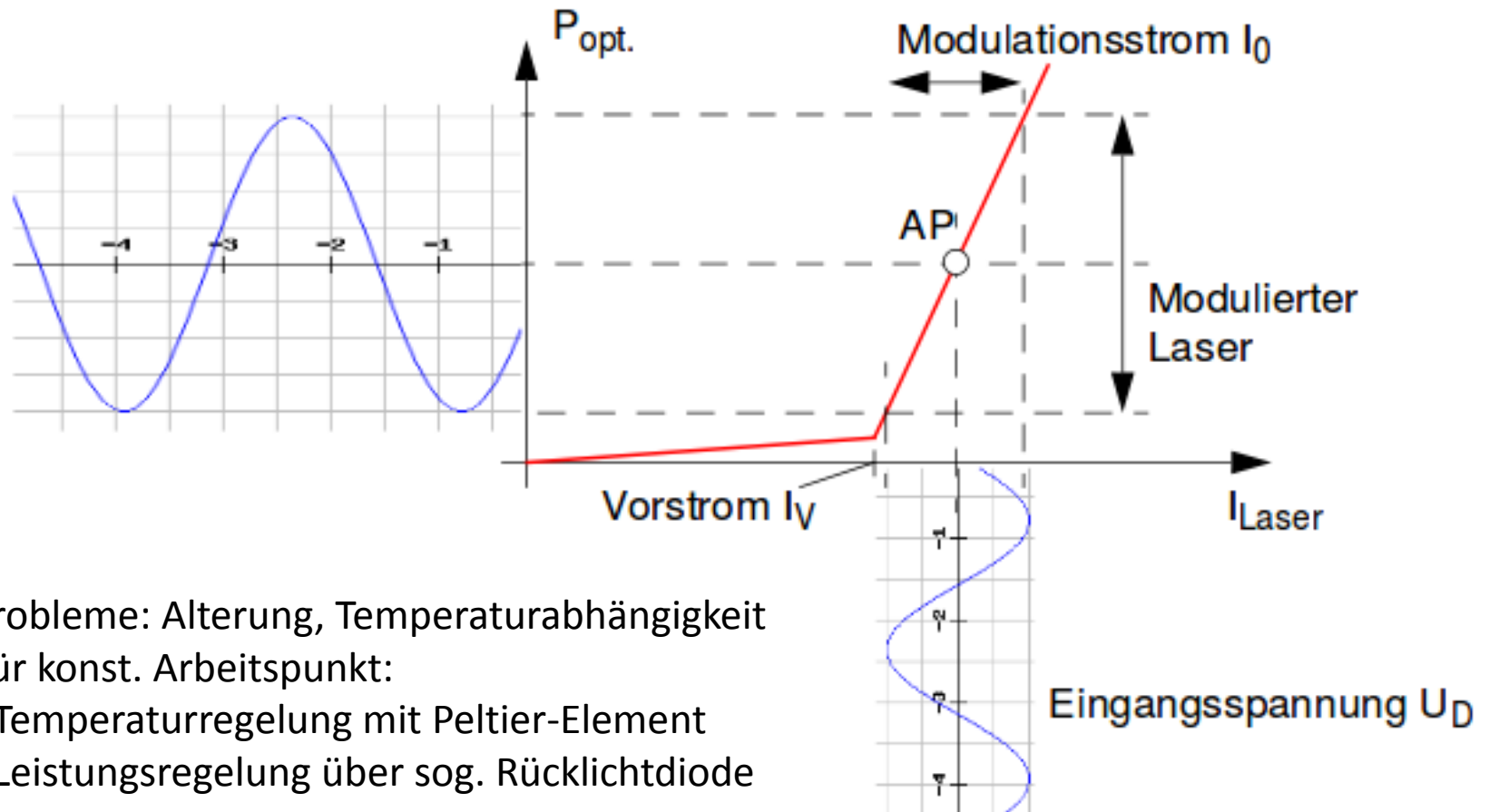


Hörbeispiel

Grundlagen: Kennlinie Laserdiode



Prinzip: Modulation der Laserdiode

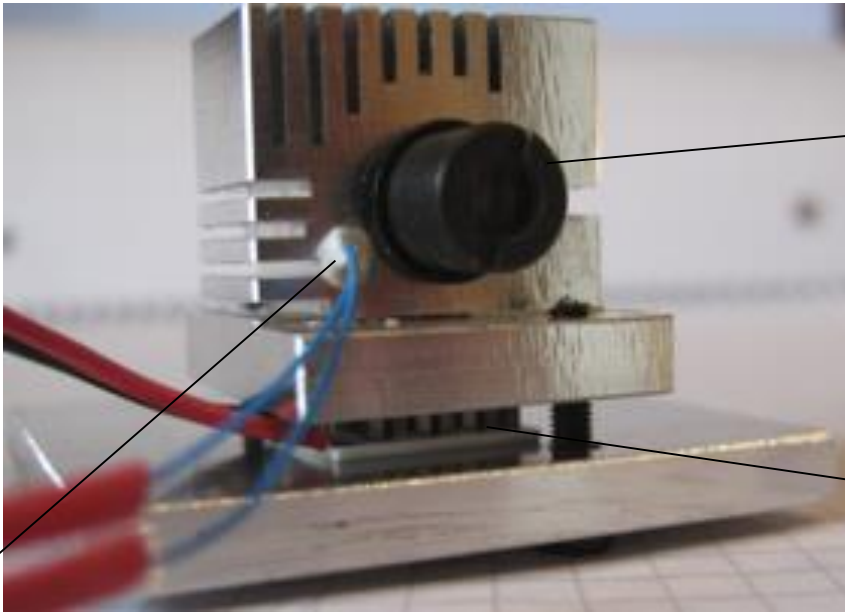


Probleme: Alterung, Temperaturabhängigkeit

Für konst. Arbeitspunkt:

- Temperaturregelung mit Peltier-Element
- Leistungsregelung über sog. Rücklichtdiode

Laserblock



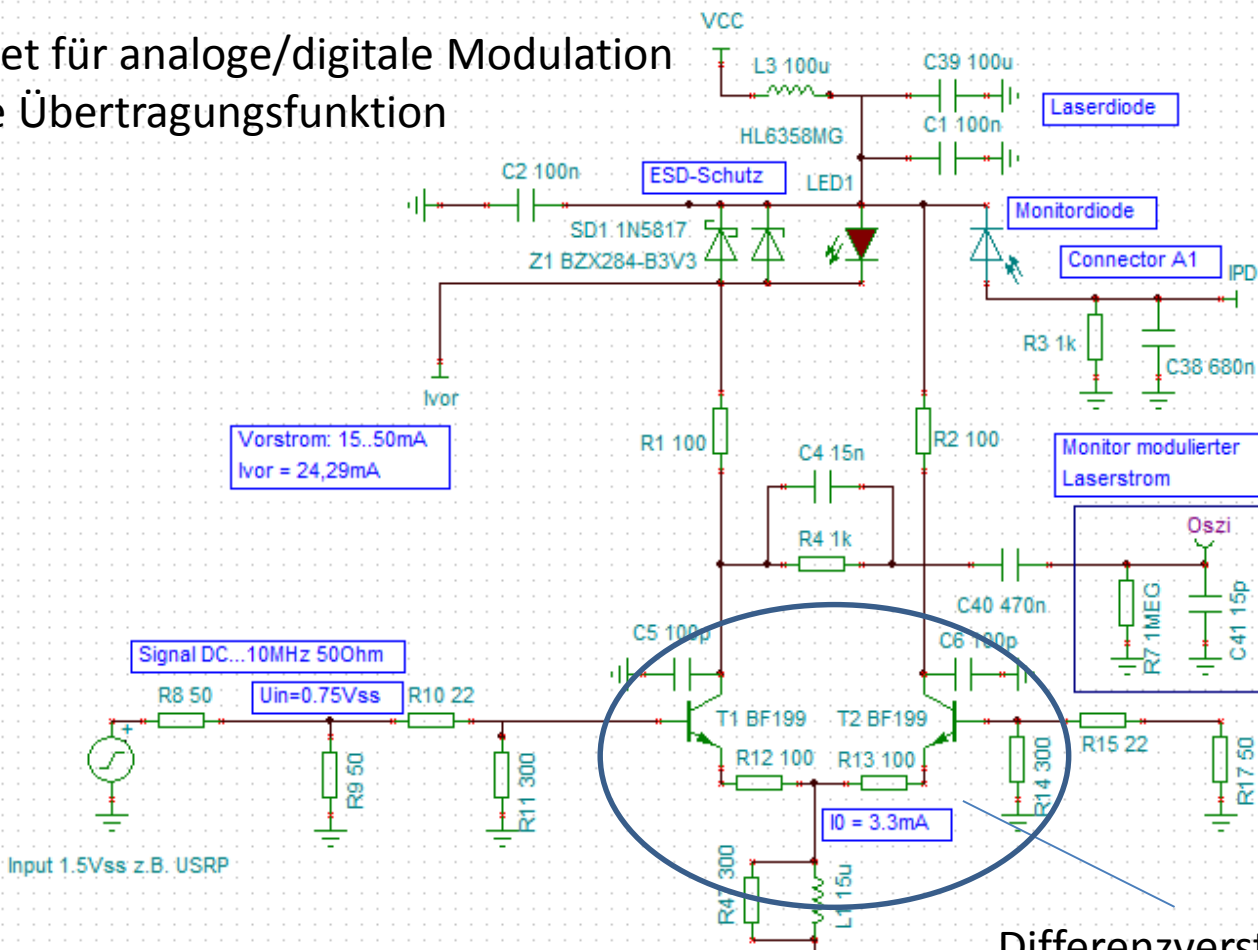
Laserdiode mit Collimatorlinse

Peltierlement

NTC-Widerstand (Temperatursensor)

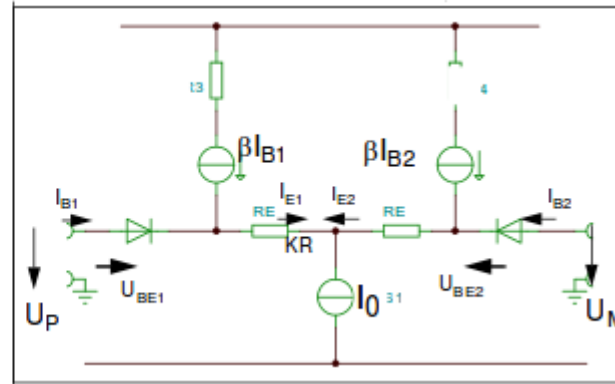
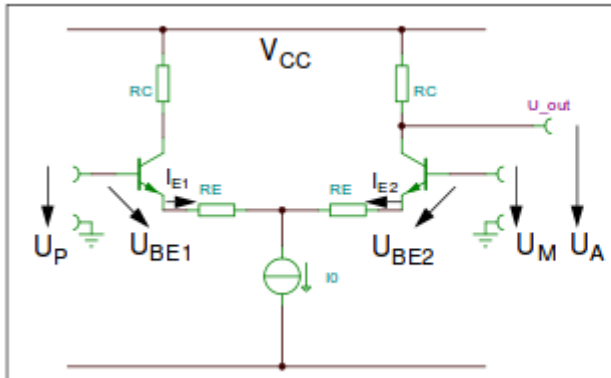
Differenzverstärkerstufe als Modulator

Geeignet für analoge/digitale Modulation
Lineare Übertragungsfunktion



Differenzverstärkerstufe
Mit ausgesuchten Transistoren
und Stromgegenkopplung RE

Theorie: Die Übertragungsfunktion



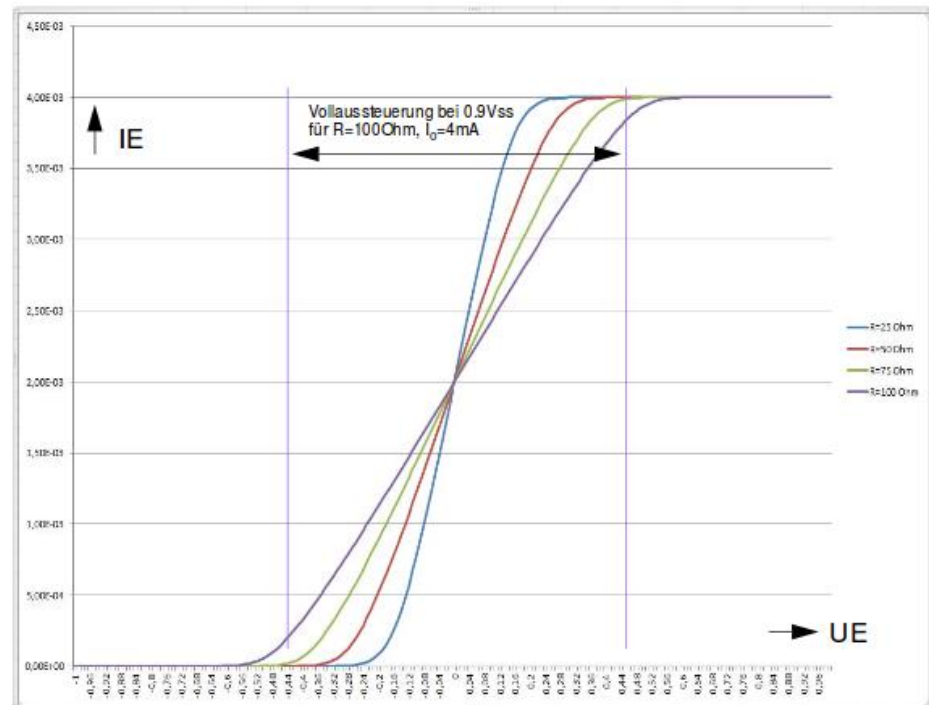
Ansatz: Ebers-Moll
Ersatzschaltung

... nach langer Rechnung

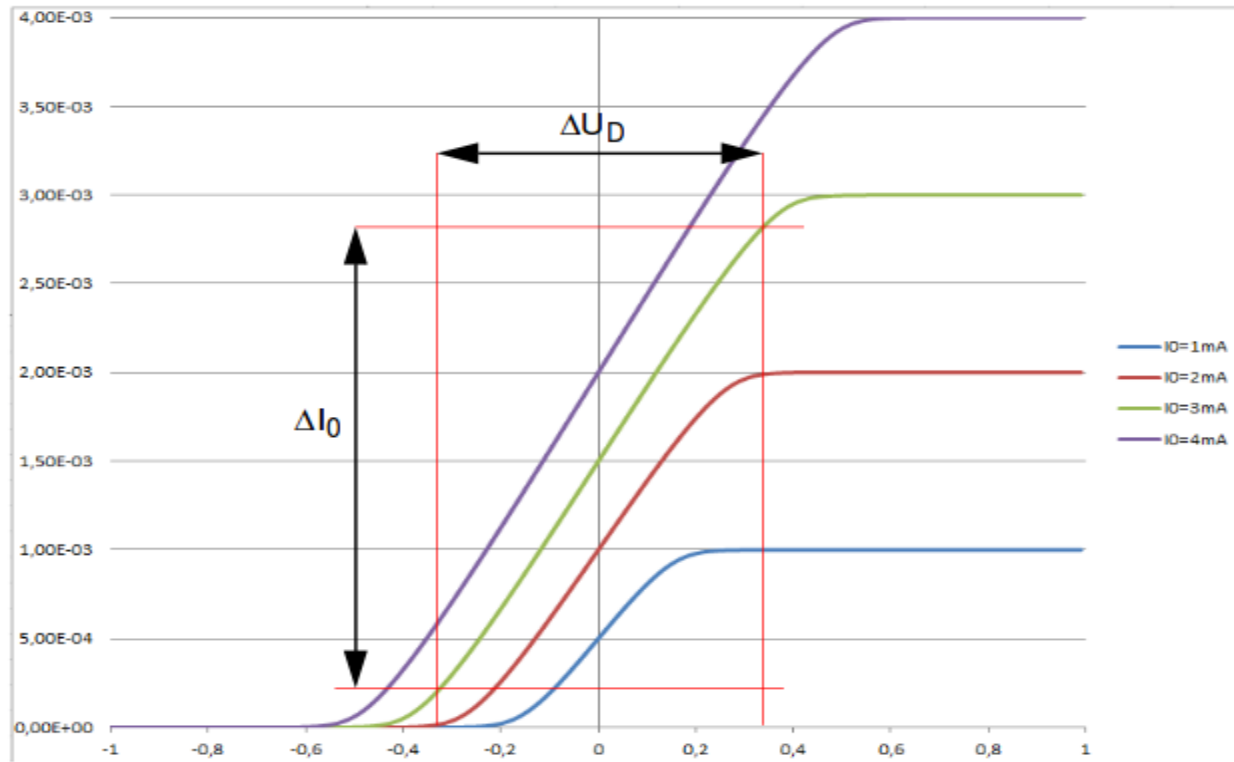
$$I_{E1} = I_0 \cdot \left(1 + e^{\frac{-U_D + 2 \cdot I_{E1} \cdot R_E - I_0 \cdot R_E}{U_T}} \right)^{-1}$$

aber nicht geschlossen lösbar

Iterativ/Newton-Verfahren:



Dimensionierung des Modulators



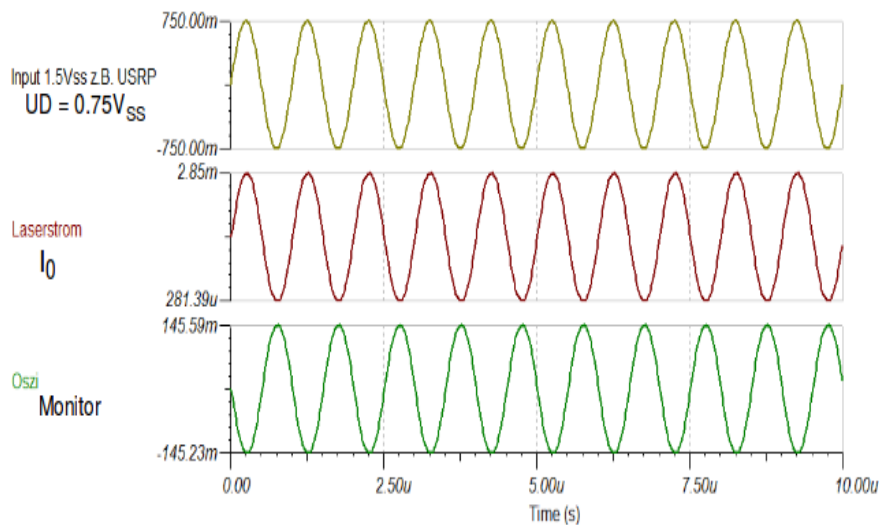
Vorgabe: Modulationsstrom, passend zur Laserdiode

Vorgabe: Amplitude des Eingangssignals zur Vollaussteuerung

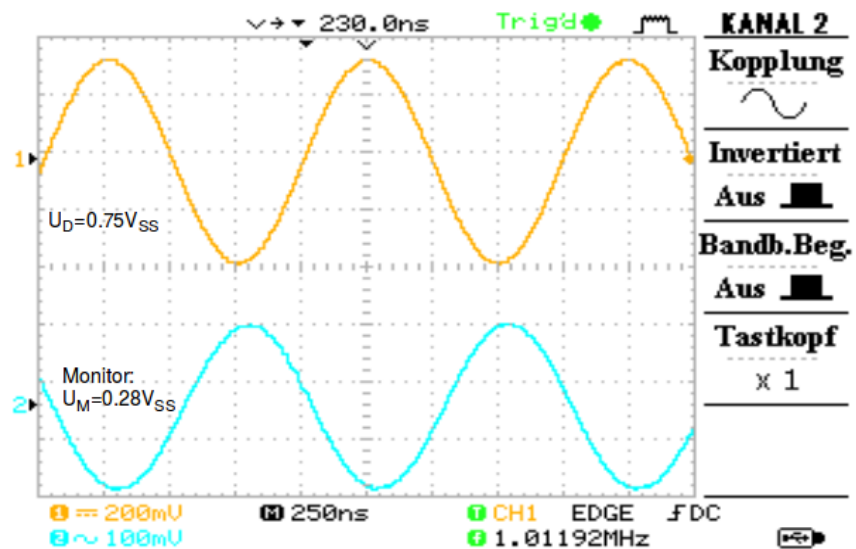
Berechnung: Widerstand R_E zur Stromgegenkopplung

Vergleich Theorie & Praxis

- Simulation mit Spice im Zeit- und Frequenzbereich vs. Messung

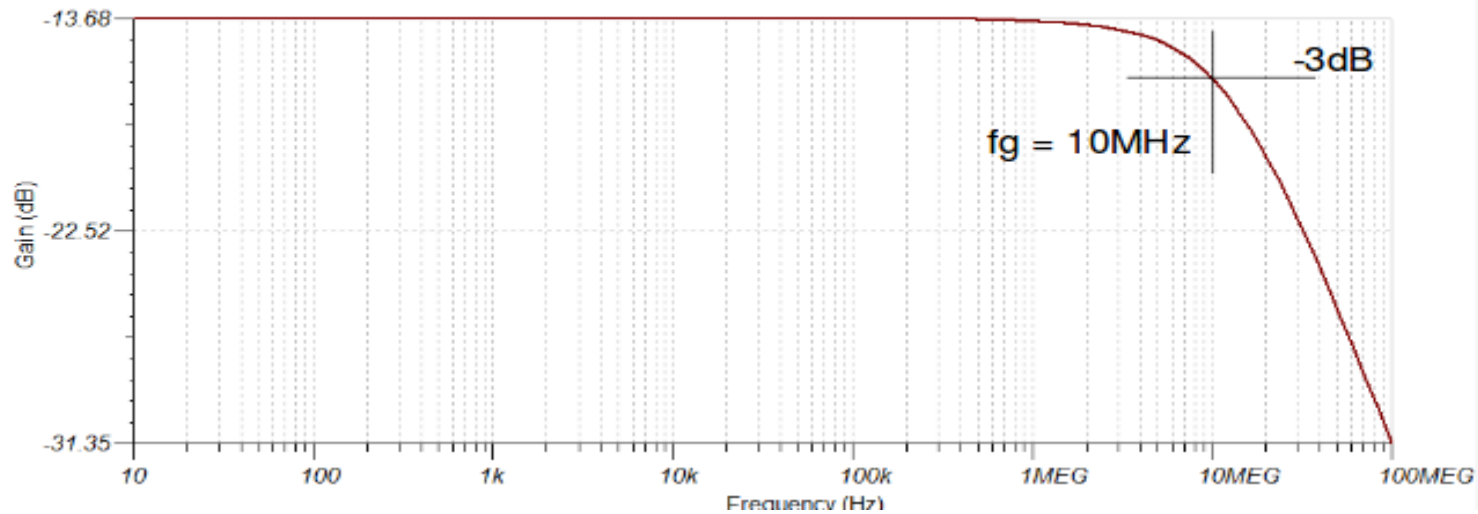


Simulation

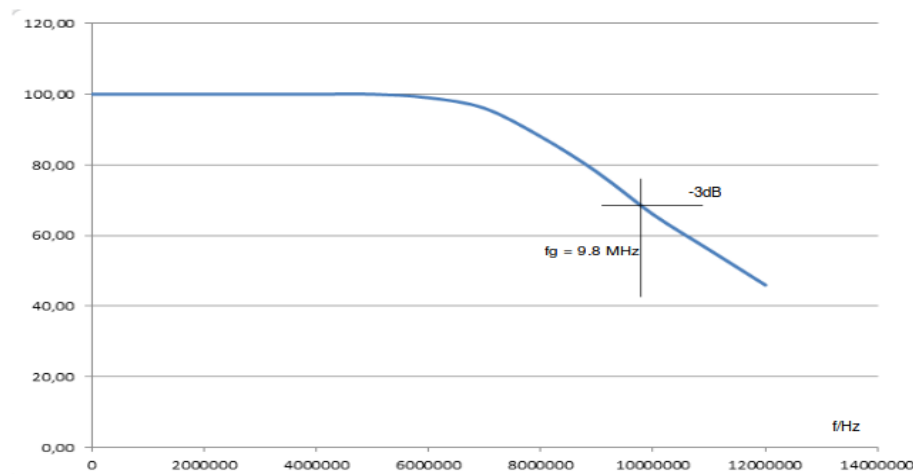


Messung

Grenzfrequenz des Modulators



Simulation

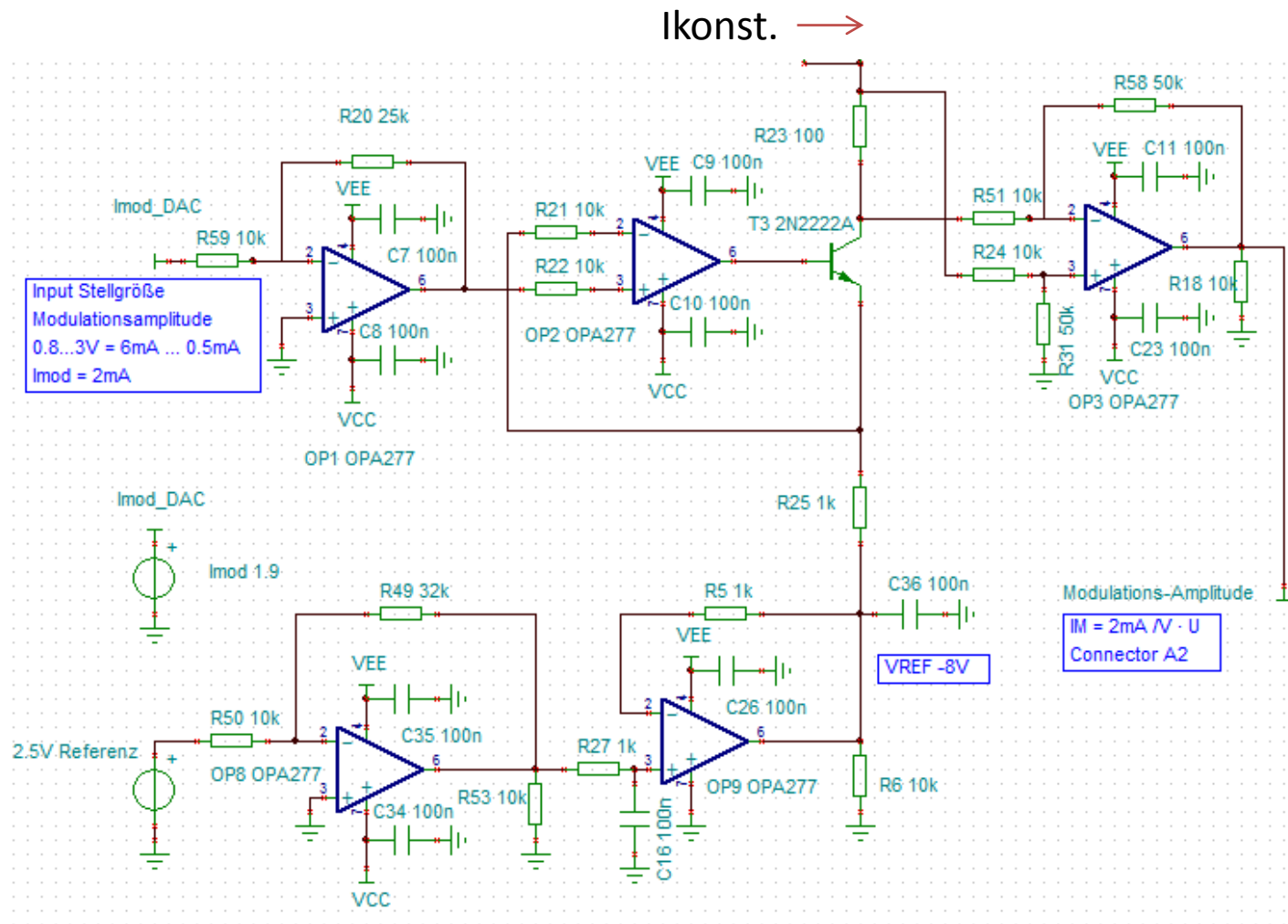


Messung

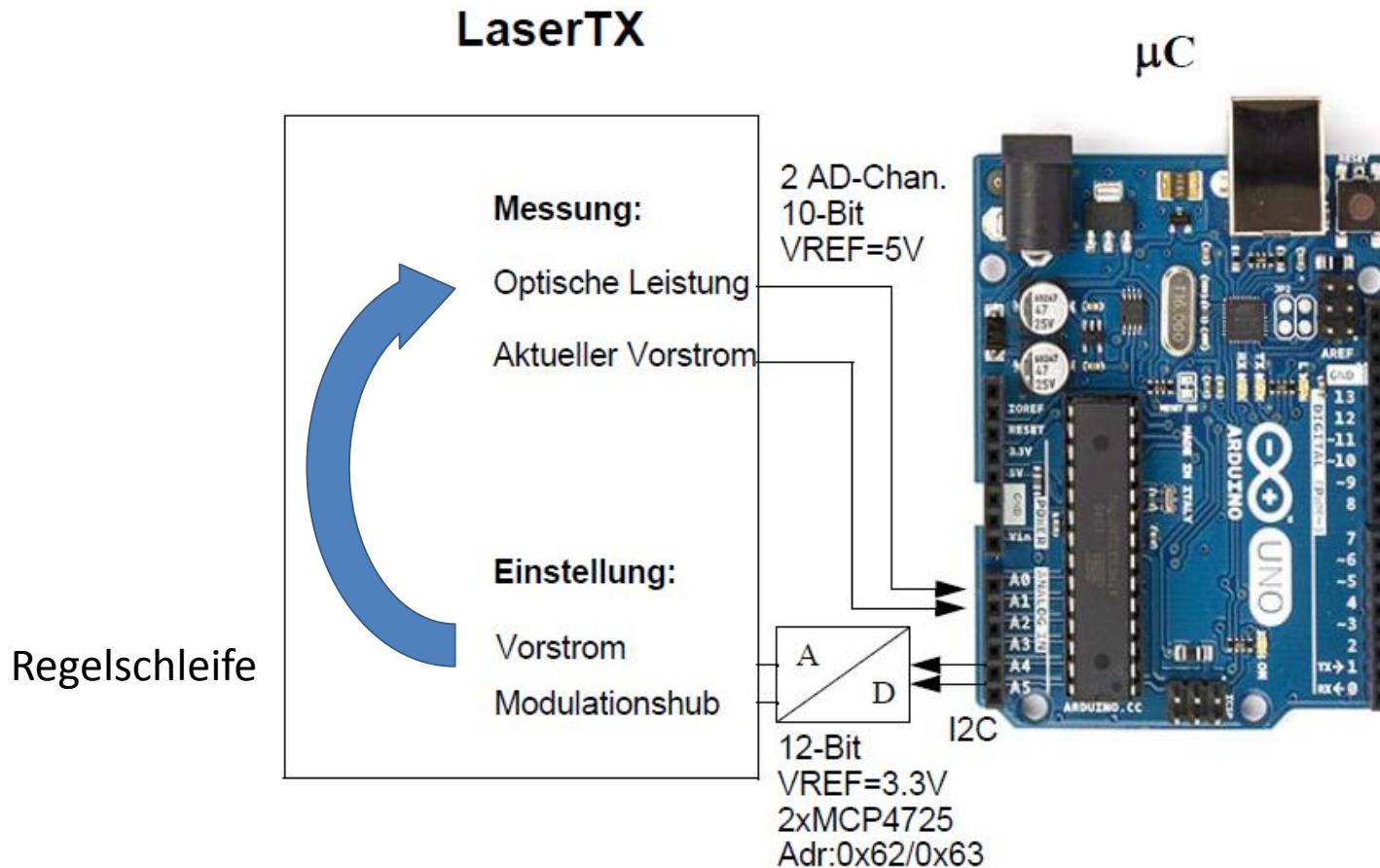
Weitere Komponenten

- Konstantstromquelle für Modulationsstrom
- Konstantstromquelle für Vorstrom
- Messung der abgestrahlten opt. Leistung mit Hilfe der Monitordiode im Laser
- uC für Einstellungen, Überwachung und Regelung

Beispiel: Konstantstromquelle

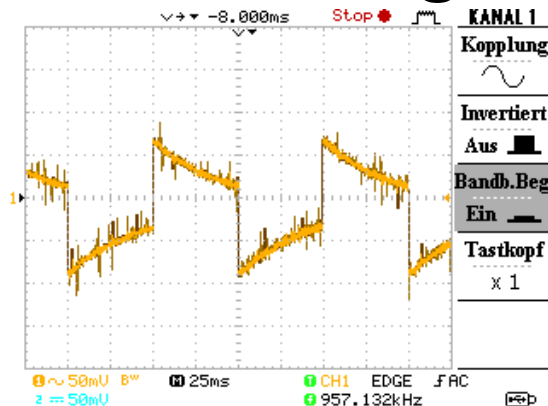


Die Zentrale: Arduino uC



PI-Regler für opt. Sendeleistung in Software

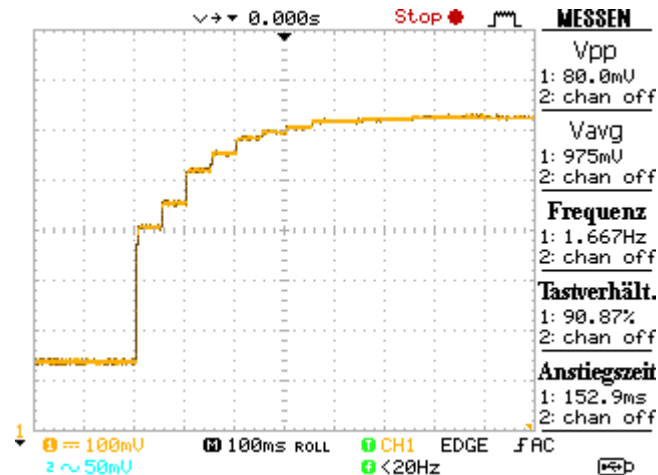
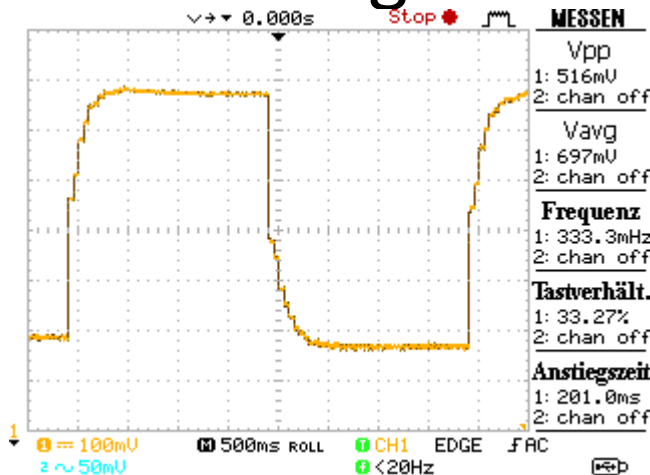
- Bestimmung der Schleifenparameter



I-Anteil auf 0

P-Anteil solange erhöhen, bis System
Stabil schwingt

- Einschwingverhalten



PI-Regler in C, Abtastintervall 50ms

Parameter der Regelschleife:

KP, KI, TI

Terminalausgabe:

```
void popt_control(void)
{
    error = Setpoint - LaserMonitor;

    ITerm += (KI * error);
    if(ITerm > I_MAX) ITerm = I_MAX;
    else if(ITerm < I_MIN) ITerm = I_MIN;

    ivor = (int)(KP * error + ITerm);

    i_control(ivor, imod);
}
```

P: konst. Leistung /I: konst. Strom

Einstellwert Vorstrom: I_{vor} = DAC/4095*3.3V

Gemessener Vorstrom in mA

mittlere optische Sendeleistung in mW

ADC-Wert Rücklichtdiode

Modulationsstrom I₀ in mA

Temperatur Laserblock in °C

P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2953	23.75	1.47	150	3.33	19
P	2954	23.75	1.46	149	3.33	19
P	2954	23.75	1.47	150	3.33	19

Demo

- Analoge Mehrkanal Audio Übertragung (AM)
- Digitale Audio Übertragung (4PSK)
- Digitale Übertragung einer Textdatei