

# Wer misst misst Mist .. Teil3



Christof Ermer  
Lehrstuhl Lupton, AG Schüller  
Fakultät Physik



Universität Regensburg

## Inhalt:

auf Wunsch:

### ein kurzer theoretischer Exkurs durch die Praxis der Messtechniken im Labor.

1. Betrachtungen der Signalweiterleitung
2. **2-Punkt** Messung  
**Unsymmetrischer und symmetrischer Anschluss**
3. Mögliche Erdschleifen berücksichtigen und vermeiden.
4. **4 -Punkt** Messung

*....ein bisschen Elektronik*

5. Messsignale kontrolliert analog aufbereiten und verstärken.  
(am Bsp. Temperatursensor **PT100**)
6. **Mikrocontroller** gestützte und damit kommunikationsfähige, steuerbare Laborgeräte, nach eigenen Wünschen gebaut:
  - a.) Schrittmotore und Fernsteuer-Servos als exakt kontrollierbare mechanische Antriebe
  - b.) Mikrocontrollereinsatz zur Steuerung und Datenübermittlung
7. Neuartige messtechnische Möglichkeiten und Techniken der Akkumulation und Verarbeitung am Beispiel der Field Programmable Gate Arrays → **FPGA**

## Messwerte aufnehmen und richtig interpretieren

Zuerst ein paar Binsenweisheiten:

In der Praxis begegnen uns mehr oder weniger beeindruckende, *teure* Messgeräte mit **genau ,wirkenden' digitalen** Anzeigen.

Zu leicht lässt man sich verführen diese Anzeigen als **absolute Wahrheiten** anzunehmen. Der angezeigte Wert ist das, was das Messgerät **sieht**, und das ist nicht unbedingt das, was man messen wollte.

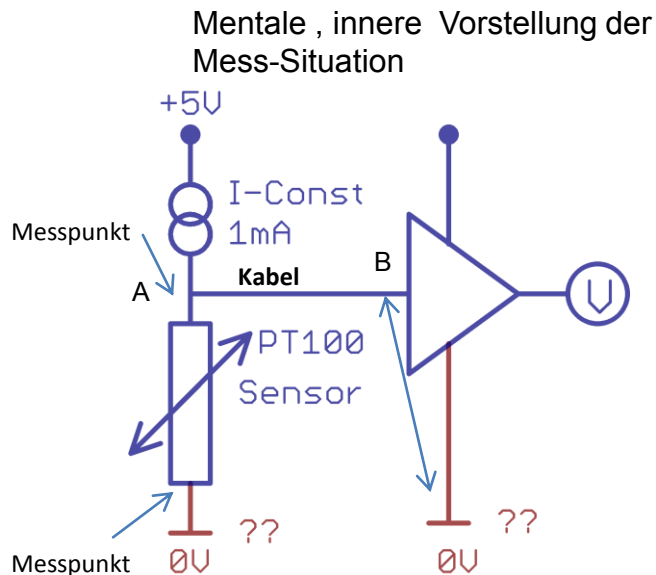
In den meisten Standard-Fällen, wo **Messgröße** und **Störsignal** in einem „erwartet“ großen Abstand sind, ist das auch praxisgerecht und akzeptierbar.

Doch wir arbeiten in der Physik naturgemäß an Grenzbereichen.

Das heißt, wir wollen des Öfteren  $\mu/n$  Ampere oder  $\mu/n$  Volt messen. Und da spielen natürlich alle beteiligten Komponenten eine Rolle.

**Ziel ist es, Laboranwendern den Blickwinkel zu schärfen, wie die Situation der Messsignal Adaption und Weiterleitung zu interpretieren ist.**

Messsignale liegen naturgemäß zwischen einem **Bezugspunkt** und dem **Abgreif-Messpunkt**. Meist liegt dieser Bezugspunkt ebenfalls an Masse/Earth/Ground → GND



Das reduzierte Mess-Schaltbild und die technische Realität stimmen selten überein !

Die Verdrahtung vom Signal zum Messgerät geht in der Praxis einen holperigen Weg über allerlei Stecker, Kabel, Schirmung, innere Anschlussleitungen, Platinenbahnen...usw....

Fragen:

Ist das GND bzw. 0V Potential am Messobjekt und Messgerät gleich?

Wie wird das Messsignal übertragen. ?

Kommt also das Signal A am Punkt B an?

**Galvanisch** mag ja das GND, oder auch an Messgeräten mit COM Bezeichnete Buchsen, mit der Sensormasse übereinstimmen.

Aber im (m)Ohm-Bereich eben nicht mehr. !

## Schirmung.

Gebraucht werden geeignete Maßnahmen zur Abschirmung der Messsignale gegen Störungen.

Dazu gibt es mehrere Herangehensweisen.

( aus aktuellem Anlass gut demonstrierbar )



Eine **Zweipunktmessung** ist das was der Name sagt.

Praxissituation Fall1: **unsymmetrischer Anschluss**

Erdfreie Messsignalquelle und erdgebundenes Messgerät:  
+ *einadriges, geschirmtes Kabel*.

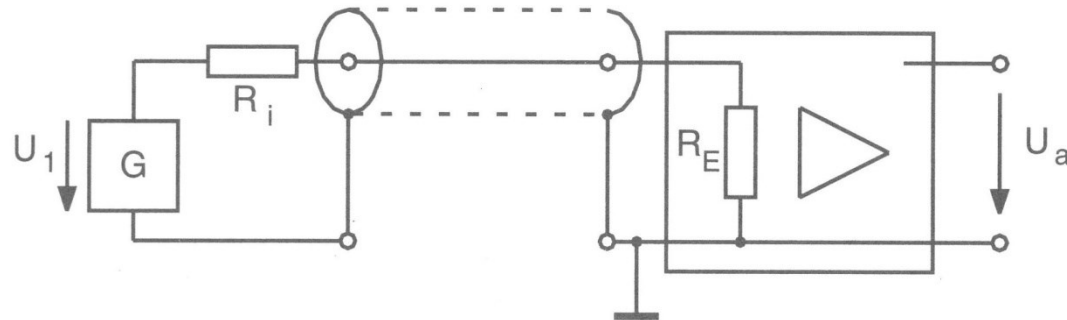
Vorteil: Keine Erdschleifenströme. Nachteil: Schirmung leitet das Signal

„ $R_i$ “ = Leitungswiderstand in Serie zum Generator-Innenwiderstand.

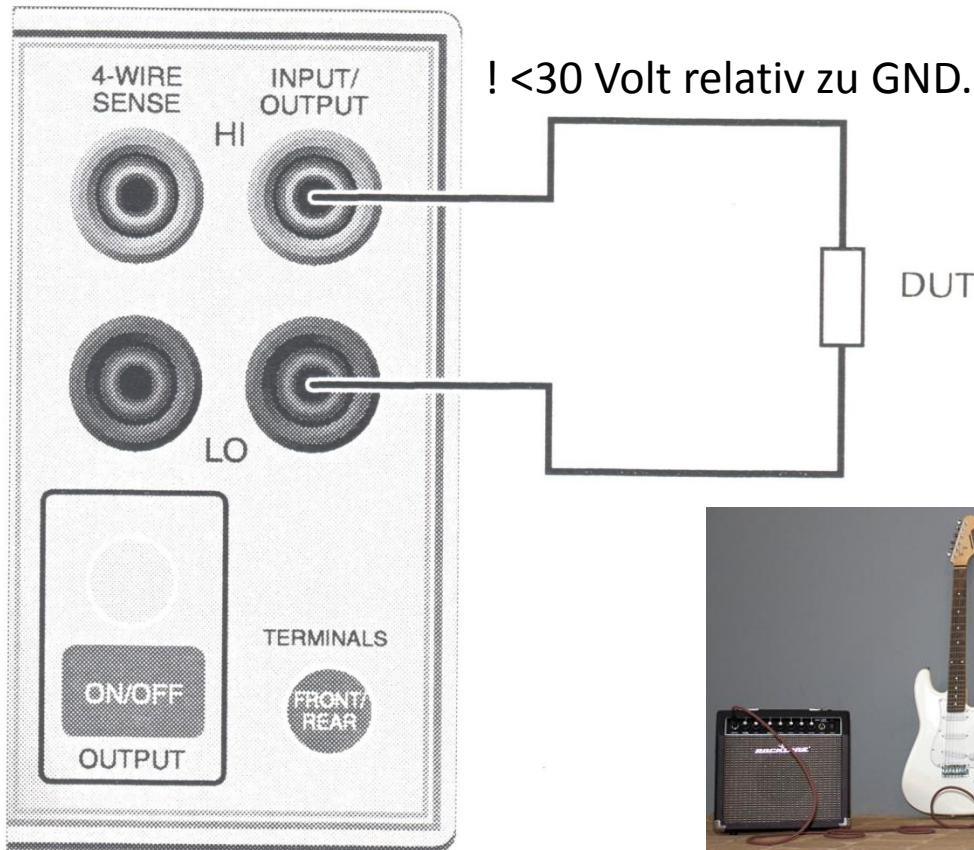
Konsequenz.. **Auch auf der Schirmung fließen Signalströme** = Spannungsabfall.

Das geht nur gut, wenn der Generator-Innenwiderstand **klein** relativ zu  **$R_E$**  ist,  
(*1:1000 zum Innenwiderstand des Messgeräts*) und das Signal nicht zu schwach ist, (*Bsp.  $>100mV$* ).

Sonst ist ein **Impedanzwandler** oder Spannungsfolger direkt am Sensor zu empfehlen.



Keithley Messgeräte haben 4 Buchsen, die somit möglichen 2, 3 und 4 Punkt Messungen ermöglichen.. Zunächst die 2 Punkt Messung.



SourceMeter Front Panel



Sense Selection: 2-wire

Die **2-wire local sense connection** ist **DEFAULT**.

Beachte:

Keine direkte Earth/Ground Verbindung!..

**LO ist NICHT Masse !**

Dafür kann/soll man selber sorgen.!

Merkbild:

Das ist vergleichbar eines Pickups einer Elektrogitarre, wo der Gitarrist Gummisohlen hat.

(...somit isoliert vom Ground)



Um Messsignale von Ort **A** sicher zum Messgerät an Ort **B** zu bringen benutzen wir standardgemäß abgeschirmte Kabel. Meist in der Form einpoliger BNC Koaxialkabel vom Typ RG58/59 mit der HF-Typischen 50 Ohm Impedanz.



Merke:  
Die beliebten  
**Bananen-BNC** Wandler  
haben folgende  
Konsequenz:

Die Schirmung des BNC  
Kabels ist „NICHT“  
geerdet!  
( Brummgefahr )  
Man nennt den  
Signaltransport  
„**unsymmetrischer**  
**Anschluss**“



## Messschaltung mit möglicher Erdschleife.

häufig anzutreffende Situation: (z.B. Fotodioden im Gehäuse mit Masseverbindung eines Pols)  
.....wieder ein asymmetrischer Anschluss.

Fragen:

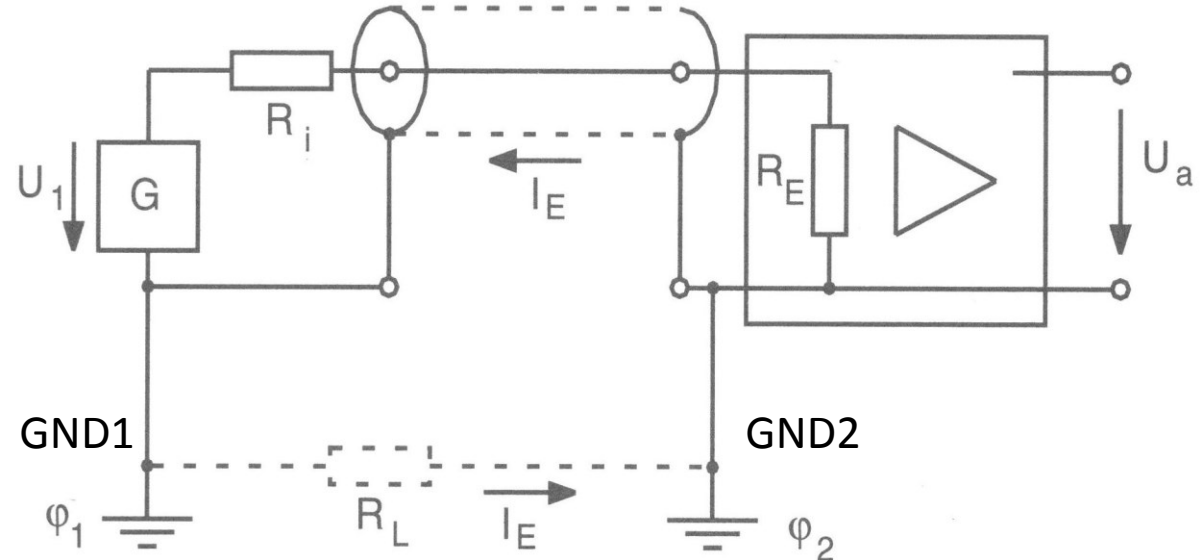
ist GND-1 gleich GND-2 ?

Signalquelle geerdet ( z.B. Optik-Tisch)

Es können  
vagabundierende  
Ströme über  
RL ( z.B. Optik-Tisch )  
laufen und so ‚schmutz‘  
einfangen

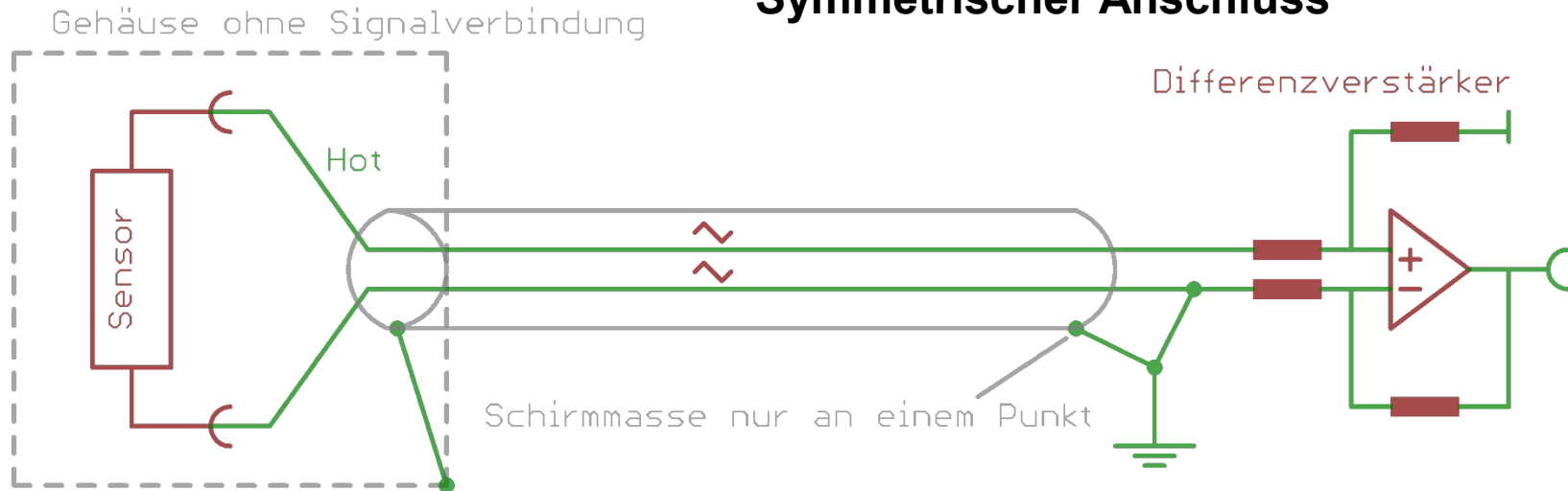
Störsignalquellen:

1. Innenwiderstand  $R_g$
2. Leitungs-widerstand  $R_i$
3. Eingangs-widerstand  $R_e$



Merkbild.. Der Gitarrist steht nun barfuss im Wasser.

## Symmetrischer Anschluss



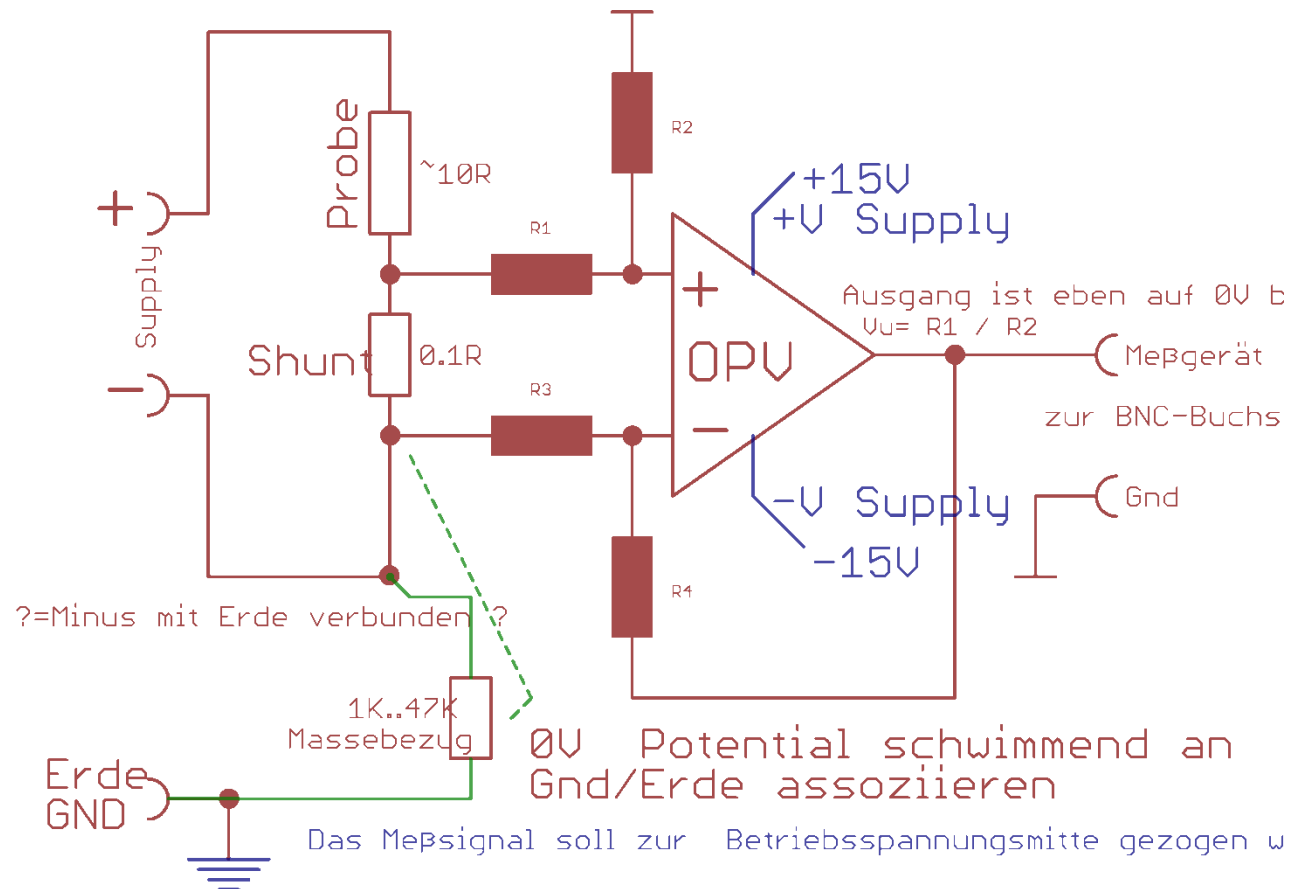
Schirmung ist galvanisch verbunden, aber stromfrei  
Damit laufen keine Signalanteile auf dem Schirm  
Nachteil: 2-Adriges Kabel erforderlich.

Eine bessere, jedoch aufwendigere Lösung ist die Verwendung von **2 adrigen, geschirmten** Leitungen. ( und leider geht damit das beliebte **BNC Kabel** nicht. )  
Dabei ist nur eine Signalleitung „**an nur einer Seite**“ **galvanisch** (direkt) mit dem Schirm verbunden.  
Die Schirmung liegt wie ein, „an der anderen Seite **offener Strumpf**“ um die Signaldrähte. Die Schirmung ist also stromfrei.. und kann somit keine Störungen auf das Signal addieren. ! Diese Kabel muss man typischerweise so **selber bauen** !

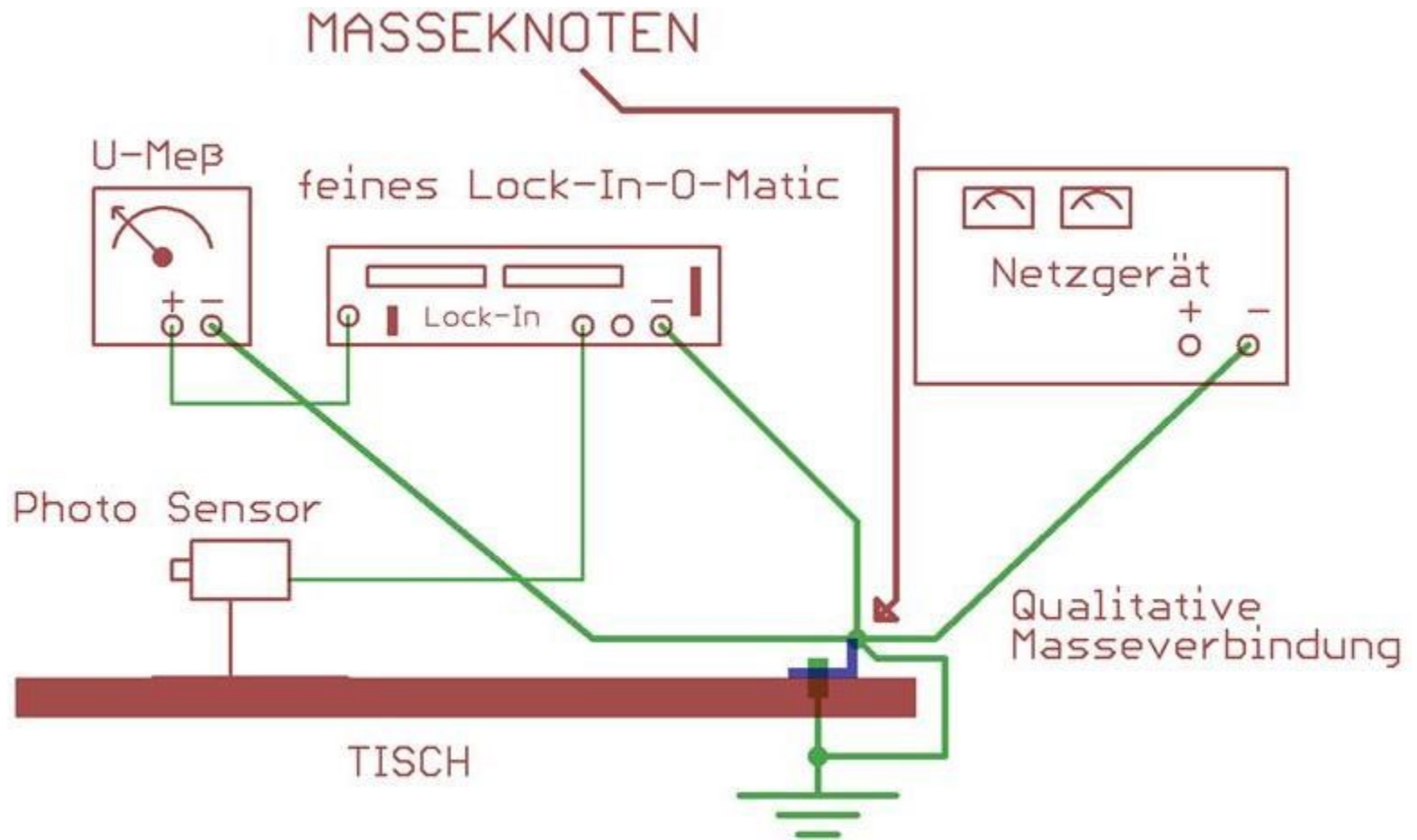
## Potentialausgleich schwimmender Massebezüge von quasi potentialfreien Signalquellen.

Batterie betriebene Multimetern in ihren isolierten Gehäusen ist es egal welche Potentiale man misst.

Erdgebundene Meßgeräte jedoch wollen das Meßsignal in der Nähe der Mitte der Betriebsspannung assoziiert haben. Dies kann man mit einem Potentialausgleichswiderstand erreichen.



## Maßnahme zur Vermeidung von Erdschleifen



Zur **Vermeidung von Erdschleifen** können die beliebten **Steckerleisten** mit einem zusätzlichen Erdungs-Stecker bestückt werden, dessen ‚dicker‘ Draht zum **Knotenpunkt** geht.

(sollten Probleme dieser Art auftreten.)

Hier ist die seltene kommerzielle Spezies des Schuko-Steckers ohne Stromkontakte, aber mit **Erdungsdraht** zu sehen. Die Öse kommt an den Knotenpunkt.  
(Leicht selbst zu bauen.)



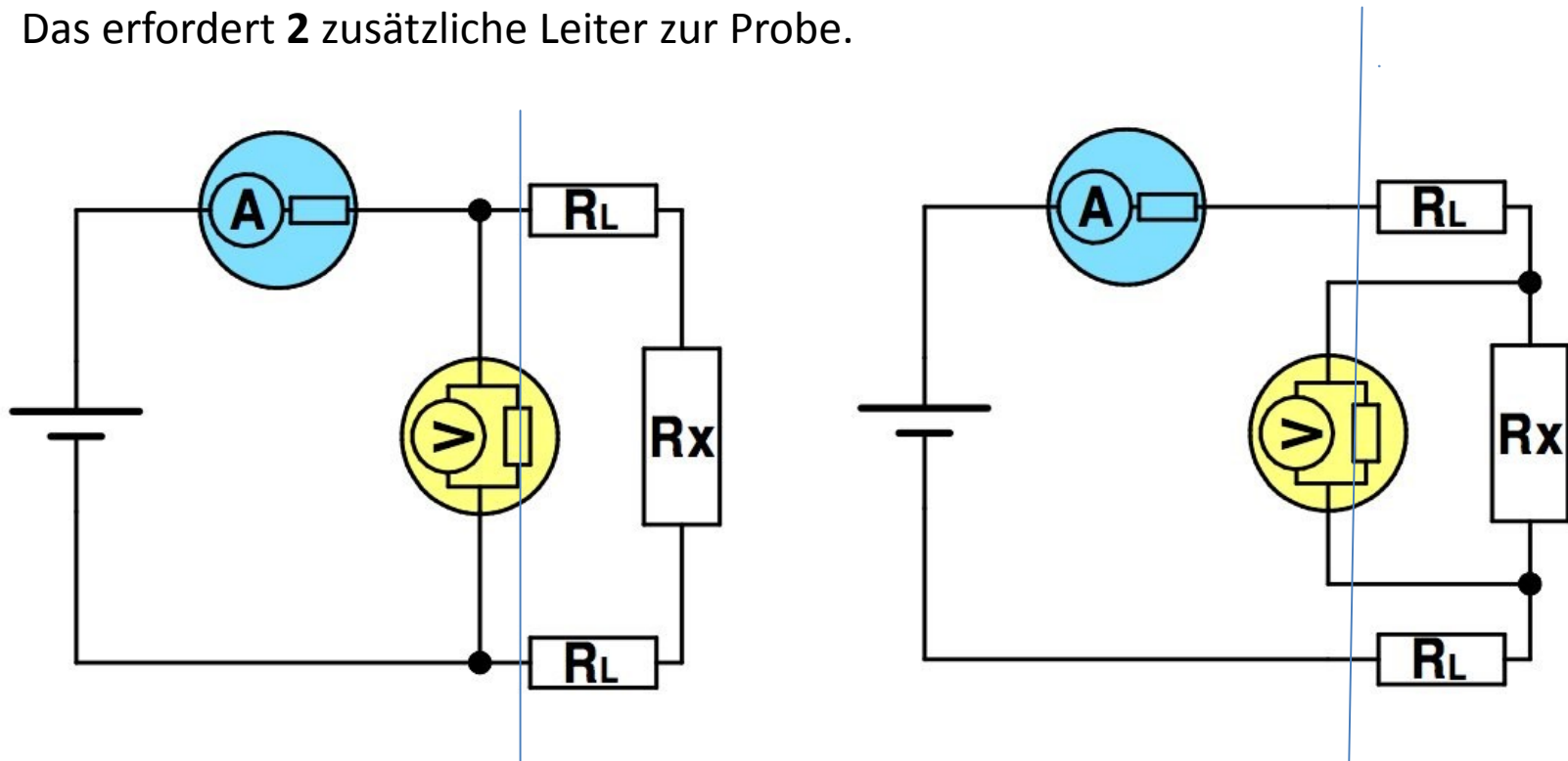






## 2-Leiter versus 4-Leiter Messung

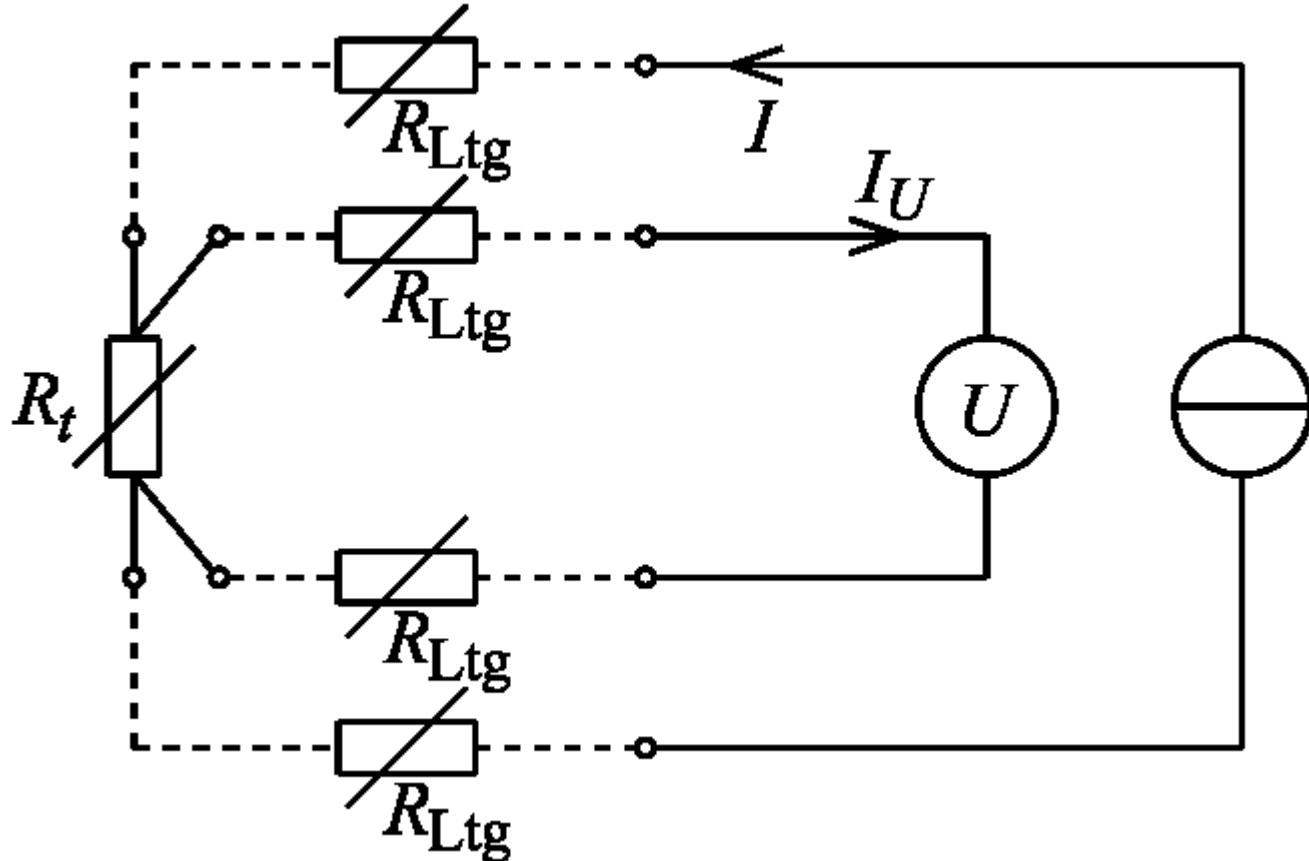
Beide sehen sich ähnlich, mit jedoch einem kleinen Unterschied.  
Die **Spannungsmessung** erfolgt **direkt** am Messobjekt  
Das erfordert **2** zusätzliche Leiter zur Probe.



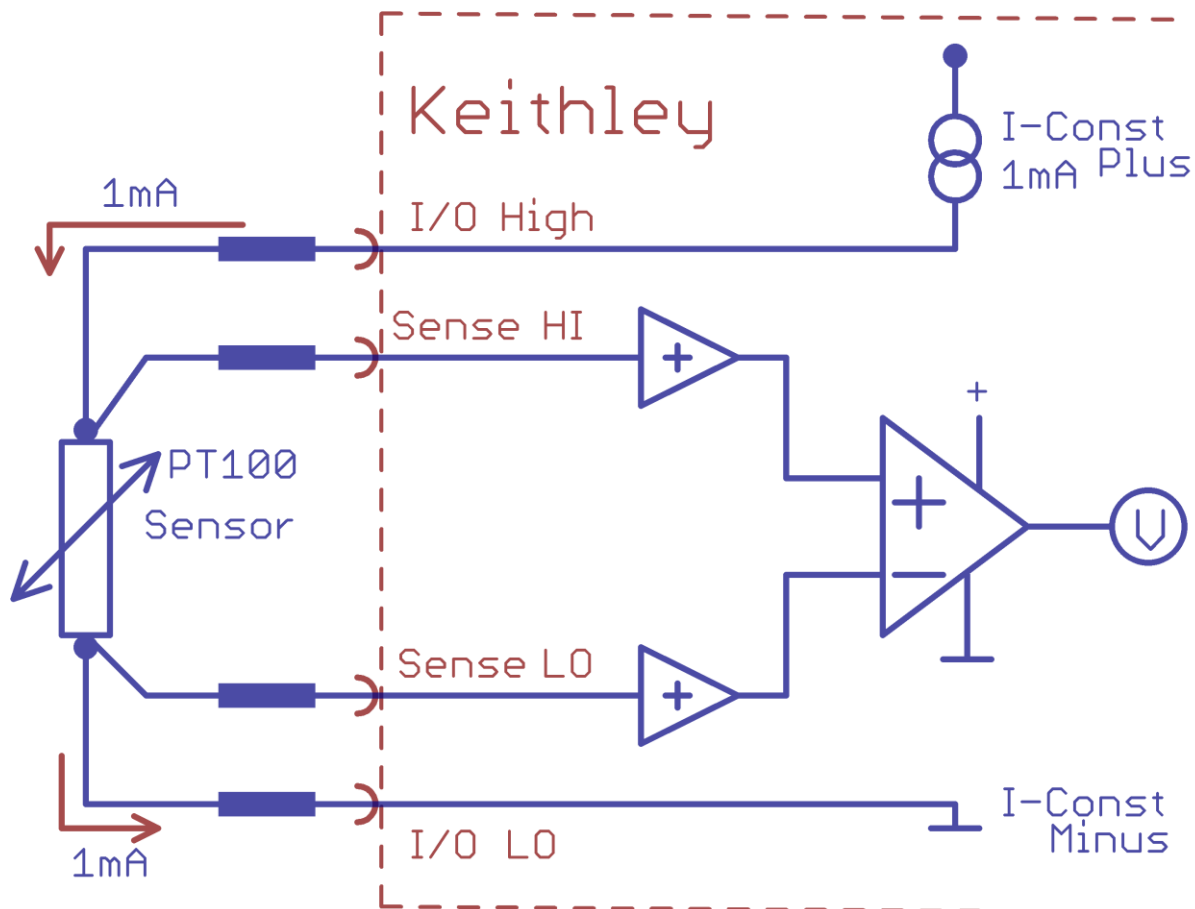
Die Linie trennt das Messgerät von der Außenwelt  
Das sehen wir uns genauer an...

## Vierleitermessung

Trotz galvanisch verbundener Leiter „an  $R_t$ “ ist der Stromfluss in den einzelnen Drähten unterschiedlich. Wikipedia sieht es zwar so ---> aber so erkennt man den Zusammenhang noch nicht gut, bis auf die Leitungswiderstände



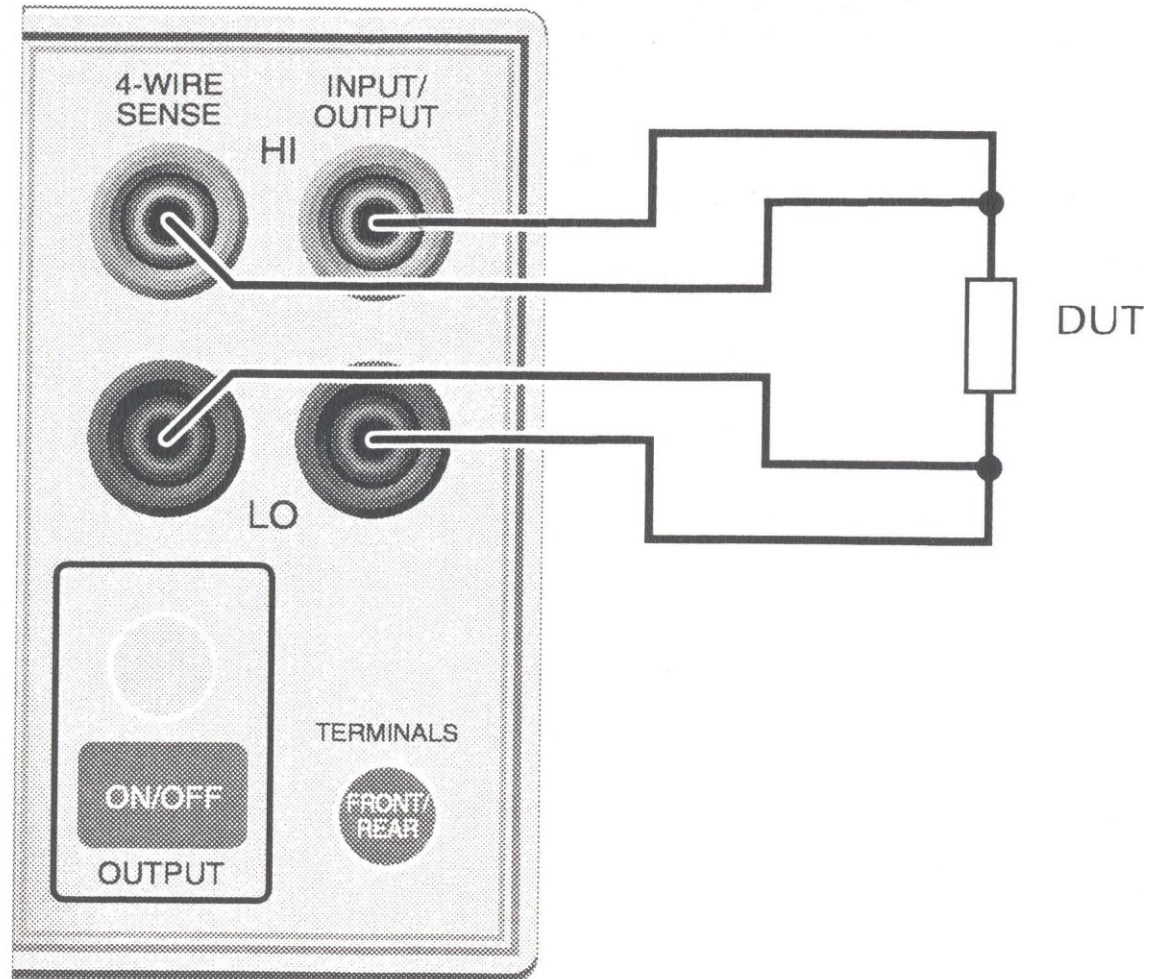
Gut zu erkennen, Stromflusszweigung direkt am Sensor.  
Sense LO/HI ist die hochohmige Spannungsmessung und damit nicht strombehaftet. Die Leitungswiderstände spielen so gut wie keine Rolle.



So wird das Keithley  
angeschlossen.

Achtung, der 4-Leiter  
Modus muss natürlich  
erst aktiviert werden.  
(not default!)

Configure V-Source  
Menu-→  
Sense-Mode Option→  
4-Wire Sensing

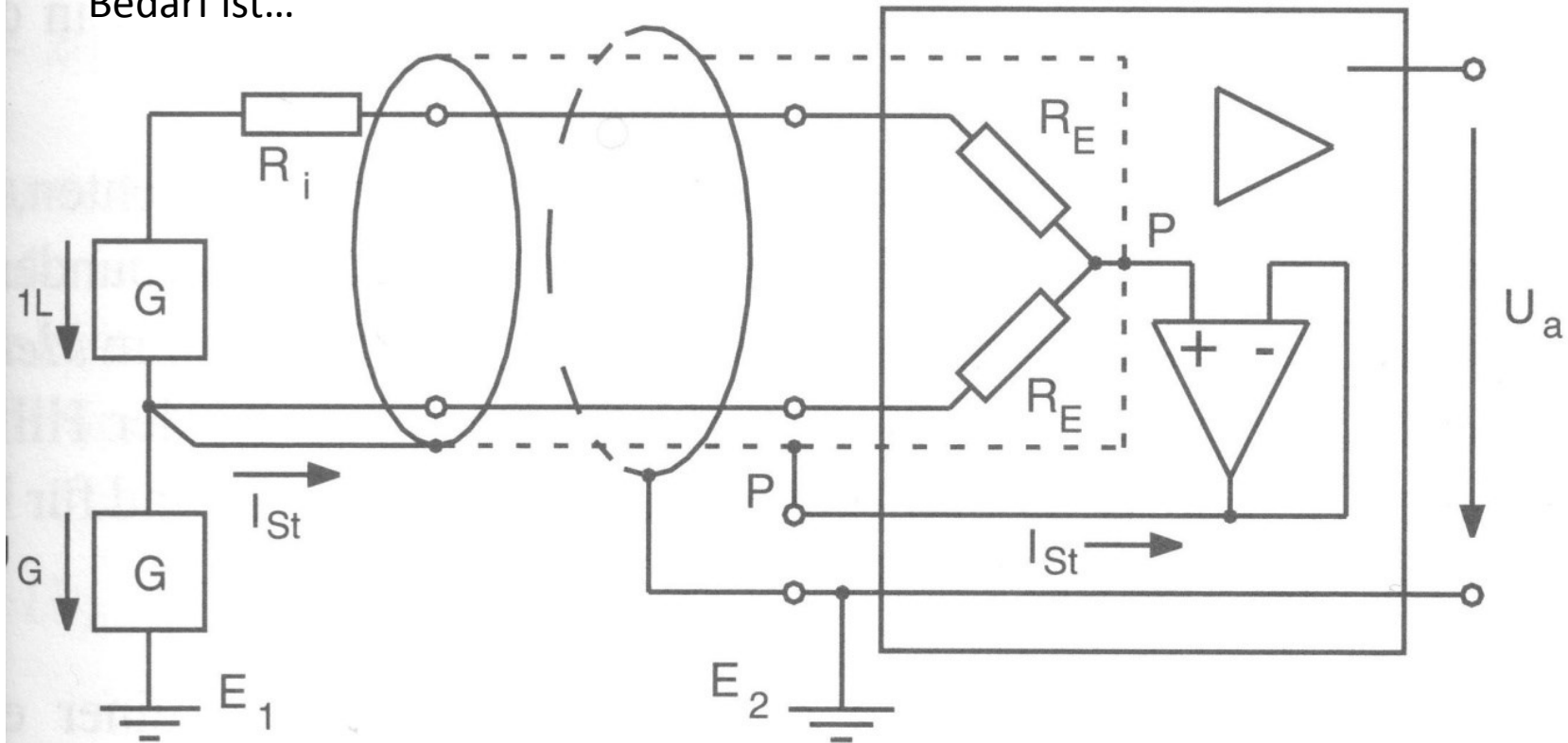


SourceMeter Front Panel

Sense Selection: 4-wire

Sehr Interessant: **Aktive Schirmung.**

Der Messverstärker führt die „innere“ Schirmung im Signalpegel nach..  
(keine kapazitive Pulsdämpfung !!) Doppelt geschirmtes Kabel empfohlen.  
So etwas können wir bauen, falls einmal bei schnellen, schwachen Pulsen  
Bedarf ist...

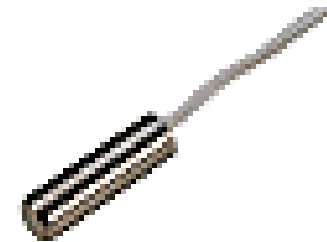


**Sensoren und Messsignale verstärken.  
Diese Signale somit an die Messwerkzeuge anpassen.**

Exemplarisch an einem Temperatursensor vom Typ PT100



# Temperaturen messen mit PT100 oder PT1000



Was heißt PT100?

PT steht für das Material, aus dem der Messwiderstand ist.

PT: Platin, Ni: Nickel.

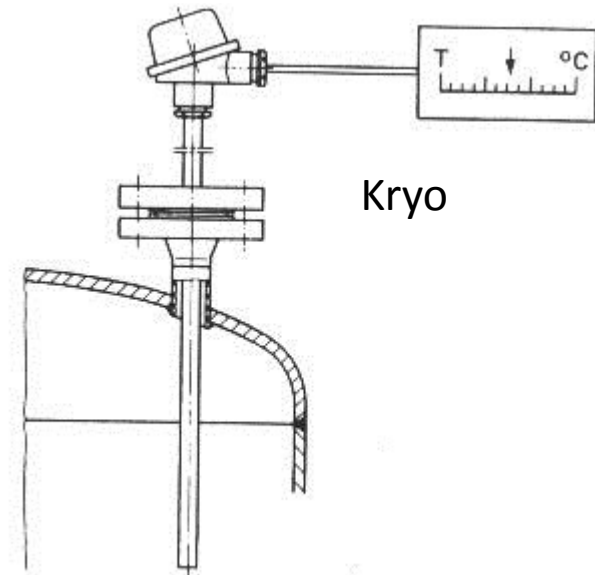
100 steht für den Widerstandswert in Ohm, welchen der Messwiderstand bei  $0^{\circ}\text{C}$  annimmt.

Bauformen..

Von ganz winzig  
(4mm), um diese  
z.B. in Spulen mit  
einzuwickeln,  
bis sehr robust.



4mm



Kryo

## ***Die Messschaltungen***

Oder:

**Was nützt ein genauer, teurer Sensor.....**

...wenn die Verdrahtung Störsignale auffängt,

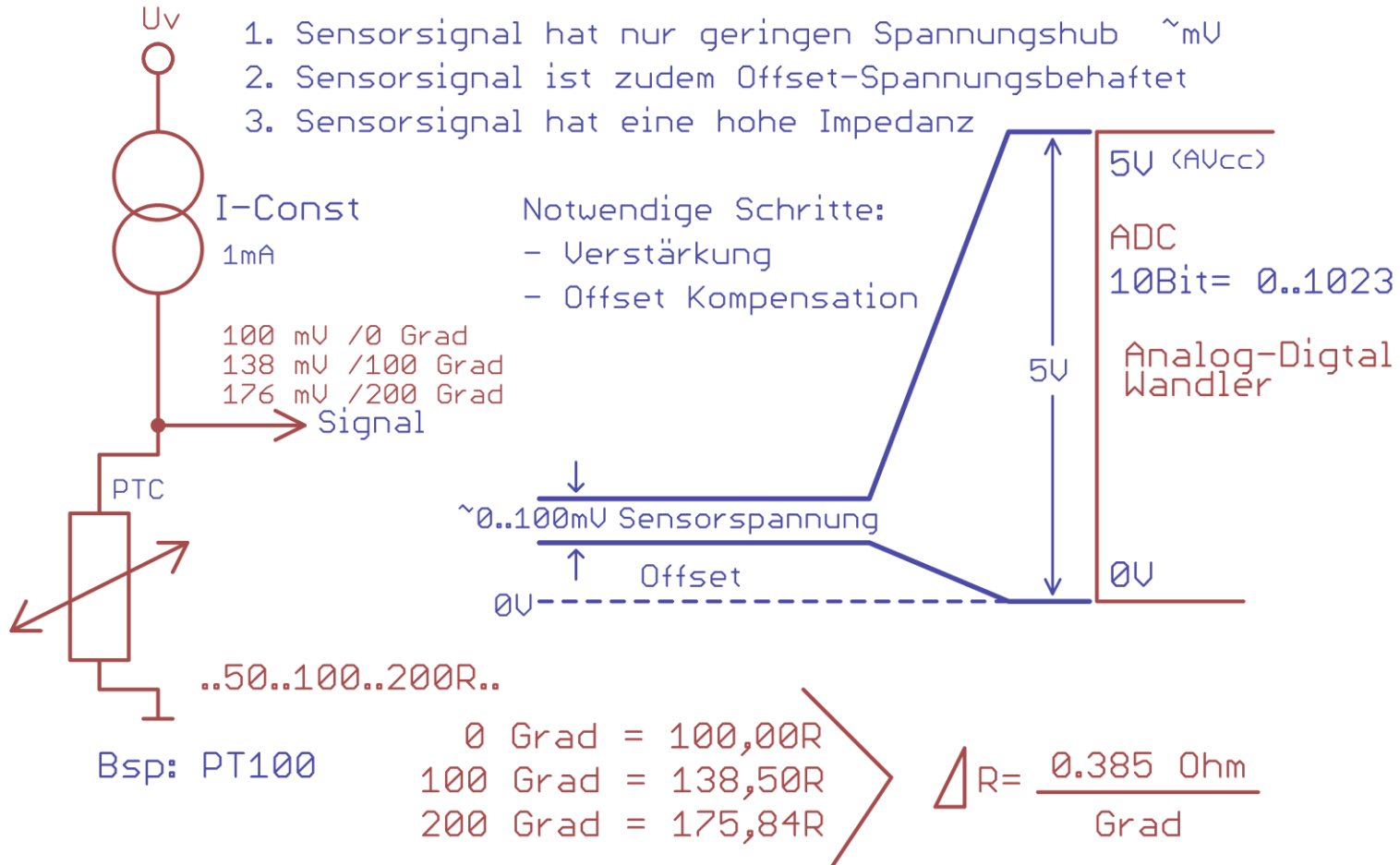
( 2-Punkt Messung, unsymmetrische Verkabelung)

...wenn der Messwandler (ADC) nur mit geringer Auflösung der Präzision nicht folgen kann,

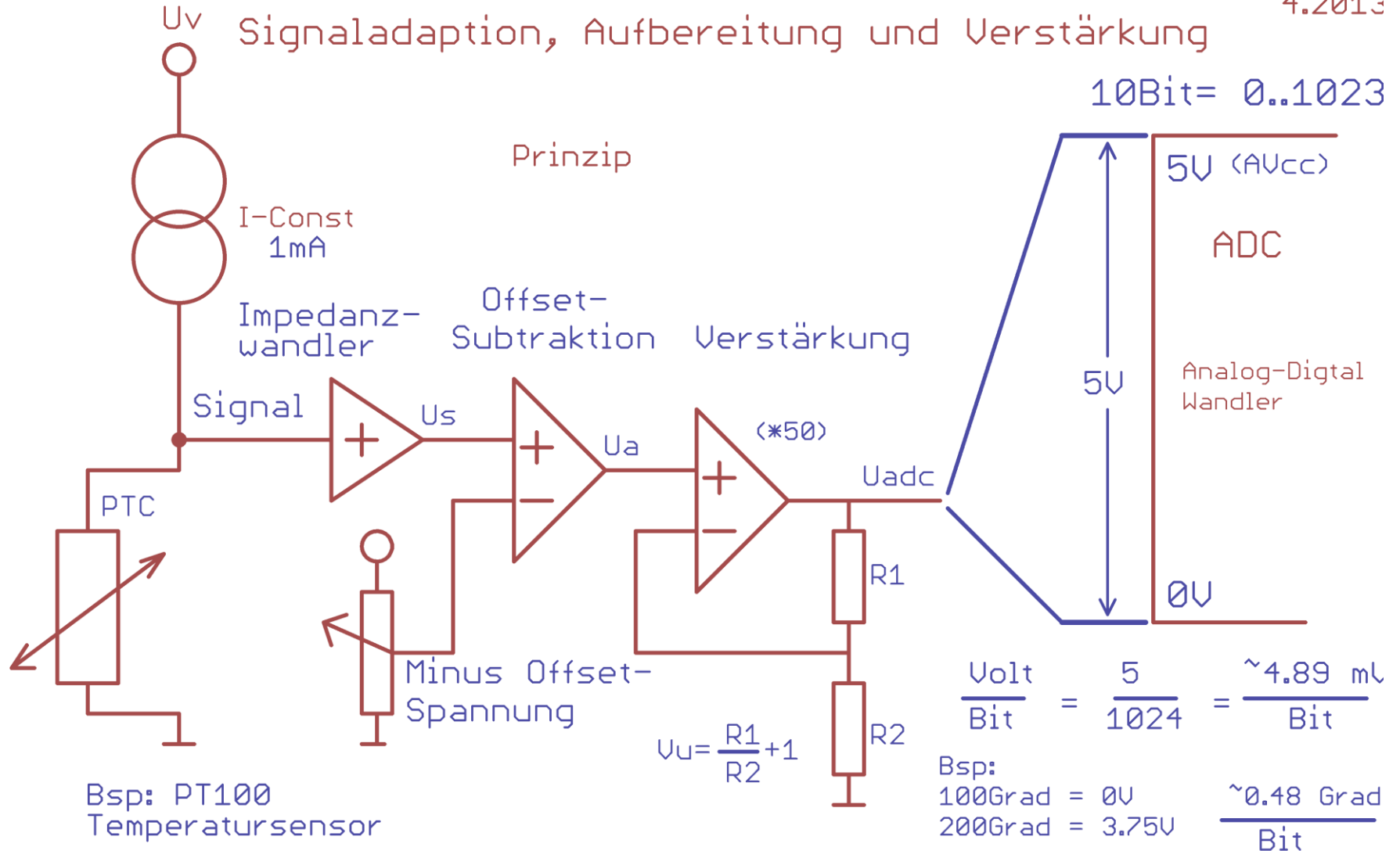
...wenn eine Temperaturdrift des Messverstärkers nicht kompensiert wird.

...die Software sollte zudem aus den Kalibrier-Tabellen Zwischenwerte interpolieren können.

## Probleme mit schwachen Signalen. Sensorsignale (z.B.: PT100) an den Messwandler (ADC) anpassen.



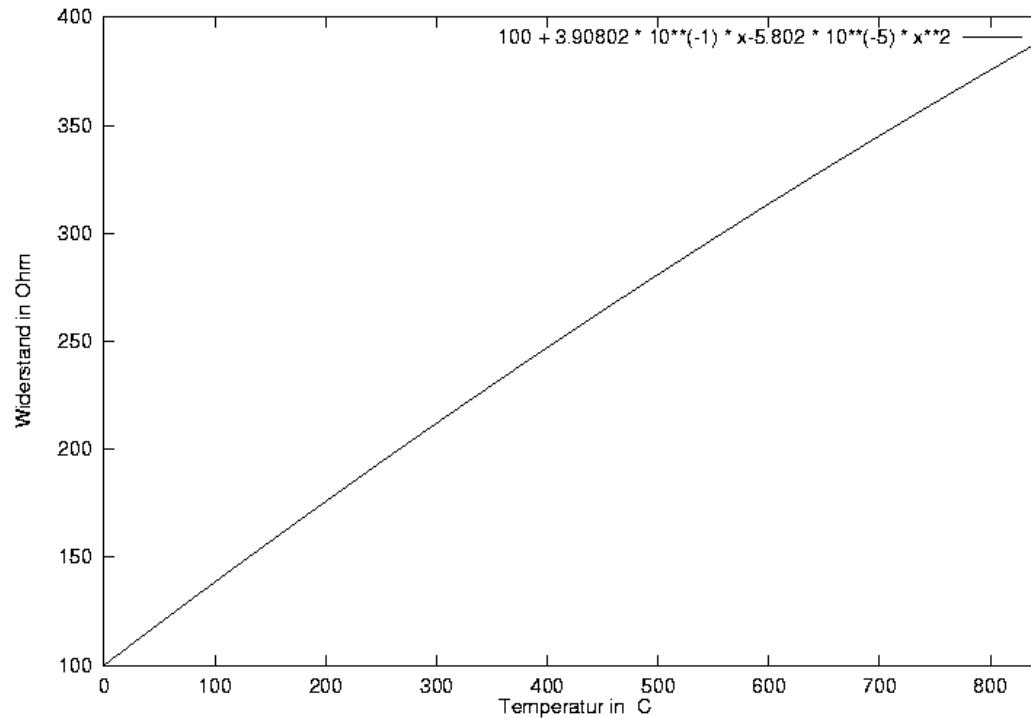
# Signaladaption, Aufbereitung und Verstärkung



Bsp: PT100  
 Temperatursensor

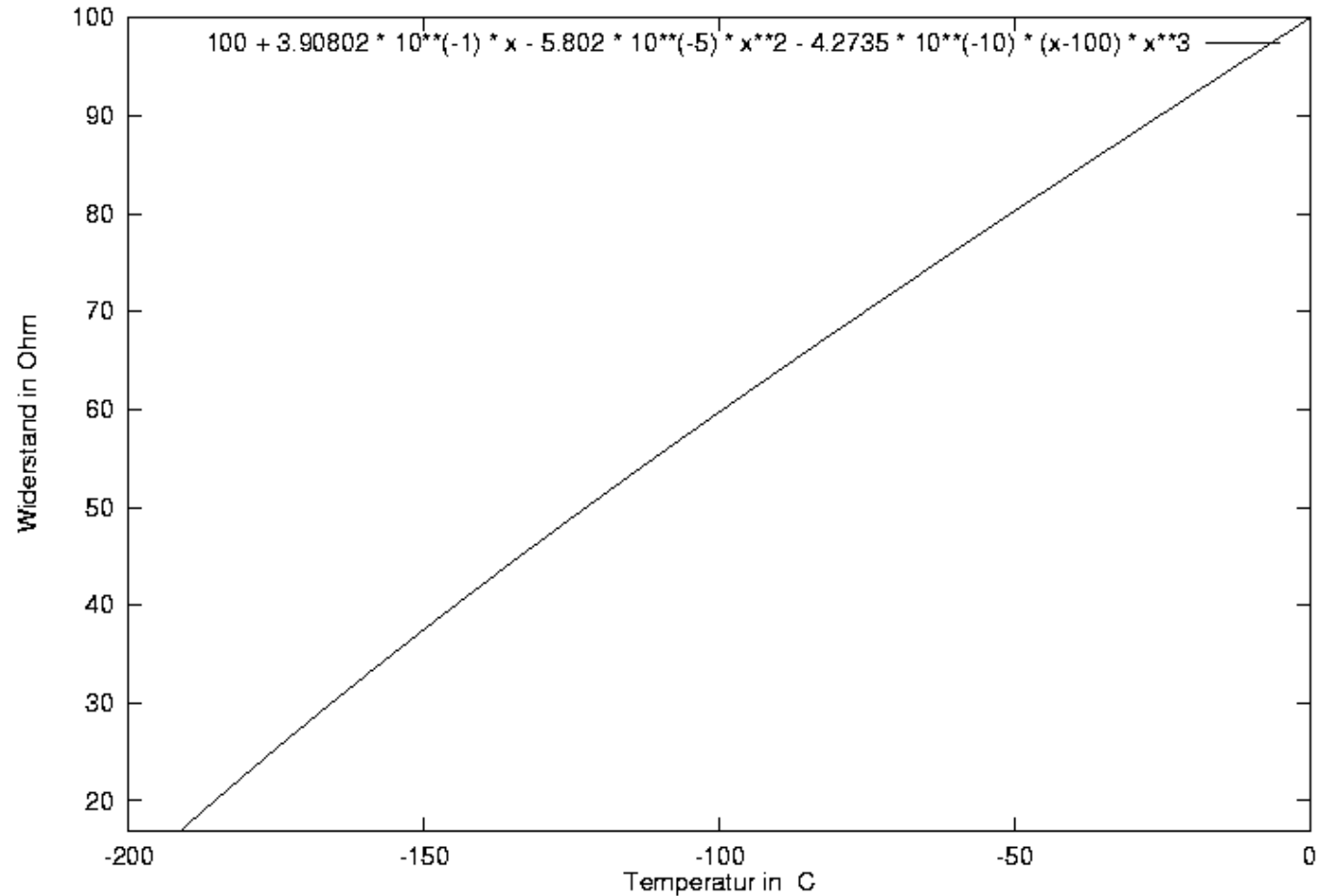
**0 bis 800 Grad**<http://www.abmh.de/pt100/tabelle.html>

Man sieht, wie der PT100 wunderbar - fast linear - der Temperatur folgt.



**-200 bis -0 Grad**

<http://www.abmh.de/pt100/tabelle.html>





In dieser gutgemeinten „Hau-Ruck-Schaltung“ sind gleich mehrere „Schwammigkeiten“.

Eine **Brückenschaltung** ist schon mal ein guter Ansatz. Aber:

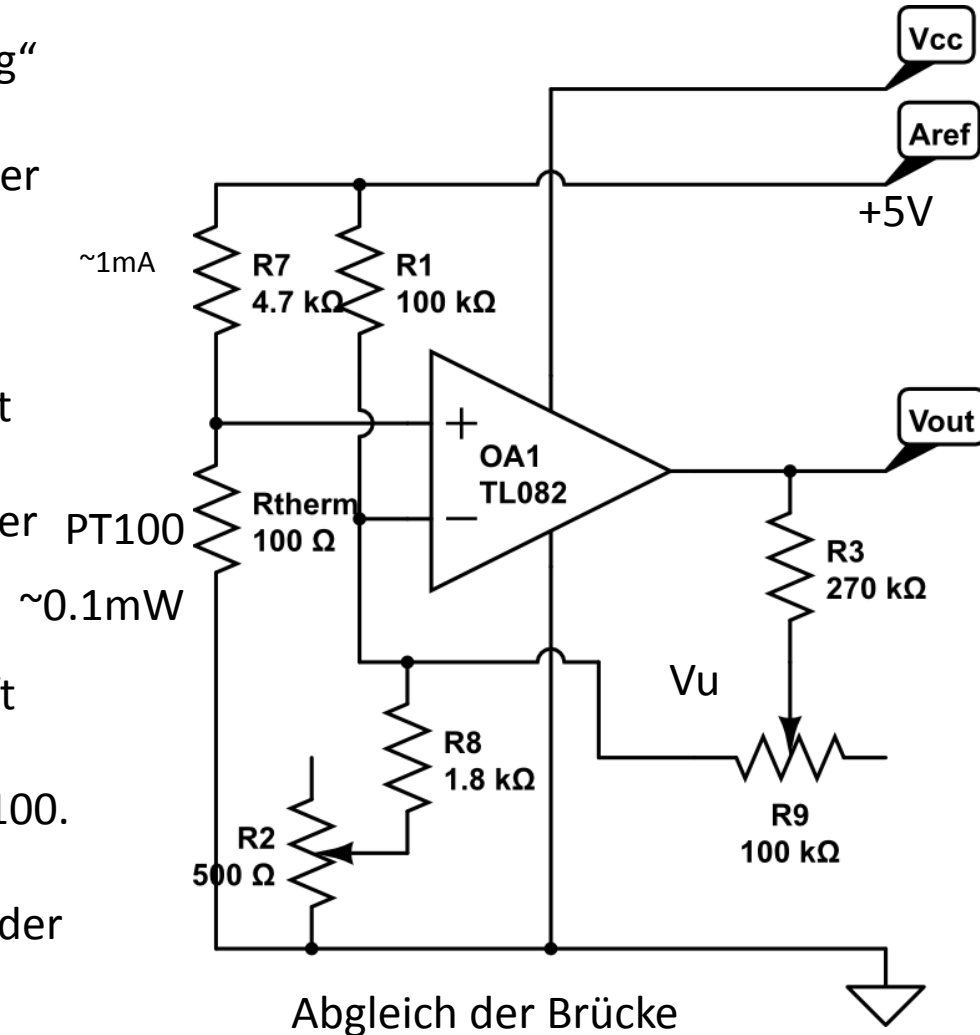
Der Strom von etwa 1mA durch den PT100 Ohm Widerstand erwärmt diesen leicht. 0.1mW auf die **Minimasse** des Sensors spielt jedoch eine Rolle.

Ungünstig für eine Wärmemessung, wenn der PT100 Sensor warm wird.

Und z.B. das Helium dankt es auch nicht.

Die Brücke läuft also mit einer gewissen Drift davon. ( unstabiler Offset )

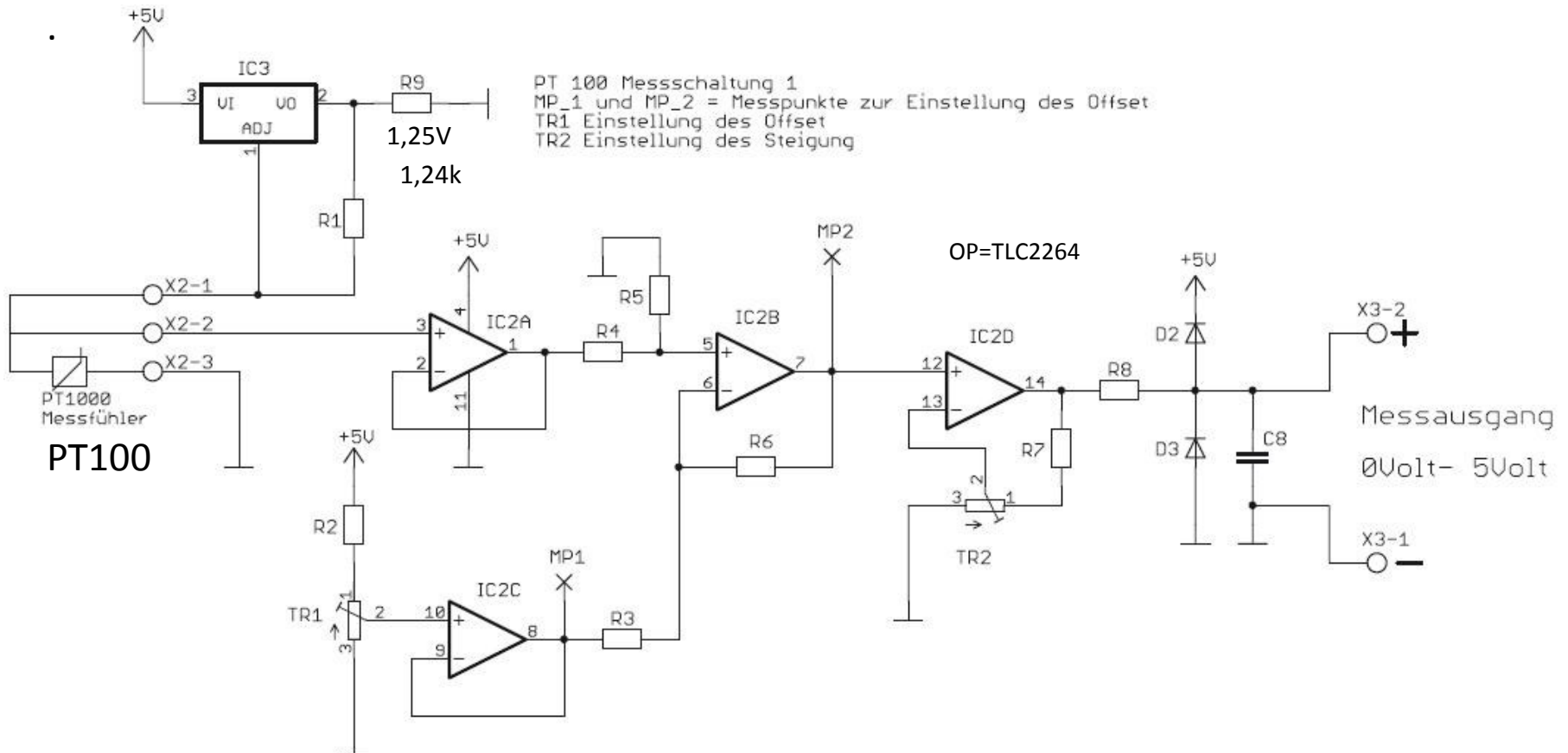
Zudem **ändert sich der Strom** durch den PT100. Der mit der Brückenformel  $R1/R2=R2/R4$  ermittelte Widerstand ist also weit jenseits der noch akzeptablen Toleranz von 1%



Konstant-Stromquelle mit LM317 auf 1mA..

Einfache Widerstandbestimmung mit  $R=U/I_{(konst.)}$ .

Aber... *der Elektroniker nennt das „Gefrickl“*, nicht zu Unrecht... Impedanzwandler, Differenz-Offsetkompensation, anschließende Verstärkung auf ADC Eingangsbereich um die volle Bitbreite auszunutzen.



**Noch ein Tip:**

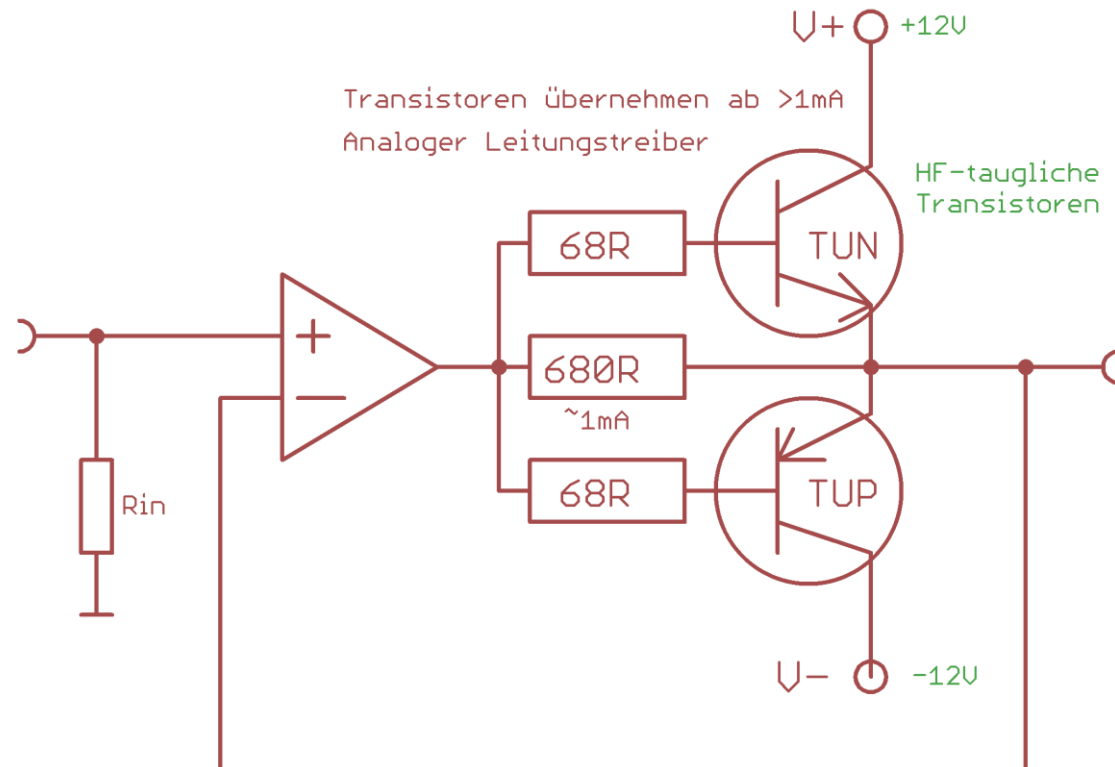
Oft haben Eingänge von von HF tauglichen Geräten, z.B. LOCK-INS etc. eine Eingangs-Impedanz von  $\sim 50 \text{ Ohm}$ .

Angepasst an das RG58 BNC Kabel.

Das hat ordentlich Ströme am Ausgang zur Konsequenz.  $\sim >100 \text{ mA}$

In diesem Fall ist unbedingt ein **analoger Leitungstreiber** erforderlich !

Wer so was  
braucht,  
kommt zu mir..  
Ich bau das für  
euch.





## Abschnitt B

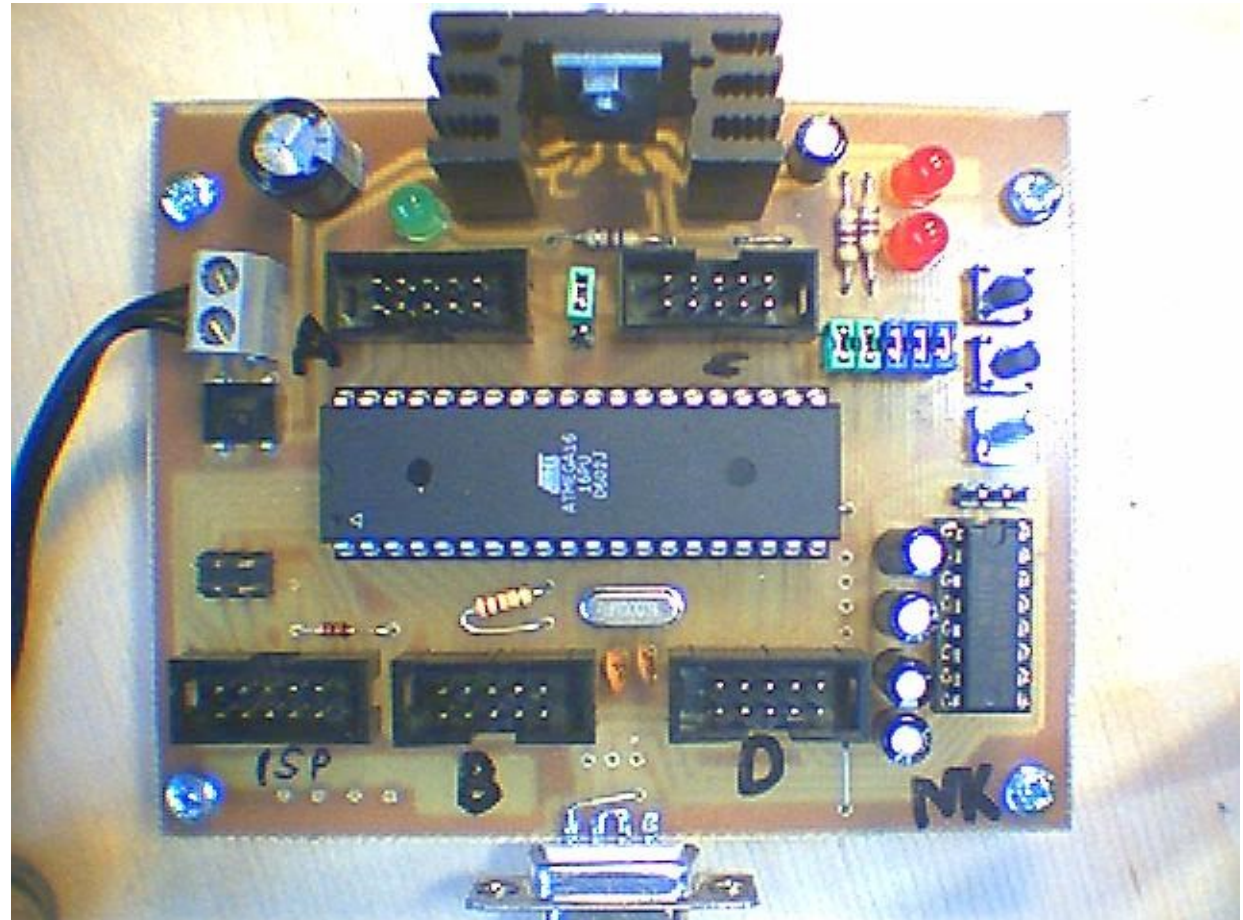
# Einsatz von Mikrocontrollern anstelle diskreter Elektronik oder Realisationsmöglichkeiten elektronischer bzw. Mikrocontroller unterstützter Geräte an unserem Lehrstuhl

Nicht für jede Aufgabenstellung kann man Geräte dazukaufen.  
Die Hersteller definieren die Grenzen, wie Umfang der Steuerbarkeit , grenzwertige Parameter usw...  
Zum Glück gibt es hier am Lehrstuhl Engineeringpotential und einen Erfahrungsschatz in der Realisation, um auch anspruchsvolle Ideen umzusetzen.  
Und das angemessen schnell.

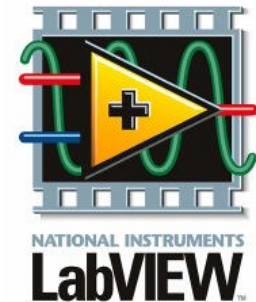
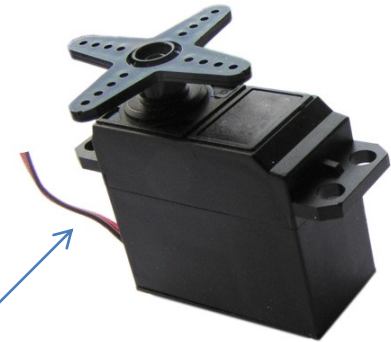
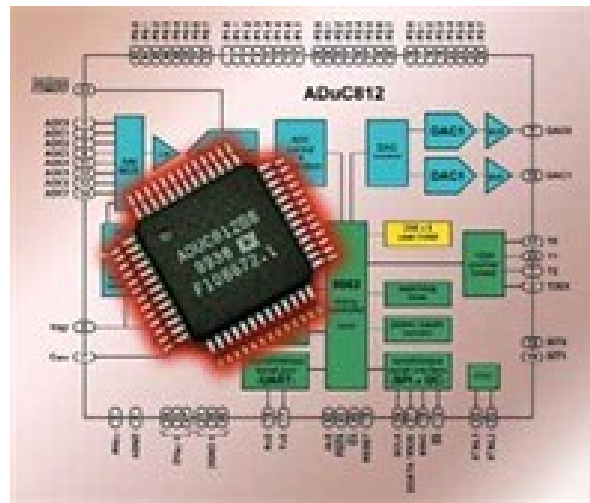


## ATMega16 Mikrocontroller mit RS232

Da gekaufte Elektronik selten tut was man will, ist der Selbstbau lohnend und sogar billiger. In den Grenzen der Miniaturisierung, die hier möglich sind, helfe ich gerne bei dem gesamten Entwicklungszyklus.  
Planung  
Schaltungsentwurf  
Platinenfertigung  
Programmierung  
(In Ansi C)  
Einbau.



„Alte“ Elektronik wird zunehmend vom Mikrocontroller in folgender Weise ersetzt:  
 Sensor , PC(LabView) Tx-Daten → **Mikrocontroller** → Aktuatoren, Motor, Rx-Daten





Dies haben auch Firmen wie  erkannt und bieten deshalb verschiedene, gut brauchbare und universelle Input/Output –Boxen an, die dem PC/Notebook sozusagen eine „Greifhand“ zur Außenwelt ermöglicht.

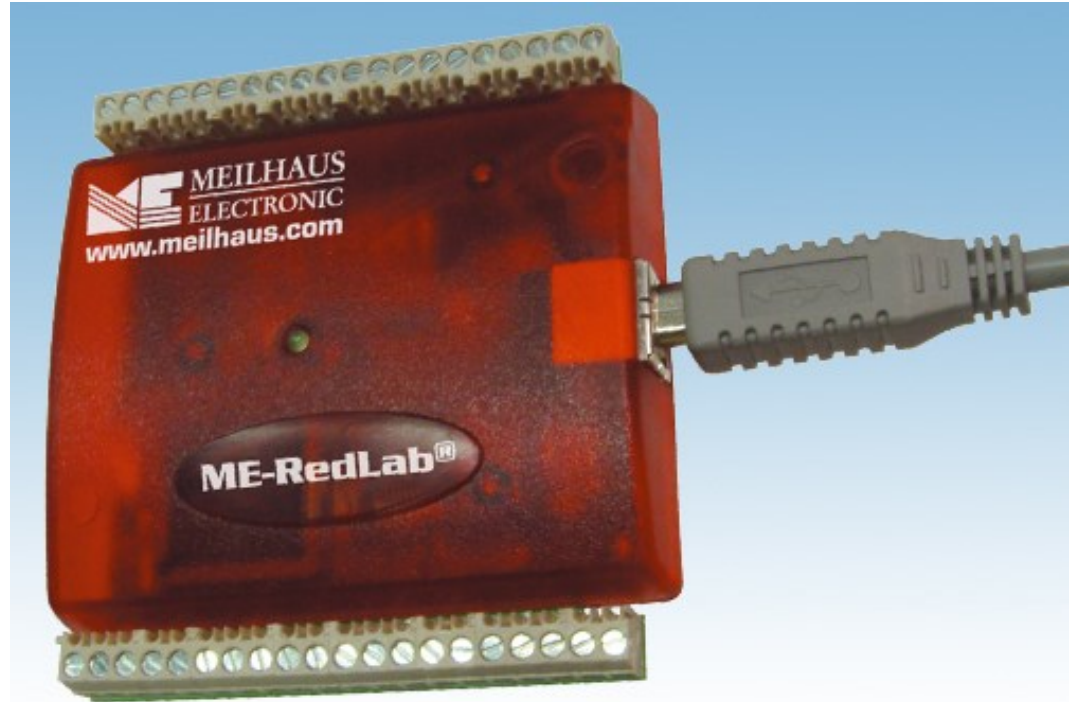
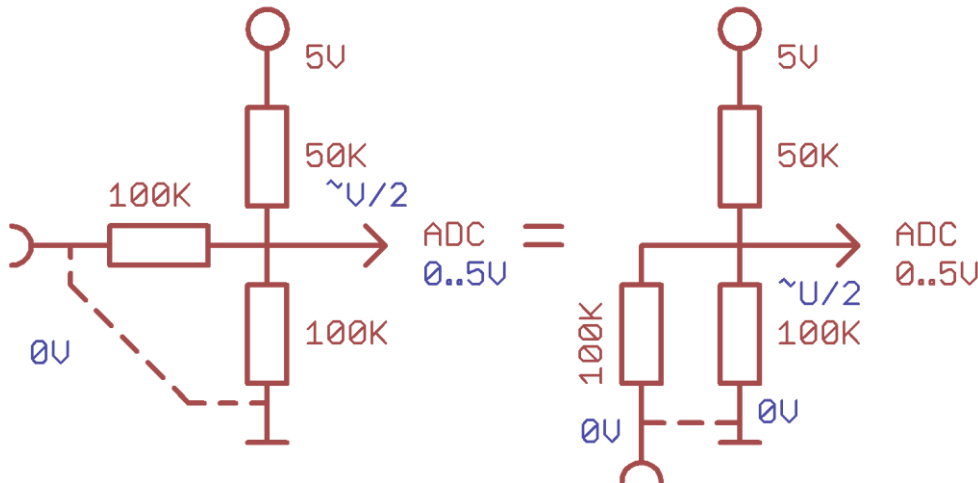
Da diese Module nicht alle kennen, stelle ich sie mal vor.

Das wichtigste:  
**LabView** wird mit **VI-Libraries** unterstützt  
**USB-Anschluss**.  
X-Input /Output  
Leitungen mit TTL (5V)  
Pegel  
X-Analog Eingänge.  
usw..



Ein weiteres Modell...  
 Es tauchte mal die Frage auf:  
 „Warum kommt am Analogeingang eine Spannung raus?“

Seltsam...  
 Die Lösung:



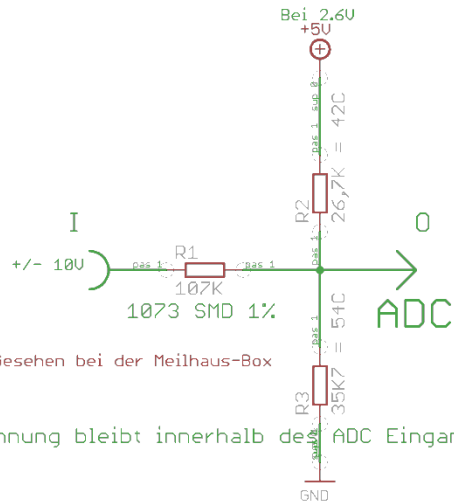
Eichen 0V

Innen verbaut ist nur ein ADC, der 0..3.3V messen kann. Der Eingang verträgt jedoch +/-10V.

Wie denn das?

Diese drei Widerstände sind innen verbaut. Ein Spannungsteiler hebt im 0V Fall den ADC-Pegel auf die Mitte ( $U/2$ ). Man muss die Spannung also etwas niederohmig anlegen.





Gesehen bei der Meilhaus-Box

BSP: Meilhausbox  
 UREF=2.6U  
 R1/2/3 wie Bild

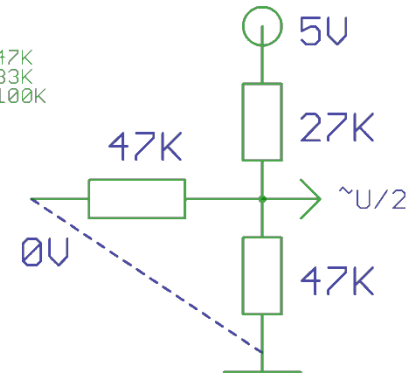
I	0
-10U	55mU
+10U	2,602U
0U	1,32U

AUR OP Anpassung  
 UREF=5

I	0
+7.5U	5U
0U	2,45U
-7	41mU

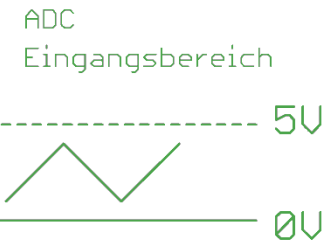
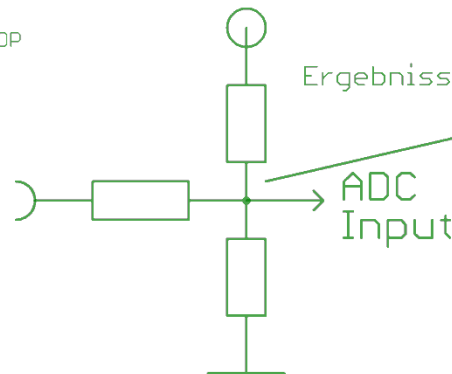
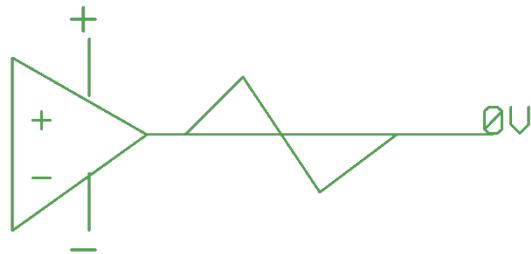
R1=47K  
 R2=33K  
 R3=100K

~mitte Uref



Spannung bleibt innerhalb des ADC Eingangsbereichs 0..3U

ADC Baustein Bsp: ADS7870EA MUX8/PA von BB, SSOP



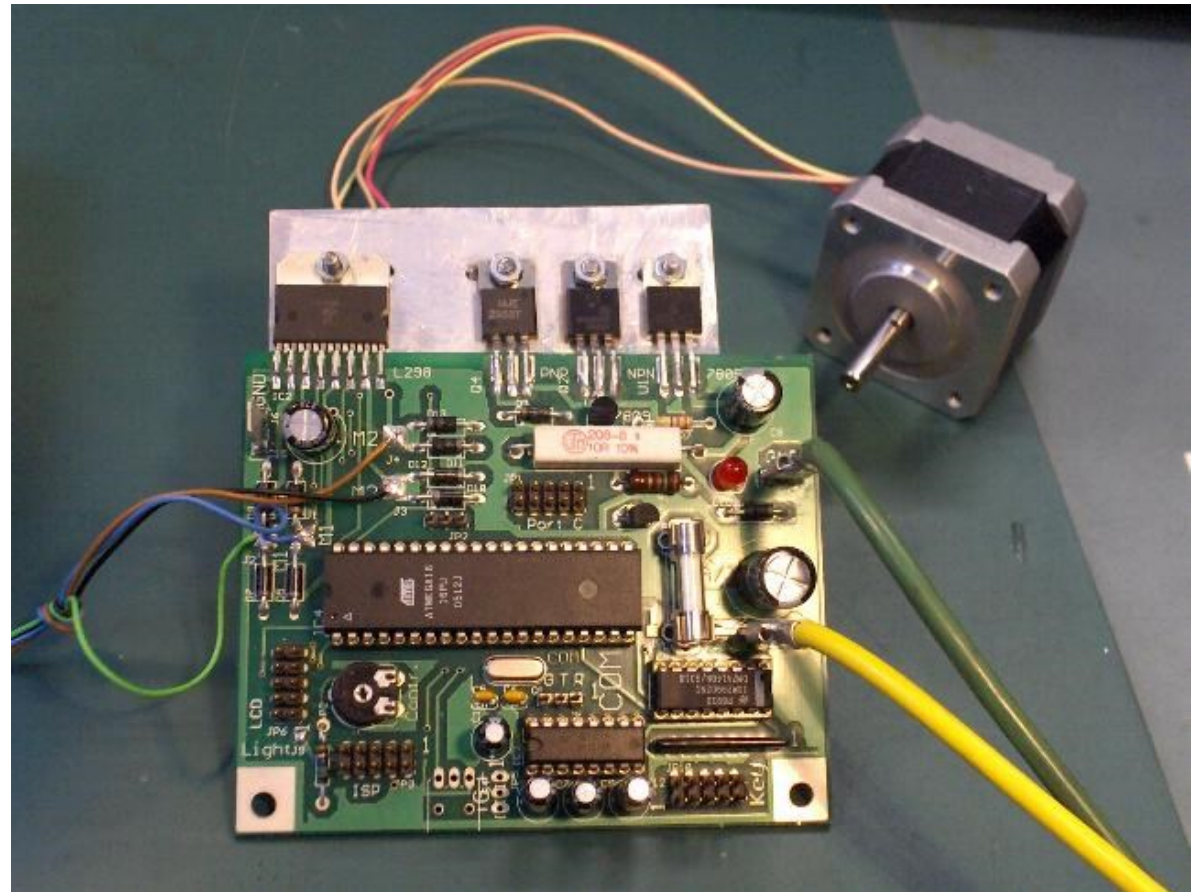
ADC = zu kalibrieren

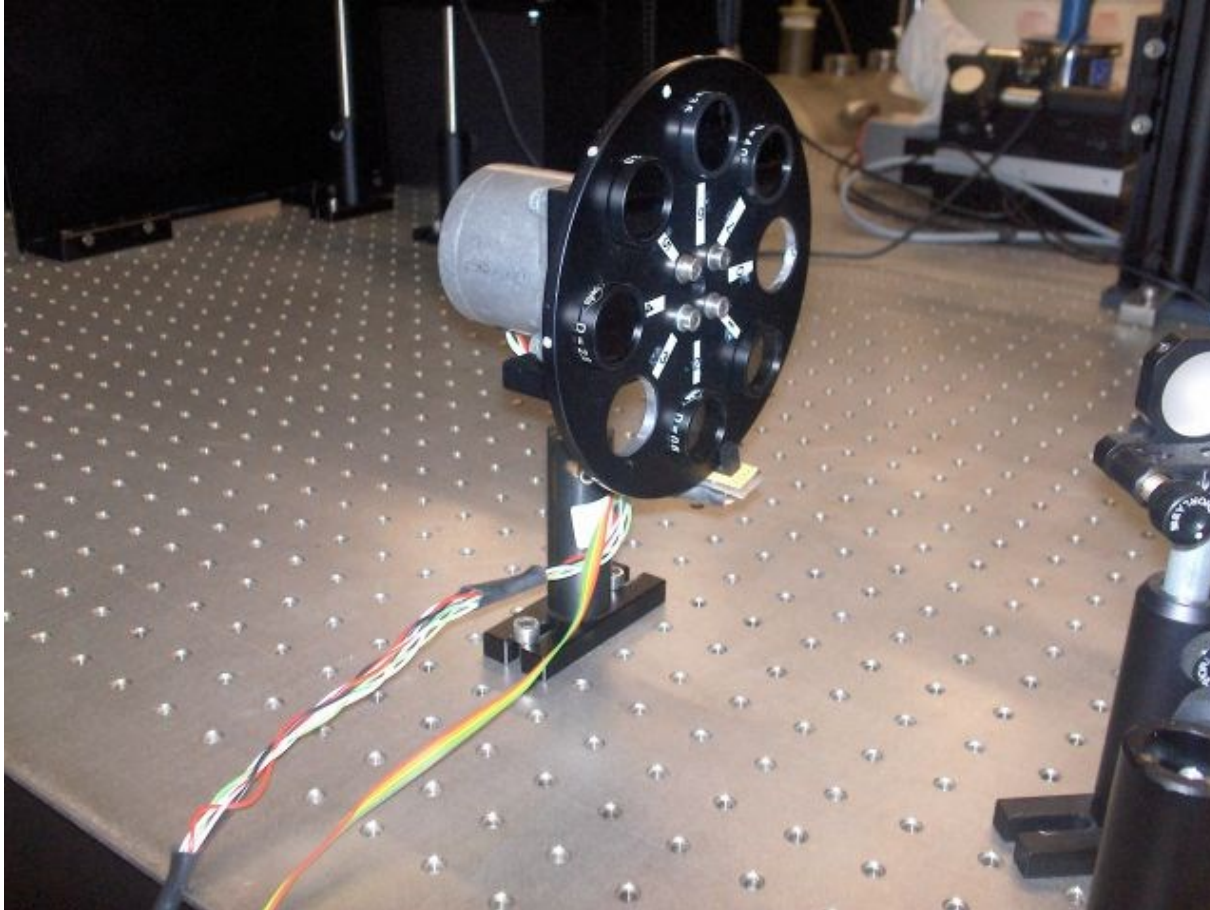
1. Messung 0U
2. Referenz

ADC Werte dann normieren auf Volt/Digit

Mikrocontroller-Platine mit Powermanagement für einen Schrittmotor bis 3A, I/O,Tasten, LCD und **Mnemonic** gesteuerter RS232 Kommunikation.

Ein kleines Erfolgsmodell, das schon >10\* verbaut wurde und als Antriebssteuerung in selbst ausgerüsteten Spektrometern, Filterwechslern, Shuttern, Linearantrieben etc. werkelt.  
Robuste, zuverlässige Firmware, automatischer Ruhestrom, Simple Kommunikation.  
z.B. „**mopd,123,1 <CR>**“ = 123 Pulse, linksrum drehen ..**LabView** tauglich



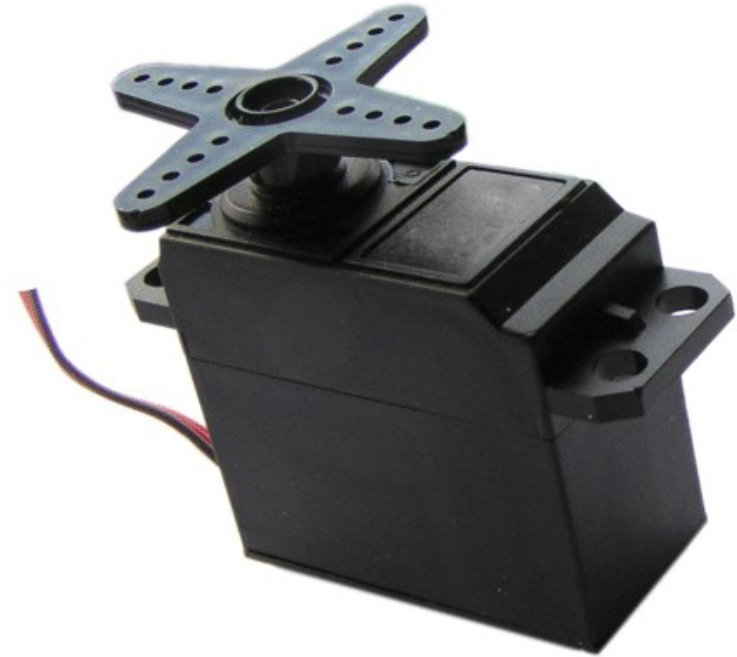


Typische Schrittmotoranwendung für ein Filterrad

## SERVOS

sind ein gutes Beispiel für einfach zu beherrschende Aktoren, also Arbeitsknechte, die brav den Vorgaben der Steuersoftware folgen, sofern man eben Mikrocontroller dazu bringen kann, die PWM –Signale stabil und sauber zu erzeugen.

Jede Position ist stabil anzufahren. Ein Haltestrom hält die Position fest, oder man gibt diese wieder frei. Der Mikrocontroller agiert als Manager zwischen PC (LabView) und der Hardware.



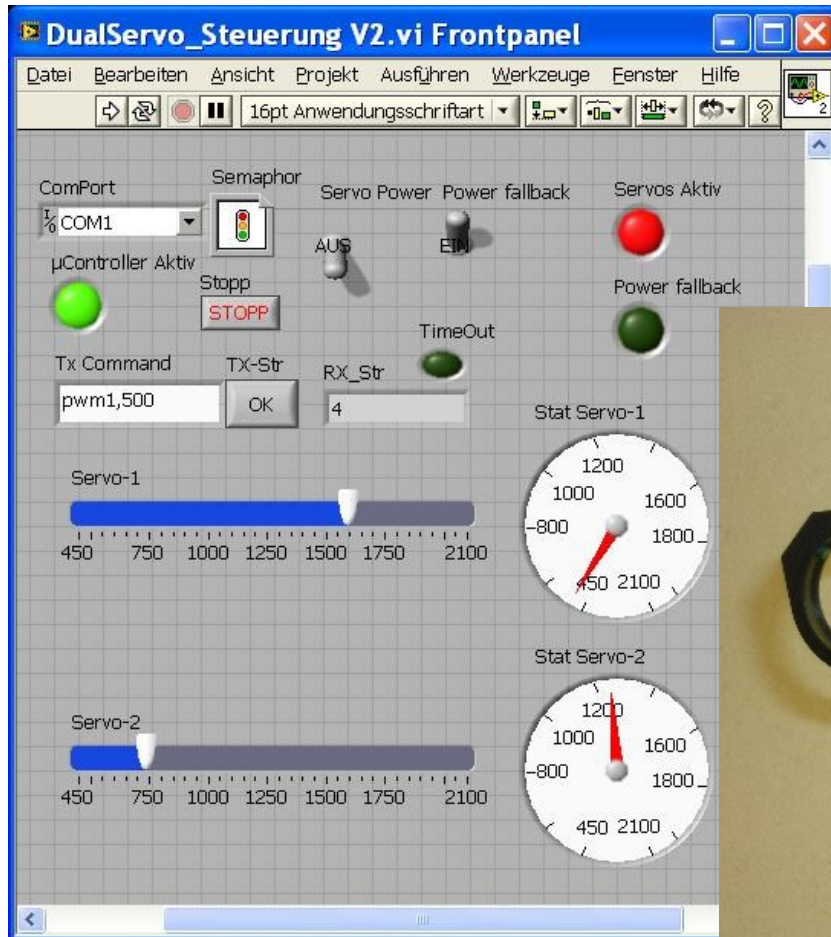


Softwaregenerierte  
Sinus-Wertetabellen  
steuern diesen  
Servo....

Und wenn man das  
kann, kann man alles  
andere auch.....

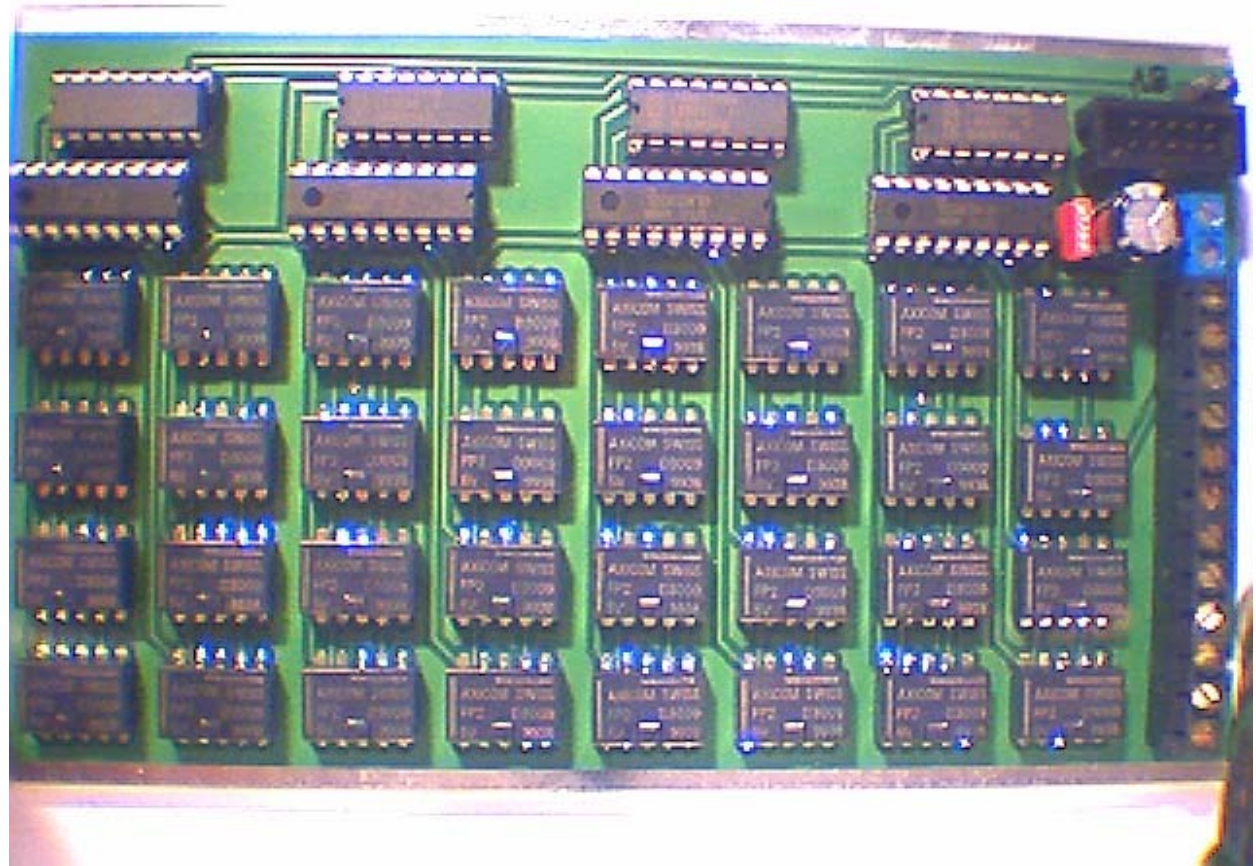


Fernsteuer-Servos, universell einsetzbar –  
hier als Strahlfänger und Filterhalter...  
Alles schön dynamisch via **LabView Vi** und  
textbasierten Kommandos.

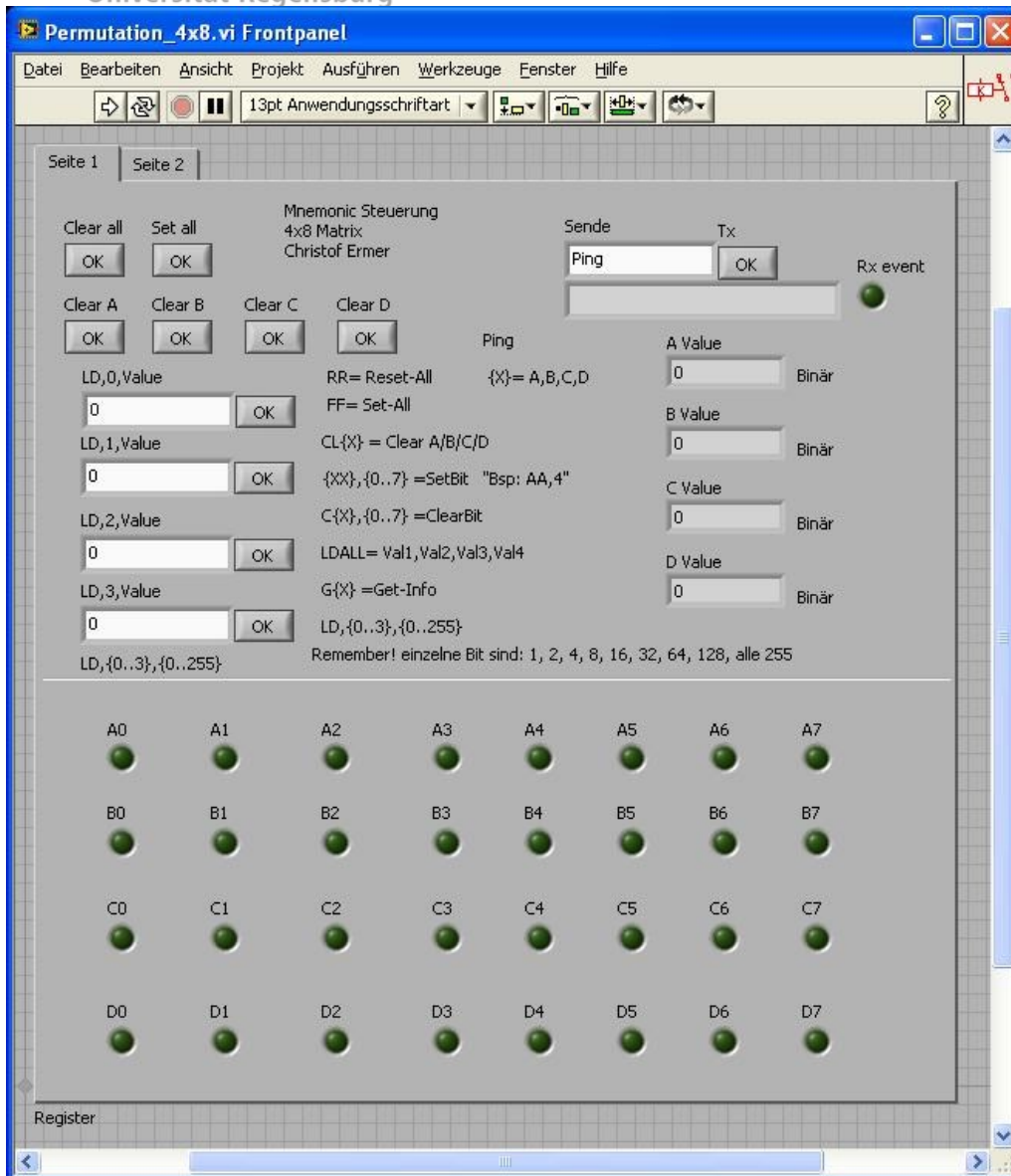


# Mikrocontroller gesteuerte potentialfreie 4 X 8 Signal-Permutierung (mit Relais)

Ein vorgeschalteter **µController** erlaubt via serieller Schnittstelle und **LabView** eine **4x8 Matrix** und ihre dazugehörigen Leitungen beliebig kombiniert zu schalten. Empfindliche **Proben-**drähte können somit völlig **potentialfrei** möglichst **kapazitätsarm** **dynamisch** geschaltet werden.



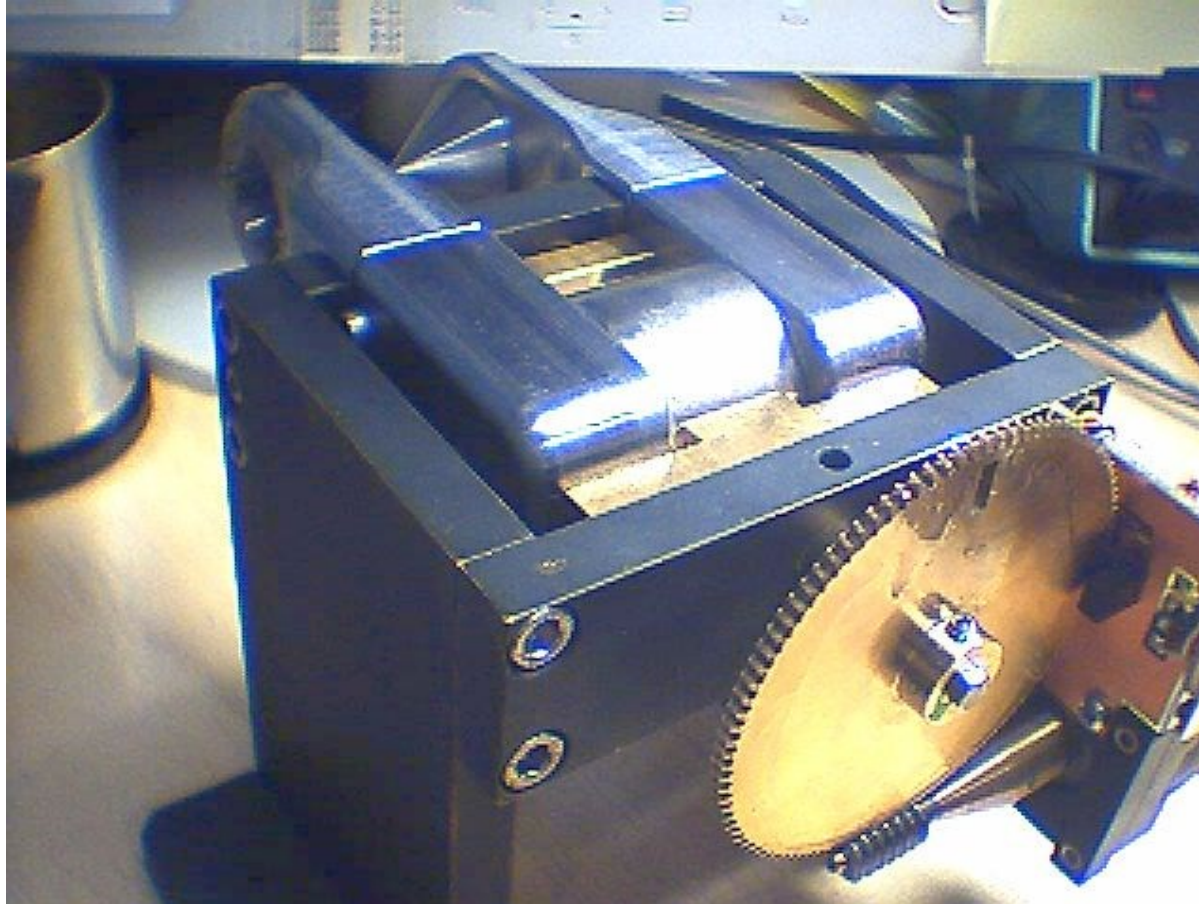




## LabView VI für die 4x8 Permutierungs-Matrix

Ich habe übrigens sichere und fertige LabView-Module, die sich um die **serielle Schnittstelle** kümmern. Sind auf dem Sambaserver: S:\ermer\COM\_CTRL\_LV\_86

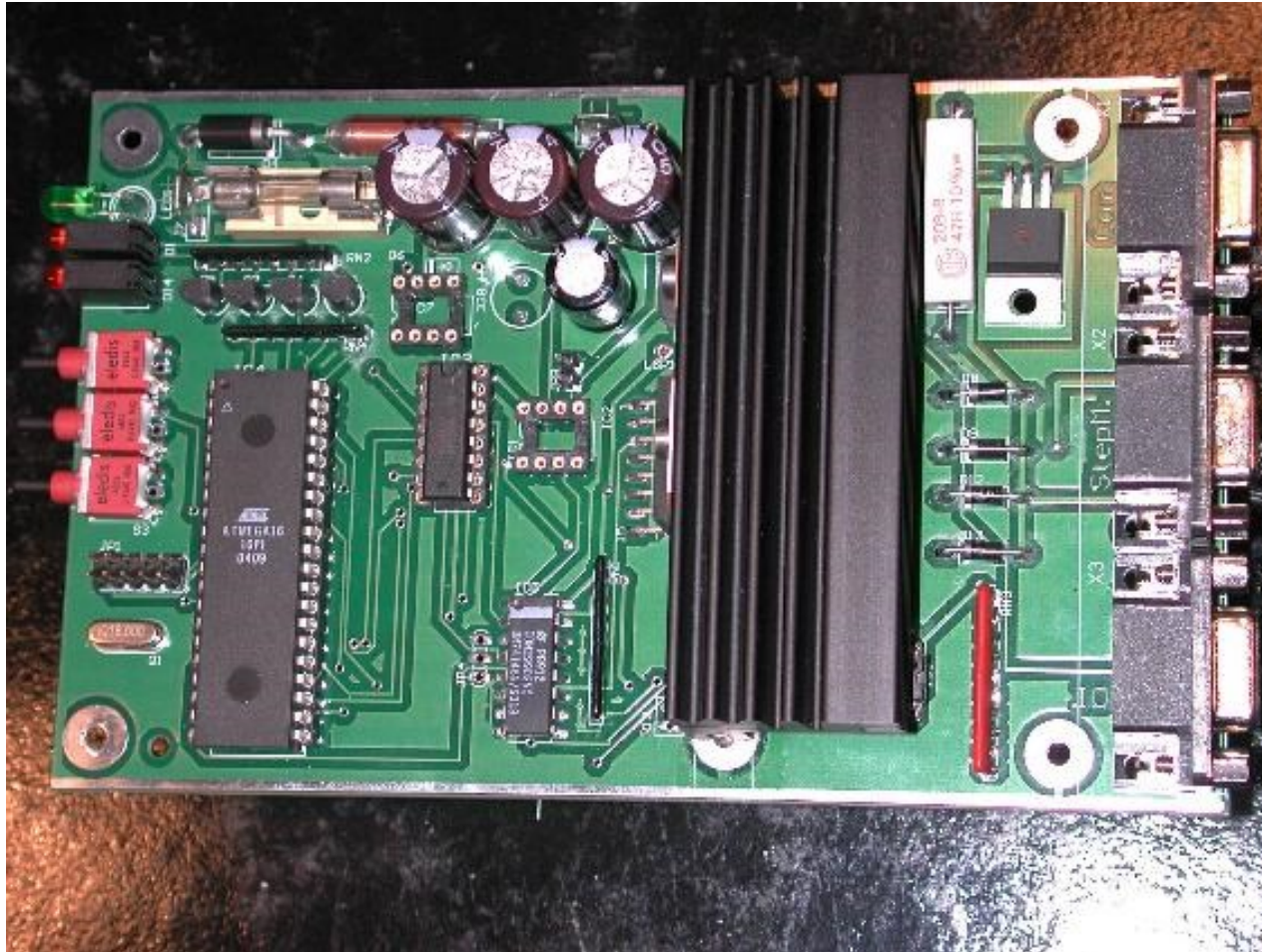
Portverwaltung  
Rx-Timeout  
Mit und ohne Semaphoren-  
Zugriffsteuerung



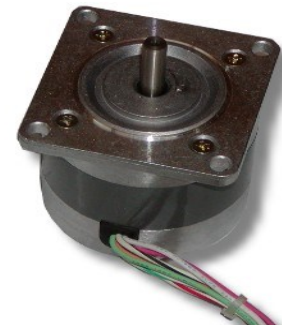
20.000 präzise  
anfahrbare Positionen.  
Hier ein Neodym  
Magnet mit  $\sim 2.2$  Tesla  
im Luftspalt.  
= 1,1 mTesla Schritte.

Vollständige, umpolbare  
Hysterese-Kennlinie  
Auto-Indexierung  
Auto-Spielausgleich  
Jede Position direkt  
anfahrbar (wenn auch  
langsam)

Anwendungsbeispiel für einen Schrittmotorantrieb.



**MBE-Shutter-  
Steuerung**  
RS485  
RS232  
Alarm und  
Interruptfunktion,  
Selbstkontrolle  
Positionsüber-  
wachung  
Halte/Ruhestrom  
Steuertasten  
Statusleuchten  
etc..





## Selbstbau: Dual Photodioden Verstärker mit Differenzverstärkung

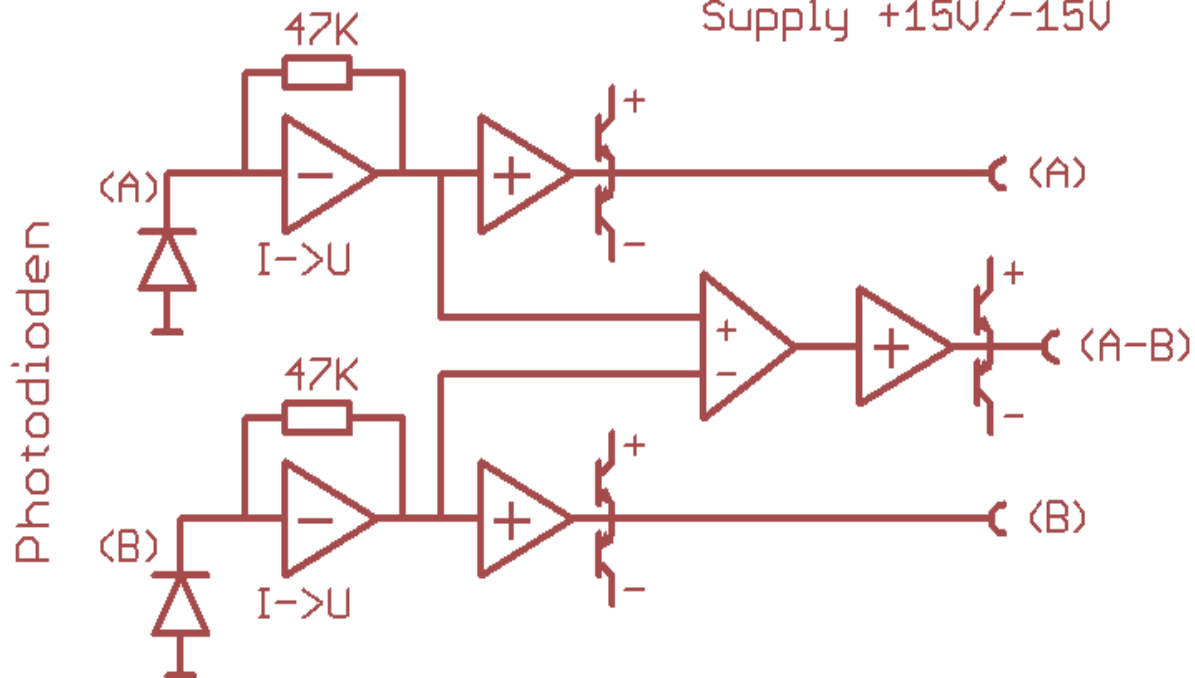
Nur **10 nV**/Wurzel HZ Grundrauschen!

Jeder Verstärker mit Leitungstreiber, ( 50 Ohm )

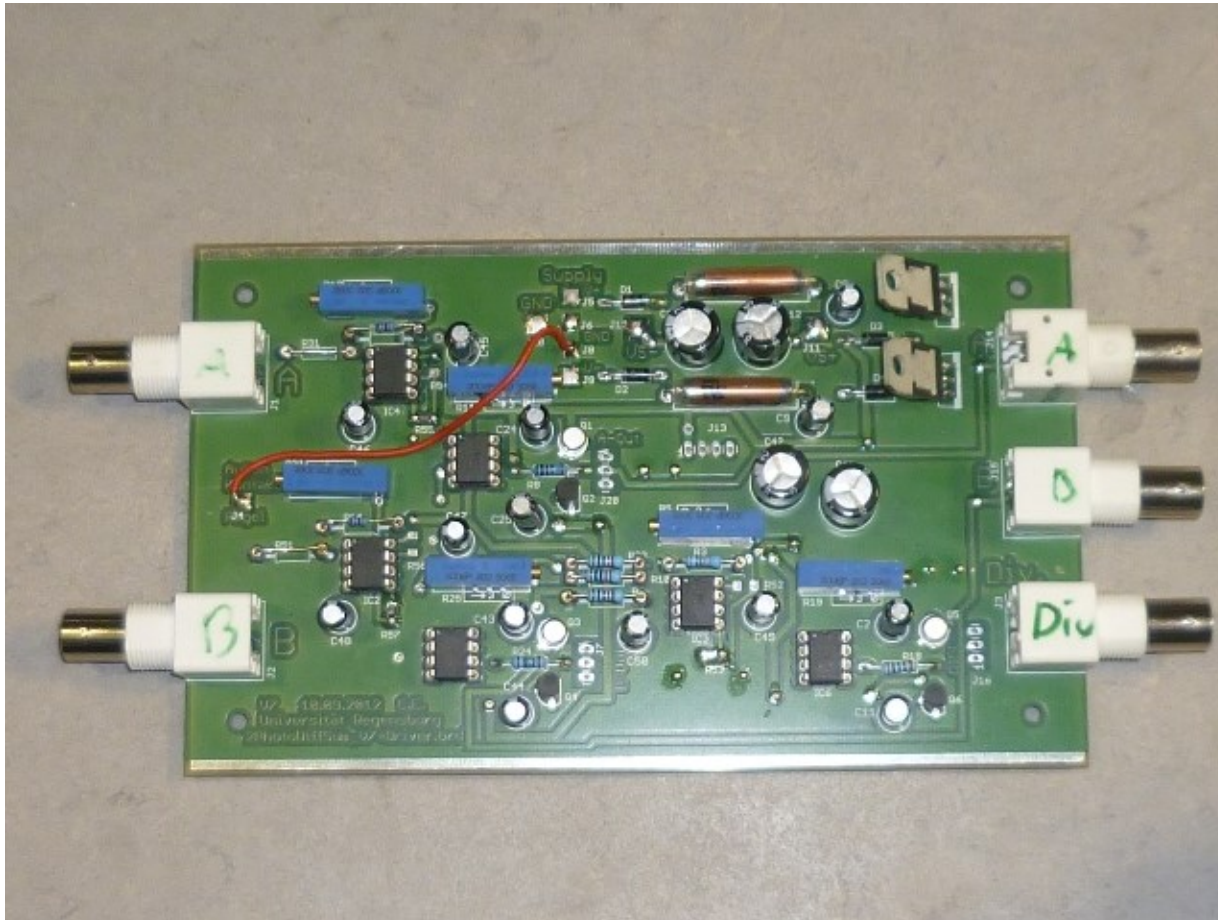
Offsetkompensation, eigene Stromversorgung je OP



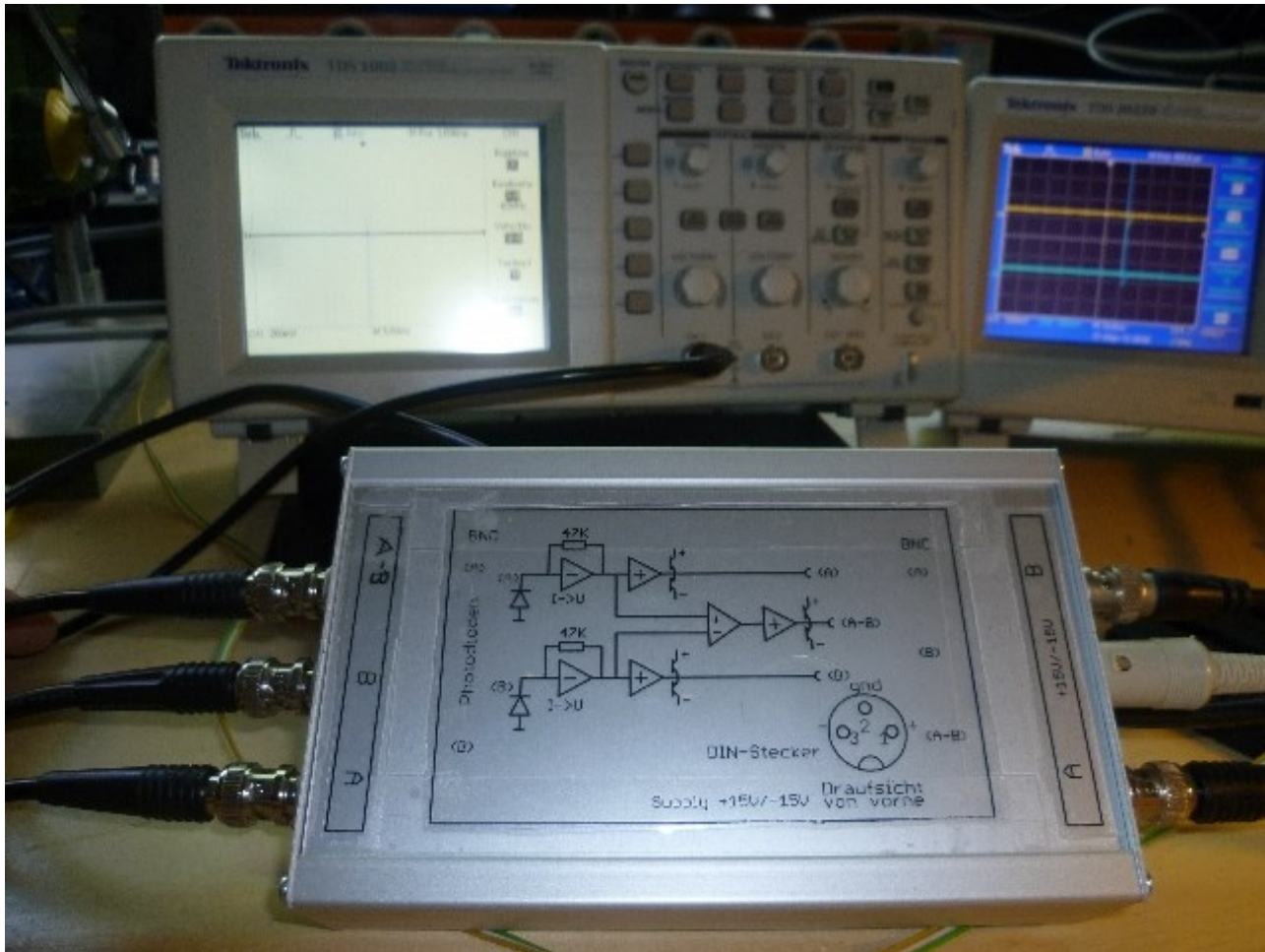
Supply +15V/-15V



Aktuell: So sieht die selbstgebaute Platine mit gemischter SMD und diskreter Bestückung aus...



..und schön in ein Metallgehäuse fertig eingebaut und getestet...



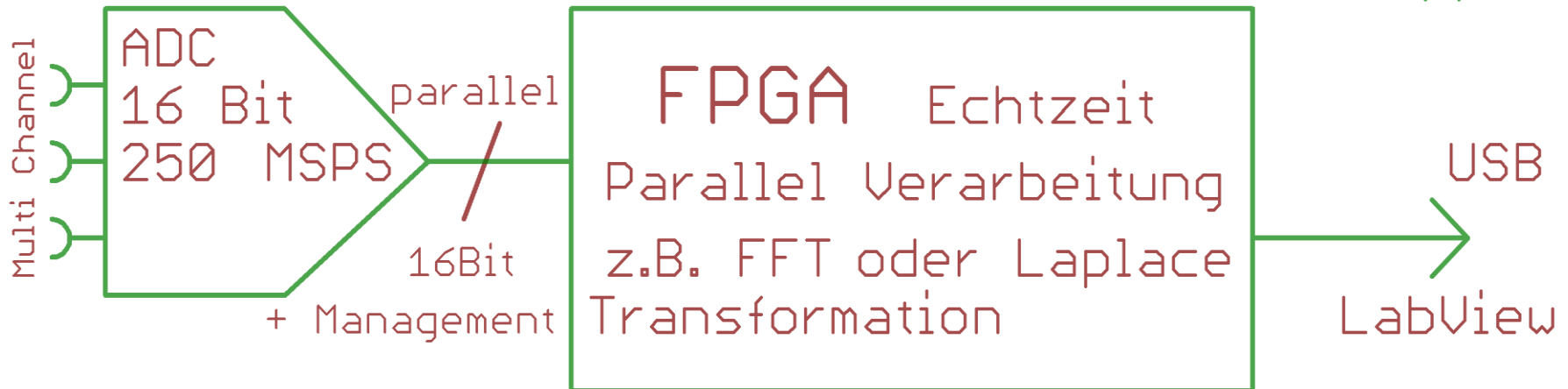
Neue Konzepte:

**FPGA** basierte Echtzeit-Verarbeitung sehr schneller Messwerte. Prinzip:

## Field Programmable Gate Array (FPGA)

Bsp. AD9467 FMC Card  
= extrem schnelle ADCs

MATLAB Support



Hardwarequellen

<http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?NavPath=2,1095,1096&Prod=AD9467-FMC>

<http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?NavPath=2,400,1028&Prod=ZEDBOARD>

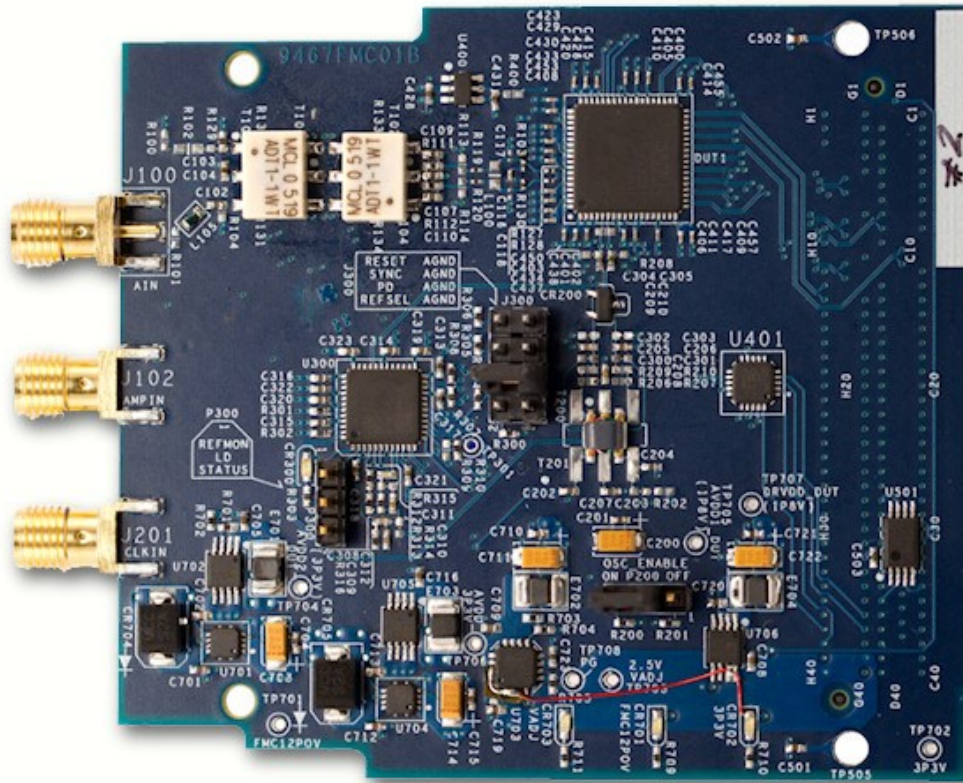
<http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?NavPath=2,400,897&Prod=NEXYS3>



Neuere Entwicklungen: Es gibt extrem leistungsfähige Hardware, deren Selbstbau mit Bordmitteln nicht zu schaffen ist einfach zu kaufen... ~300€

### AD9467 FMC Card.

Allerdings muss man sich auch um die enorme Datenmenge kümmern.



[Analog Devices AD9467 A/D Converter](#) on an FMC board (FPGA Mezzanine Card)

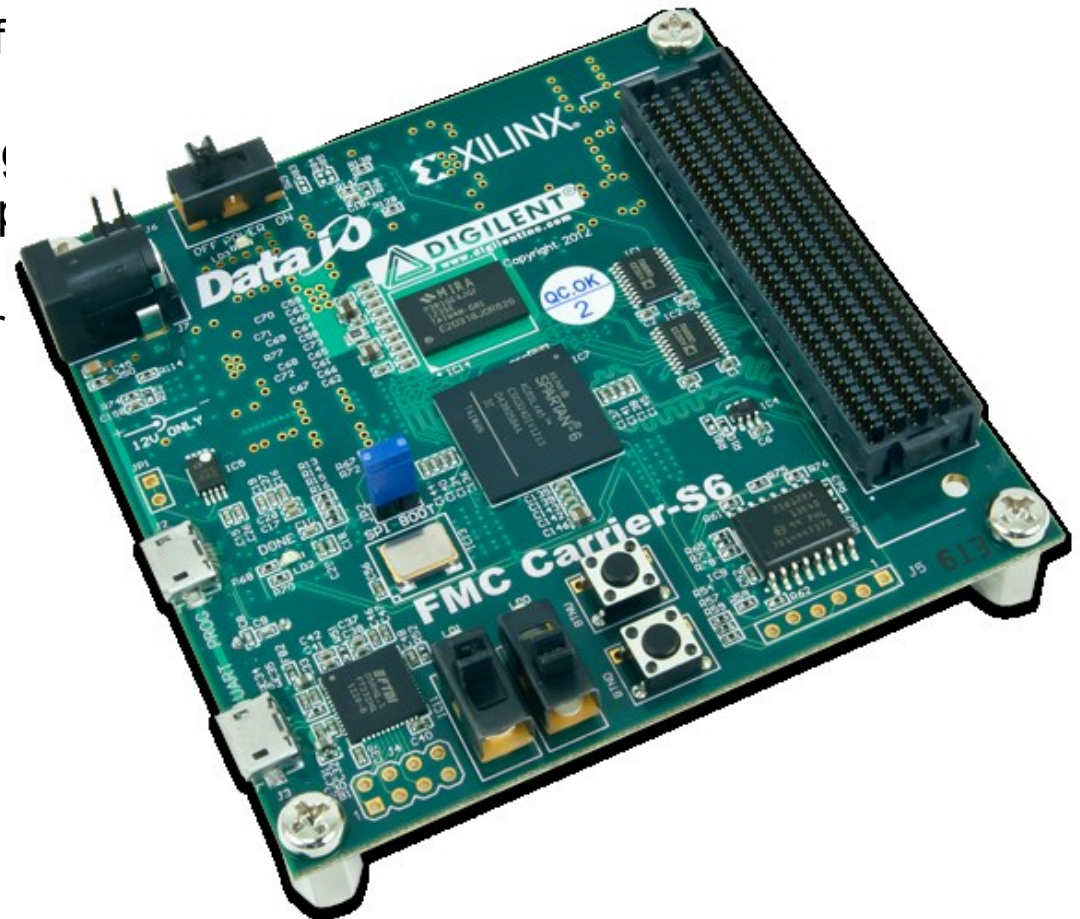
#### AD9467 specs:

- 16 bit resolution
- Single channel
- IF optimization capability used to improve SFDR
- 250MSPS sample rate
- LVDS interface
- Diff-Uni & SE-Uni analog input types

## Xilinx Spartan®-6 LX45 FPGA ~250€

The Spartan-6 LX45 is optimized for high-performance logic and offers:

- 6,822 slices, each containing four 6-input LUTs and eight flip-flops
- 2.1Mbits of fast block RAM
- four clock tiles (eight DCMs & four PLLs)
- 58 DSP slices
- 500MHz+ clock speeds



Danke fürs Zuhören...

Und wenn jemand Rat und Tat  
braucht, kommt einfach zu mir.

Christof Ermer  
Raum 2.0.10  
Tel 943 2140

Nicht zu vergessen, wer will,  
der alljährliche, zweiwöchige  
Mikrocontroller Kurs findet so im  
März/April statt.

