

IMES Institut für Mikroelektronik und Embedded Systems

# HOCHPRÄZISES AUSWERTESYSTEM FÜR INDUKTIVE MESSTASTER BASIEREND AUF EINEM MIXED SIGNAL ASIC

Projekt mit Peter Hirt GmbH

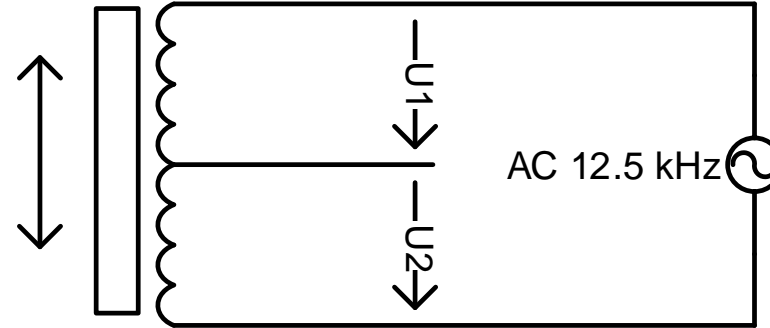
Hannes Diethelm

Embedded Computing Conference, Winterthur 05.09.17

- **Induktive Messtaster**
- **Systemüberblick**
- **Sigma Delta DAC / ADC**
- **CIC-Filter**
- **Demodulation / Mittelung**
- **Gesamtsystem**
- **Implementierung**
- **Performance**
- **Projektablauf**
- **Fragen**

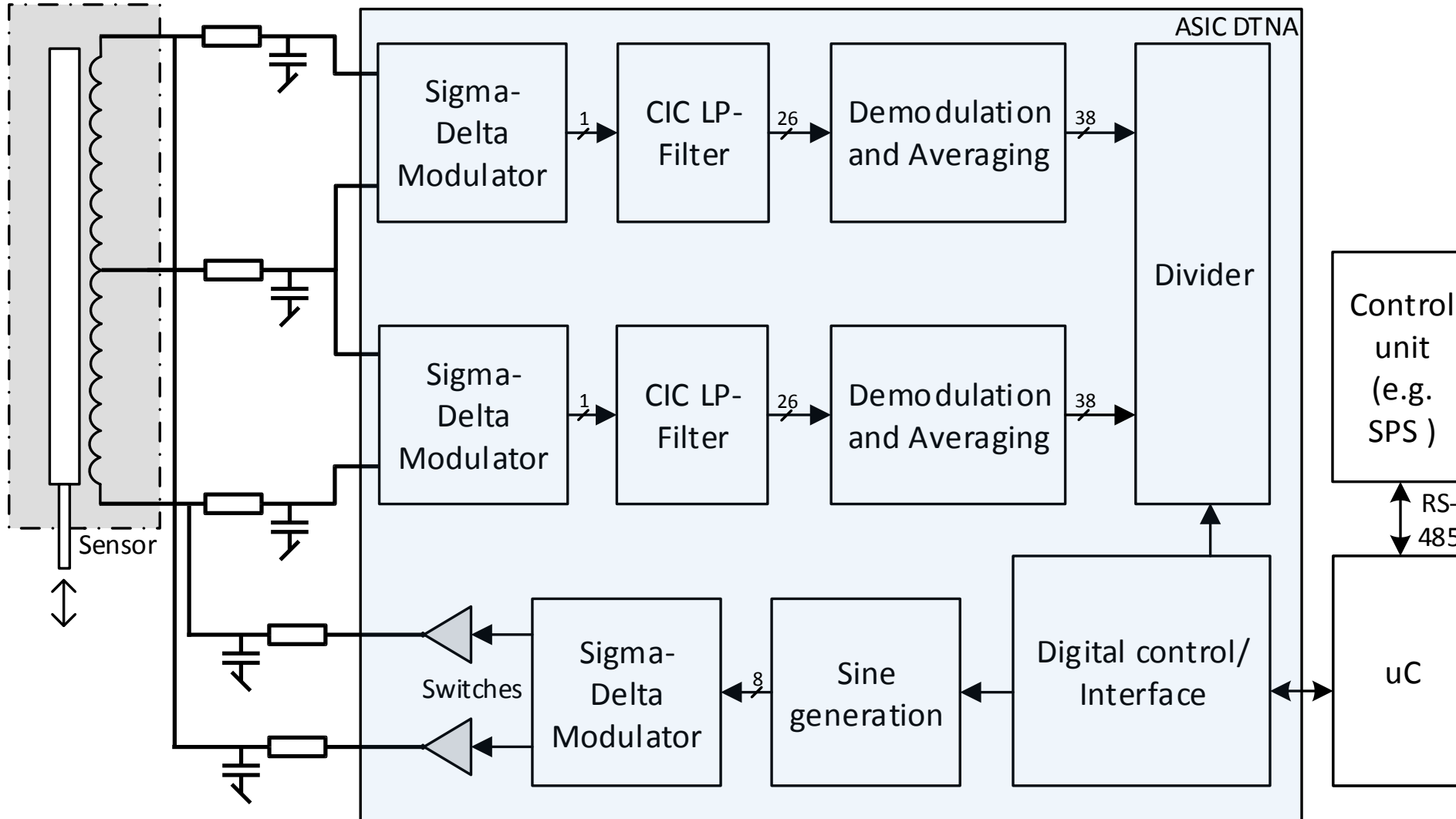


# Induktive Messtaster

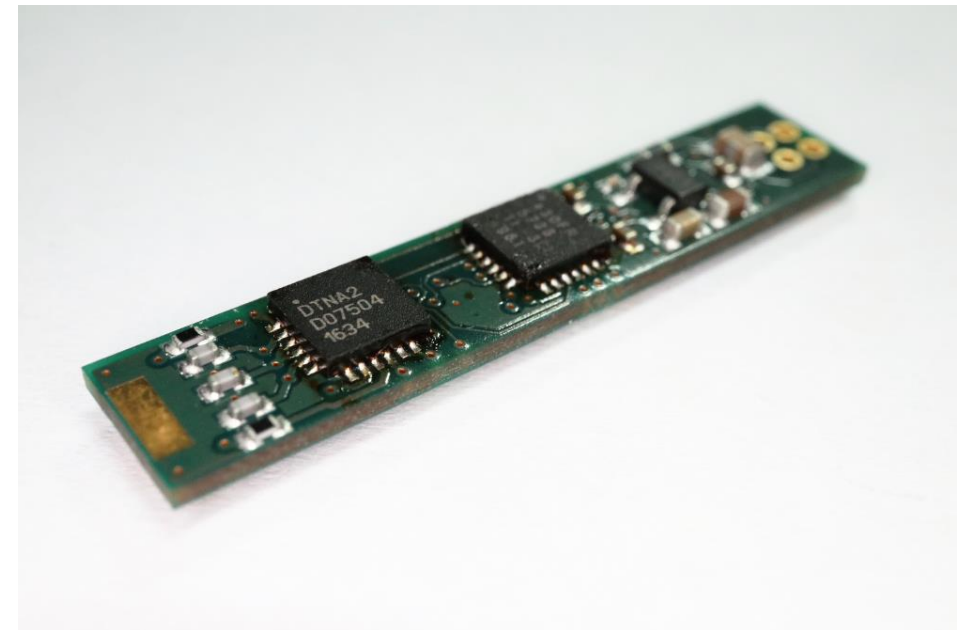
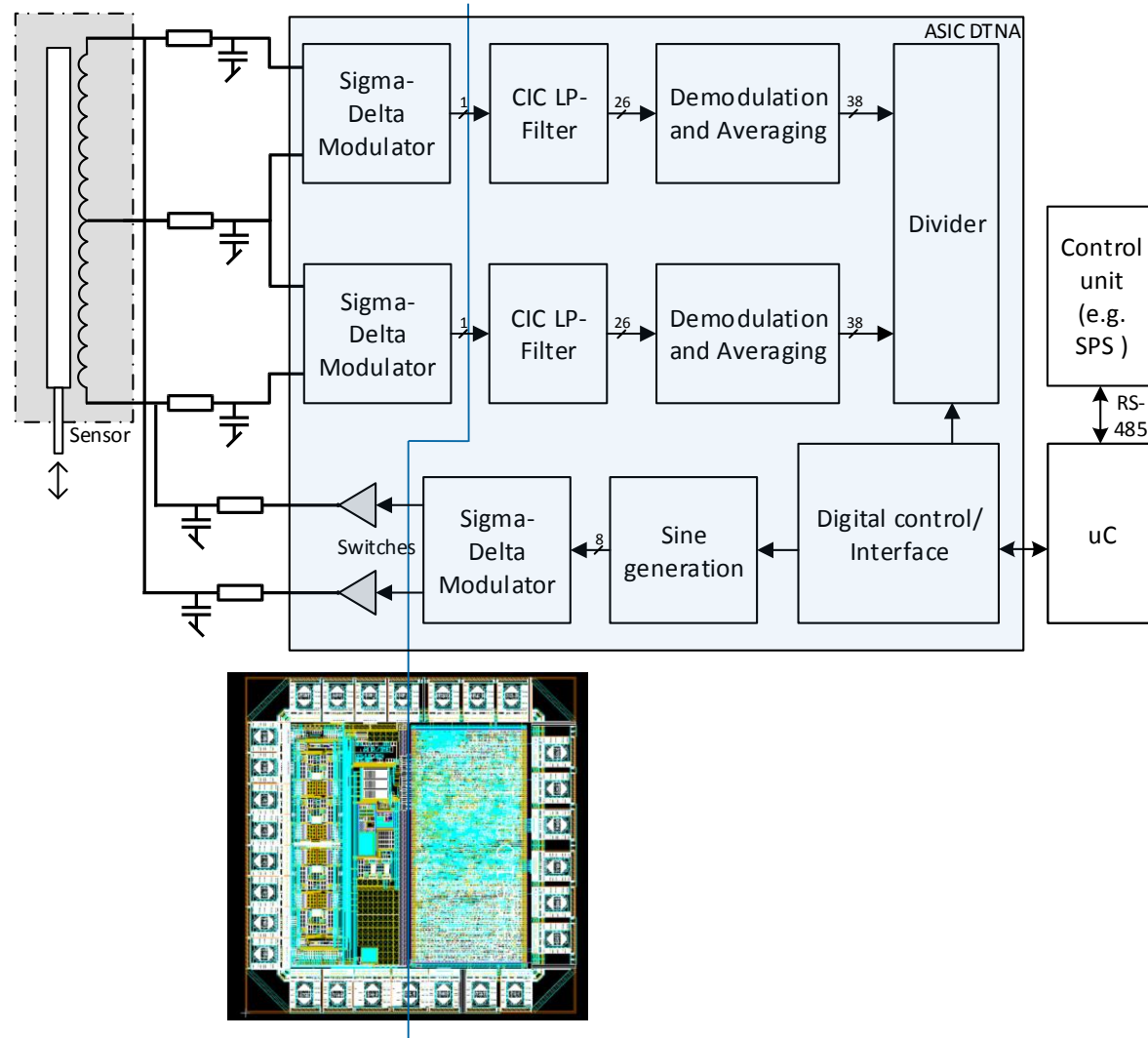


- **Wechselspannung -> Komplexe Spannung (Amplitude / Phase)**
- **Distanz  $\sim \operatorname{Re} \left( \frac{u_1}{u_1+u_2} \right)$**
- **Herausforderungen**
  - Amplitude und Phase einer Wechselspannung genau messen
  - Gehäuse 8mm -> Print 6.5mm

# Systemüberblick

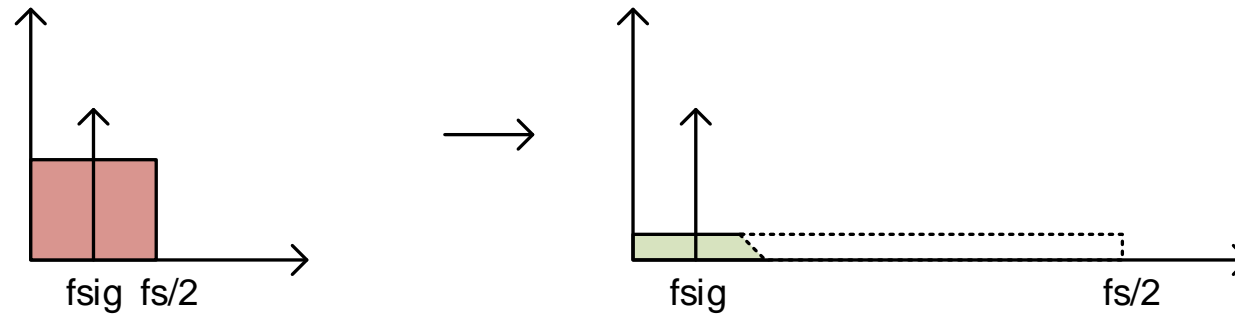


# Systemüberblick

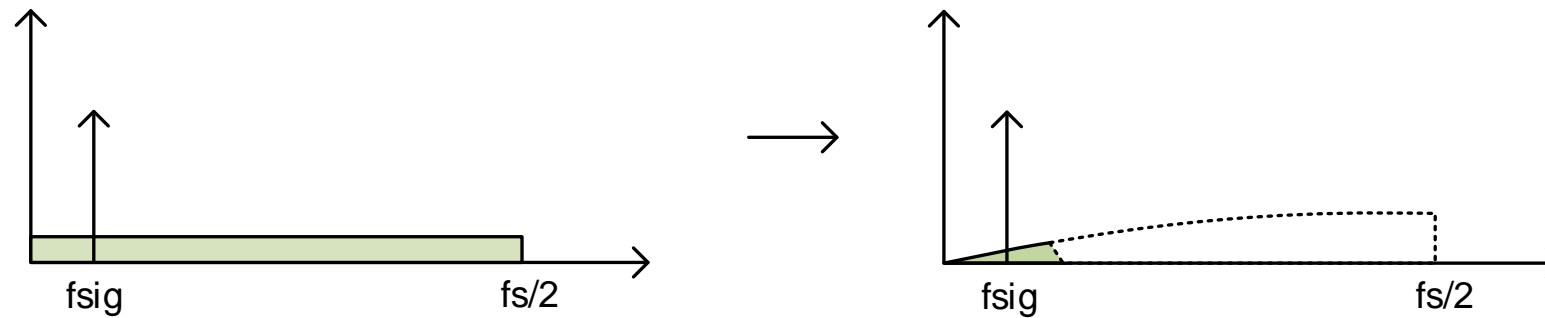


■ 1 Bit  $f_s = 8MHz$

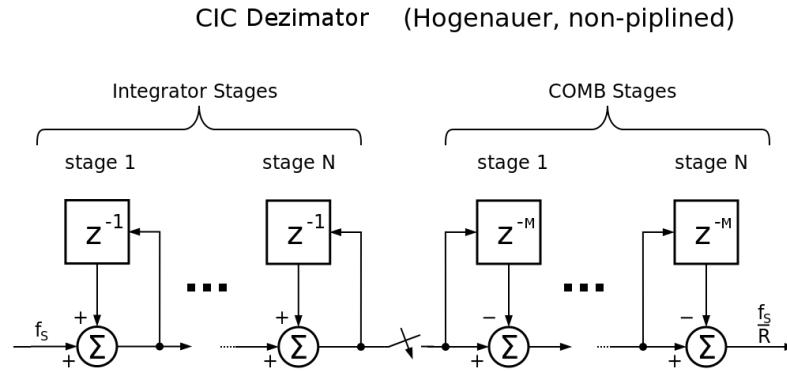
■ Überabtastung



■ Noise Shaping

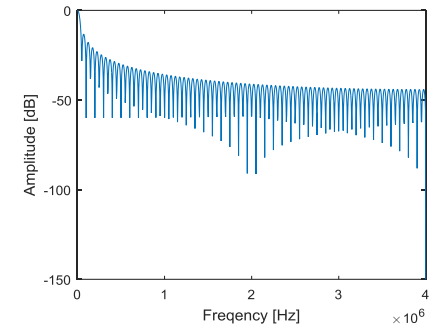
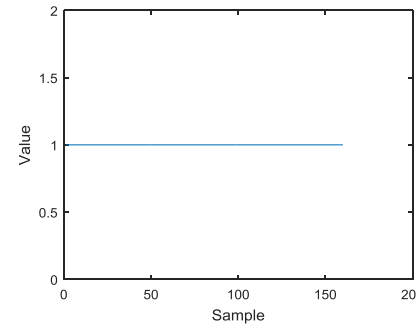


# CIC Filter

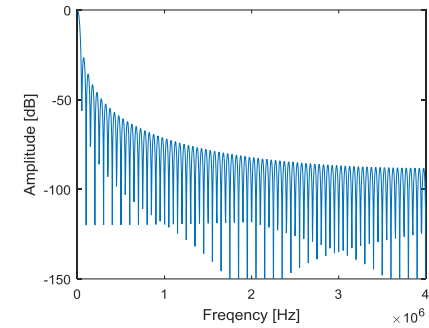
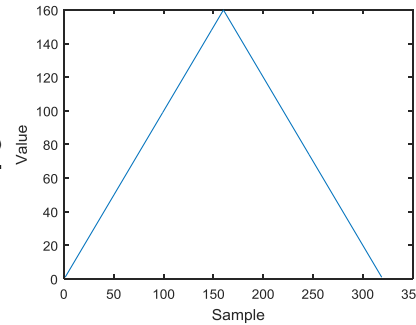


- Filterung und Downsampling mit wenig Hardware
- Implementiert: Einstellbarer Filter  $N=1 \dots 3$

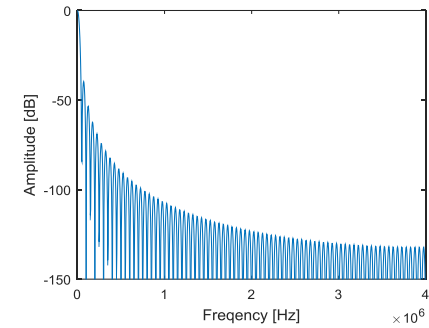
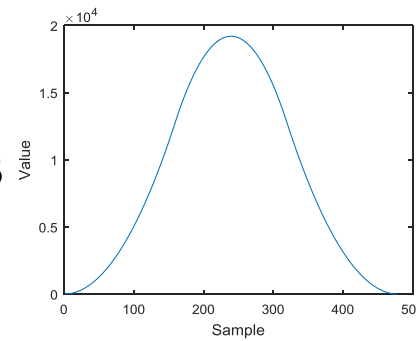
■  $N=1$



■  $N=2$



■  $N=3$



## ■ Komplexe Spannung

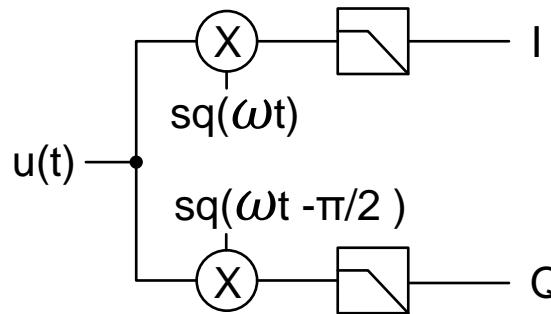
- $u(t) = I * \cos(\omega t) + Q * \sin(\omega t)$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

## ■ Synchrongleichrichtung

- $I = \frac{\pi}{2T} \left( \int_{-\frac{T}{4}}^{\frac{T}{4}} u(t) dt - \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} u(t) dt \right)$

- $Q = \frac{\pi}{2T} \left( \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{3T}{2}} u(t) dt - \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{3T}{2}} u(t) dt \right)$



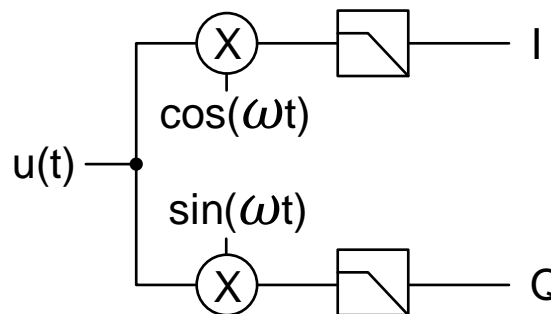
- Nachteil: Oberwellen werden auf DC demoduliert!

## ■ Demodulation

- $I = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) * \cos(\omega t) dt$

- $Q = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) * \sin(\omega t) dt$

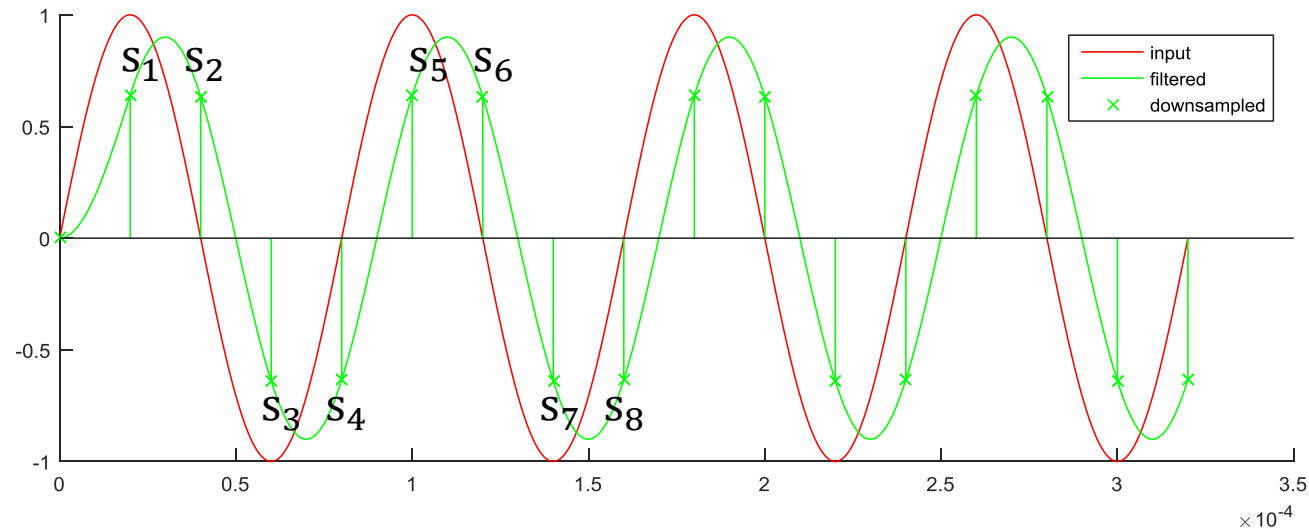
- Nachteil: Aufwendige Hardware!





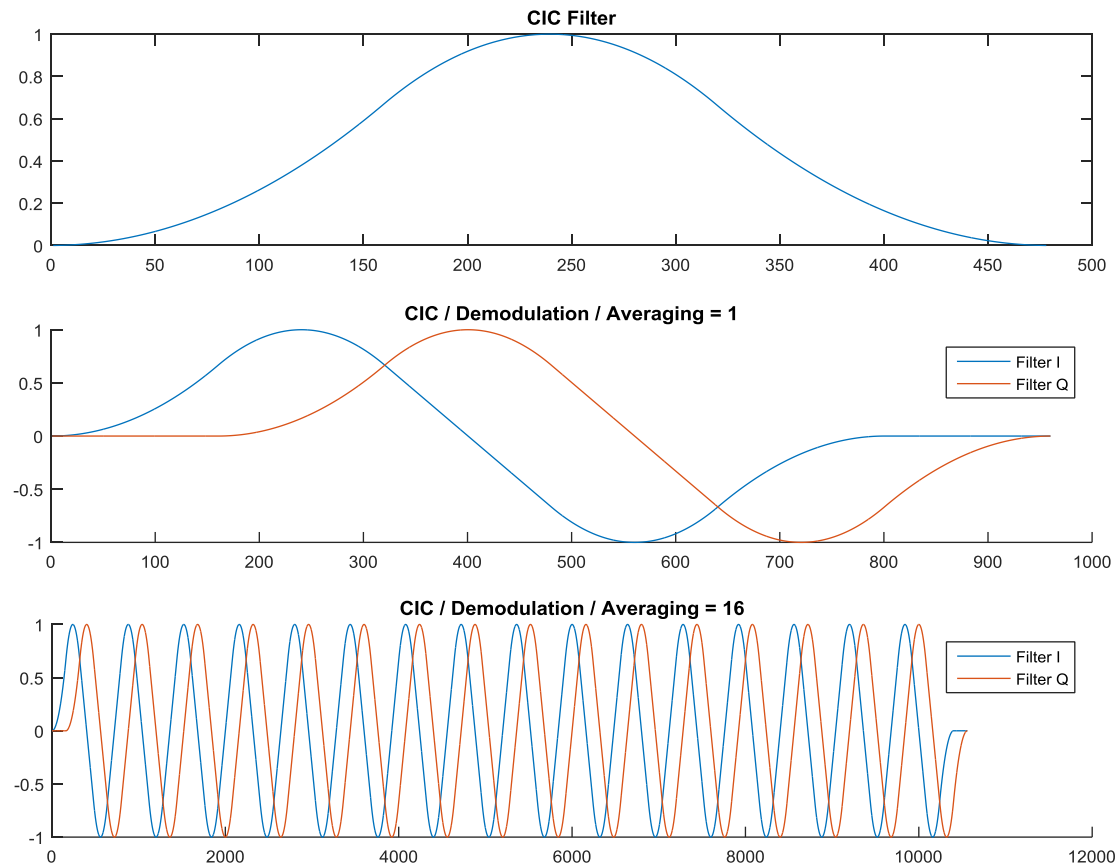
# Demodulation / Mittelung

- Gemäss Nyquist  $f_s > 2f_{max}$
- Bei  $f_s = 4f_{sig}$  ist die Demodulation mit Sinus und mit Rechteck identisch

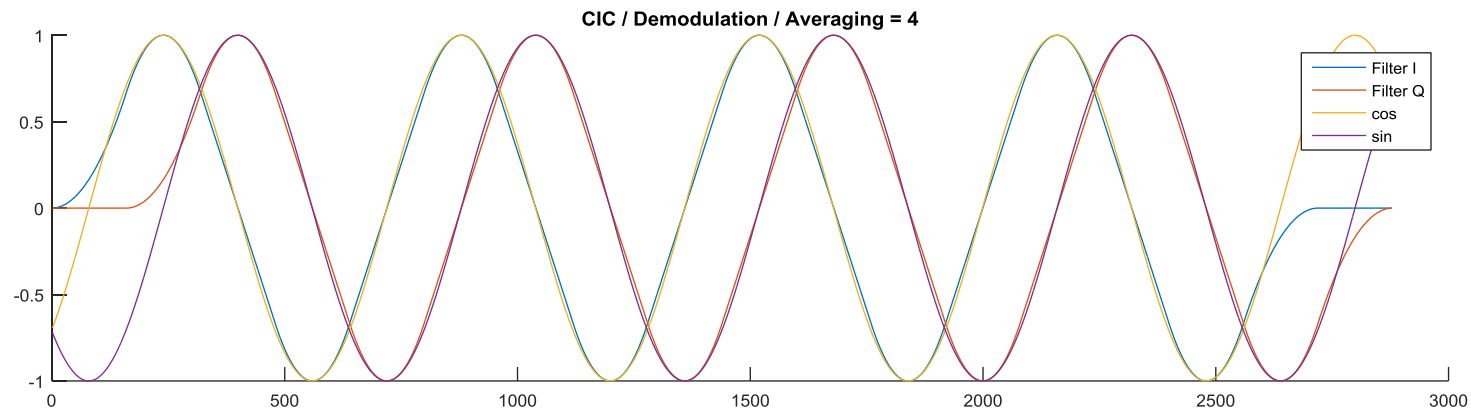


- In Phase:  $I = s_1 - s_3 (+ s_5 - s_7 + \dots)$
- Quadrature:  $Q = s_2 - s_4 (+ s_6 - s_8 + \dots)$

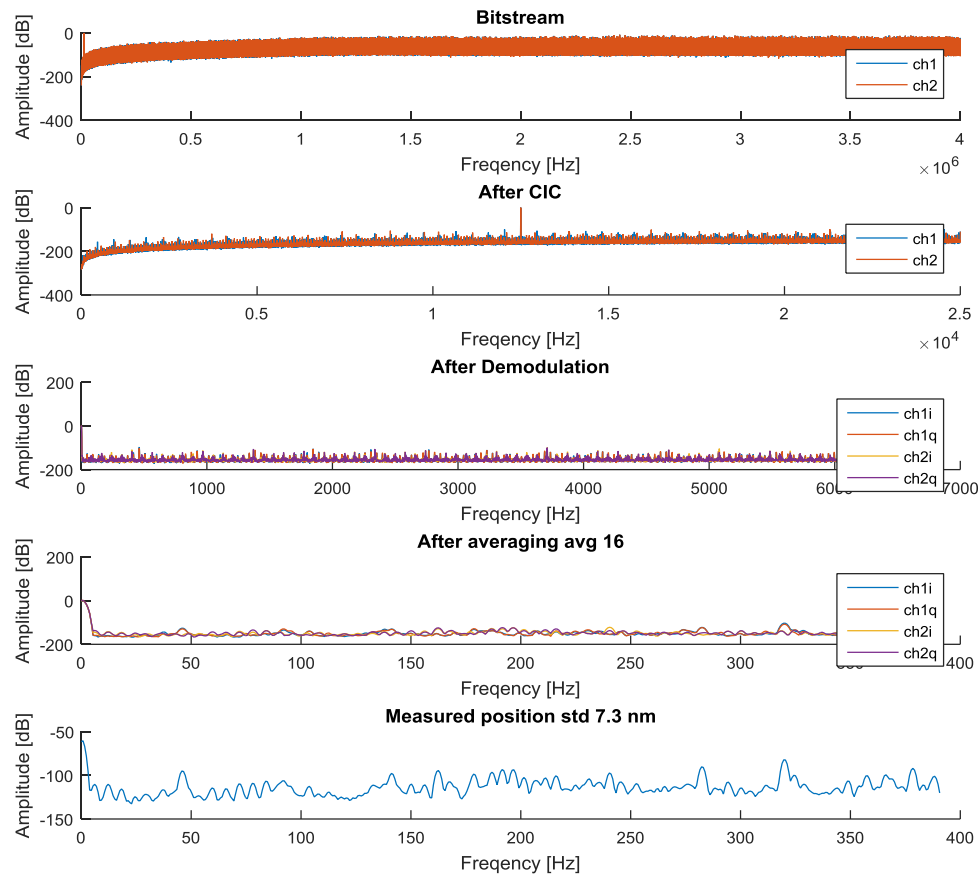
- Der CIC-Filter kann zusammen mit der Demodulation und der Mittelung als ein Filter mit nachfolgendem Downsampling betrachtet werden.



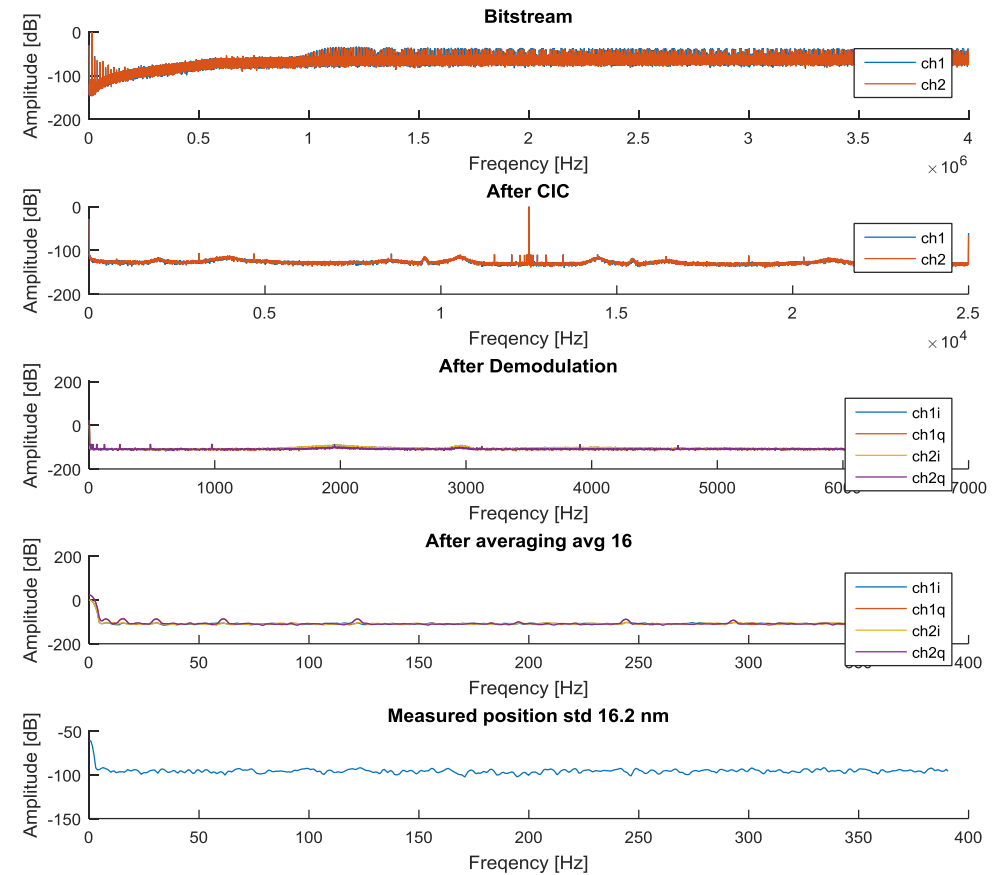
- Es wird ersichtlich, dass der Gesamtfilter einer beinahe perfekten Sinus / Kosinus Demodulation entspricht
- Die digitale Implementierung einer solchen Sinus / Kosinus Demodulation würde bedeutend mehr Logik benötigen



## ■ Simuliert



## ■ Gemessen



# Implementierung

## ■ Digitalteil

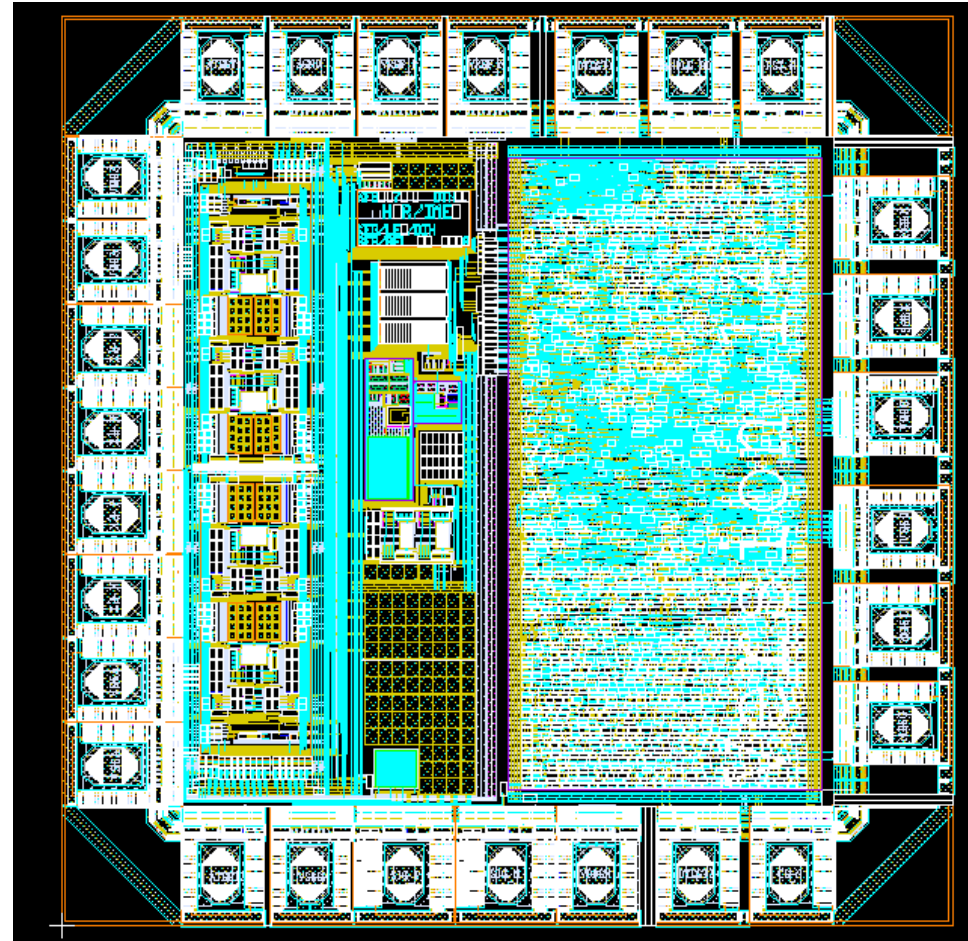
- Implementiert in VHDL
- Simuliert mit in VHDL modelliertem Analog-Teil und Sensor
- Synthetisiert
- Automatisches Place & Route

## ■ Analogteil

- Manuelles Layout
- Spice-Simulation

## ■ Gesamt Chip

- Mixed Simulation Digital / Analog externer Hardware und Sensor-Modell



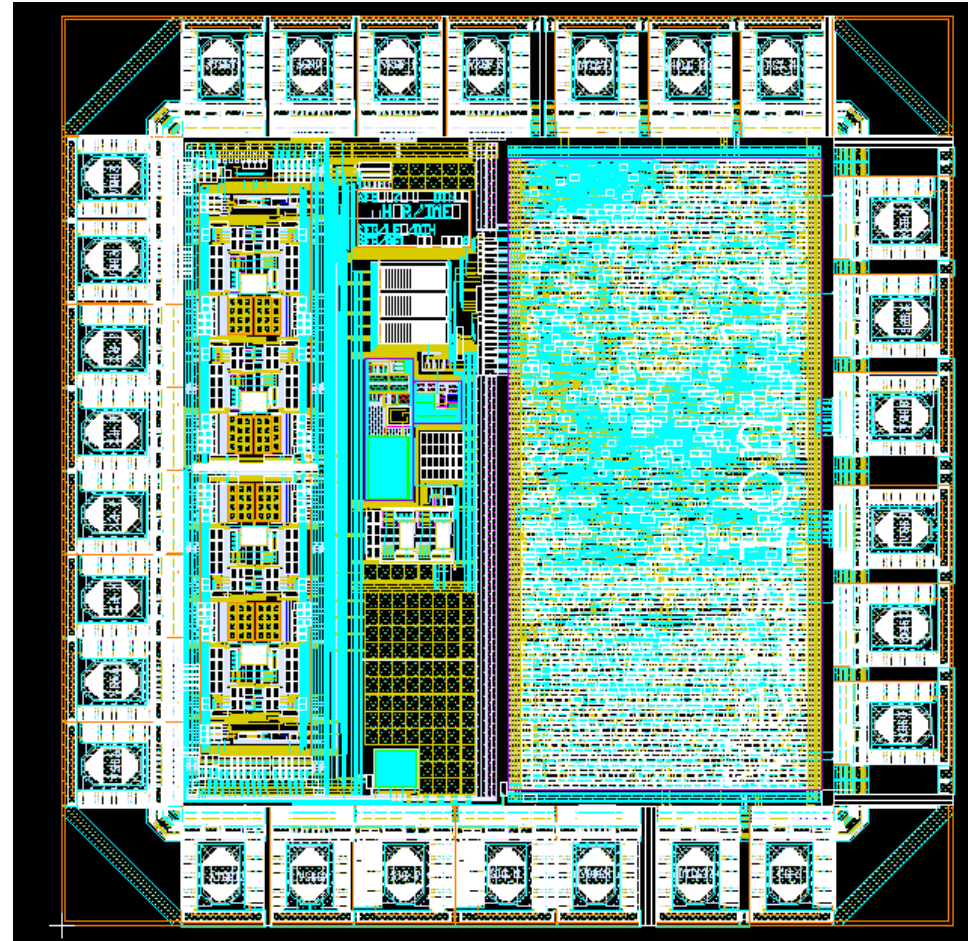


## ■ Rechenleistung

- CIC: 6x 26 Bit Addition 8 MHz
- CIC: 6x 26 Bit Subtraktion 50 kHz
- Demodulation / Averaging  
2x Addition 38 Bit 50 kHz  
2x Subtraktion 38 Bit 50 kHz
- Komplexe Division  
Addition 29 Bit 75 kHz  
Multiplikation 25 Bit 50 kHz  
Division 29 Bit 12.5 kHz
- Total: 49 MIPS (Bei 32 MHz: 196 MIPS)

## ■ Leistungsaufnahme

- Digital: 4 mW
- Analog: 14 mW
- Sensortreiber: 40 mW



# Implementierung

## ■ Chip

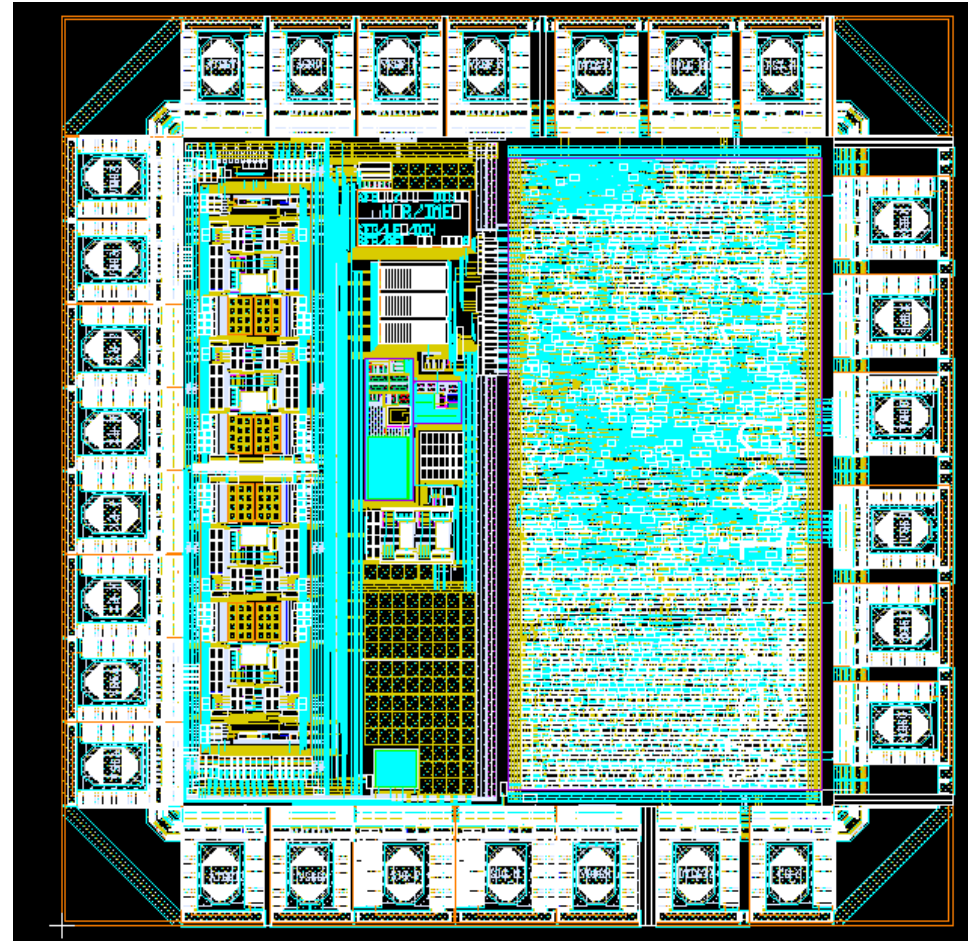
- XFAB 350 nm
- 1.84x1.88 mm
- 78k Transistoren
- QFN24 Gehäuse

## ■ Digitalteil

- 0.65x1.31 mm
- 4405 Logikzellen
- 73k Transistoren

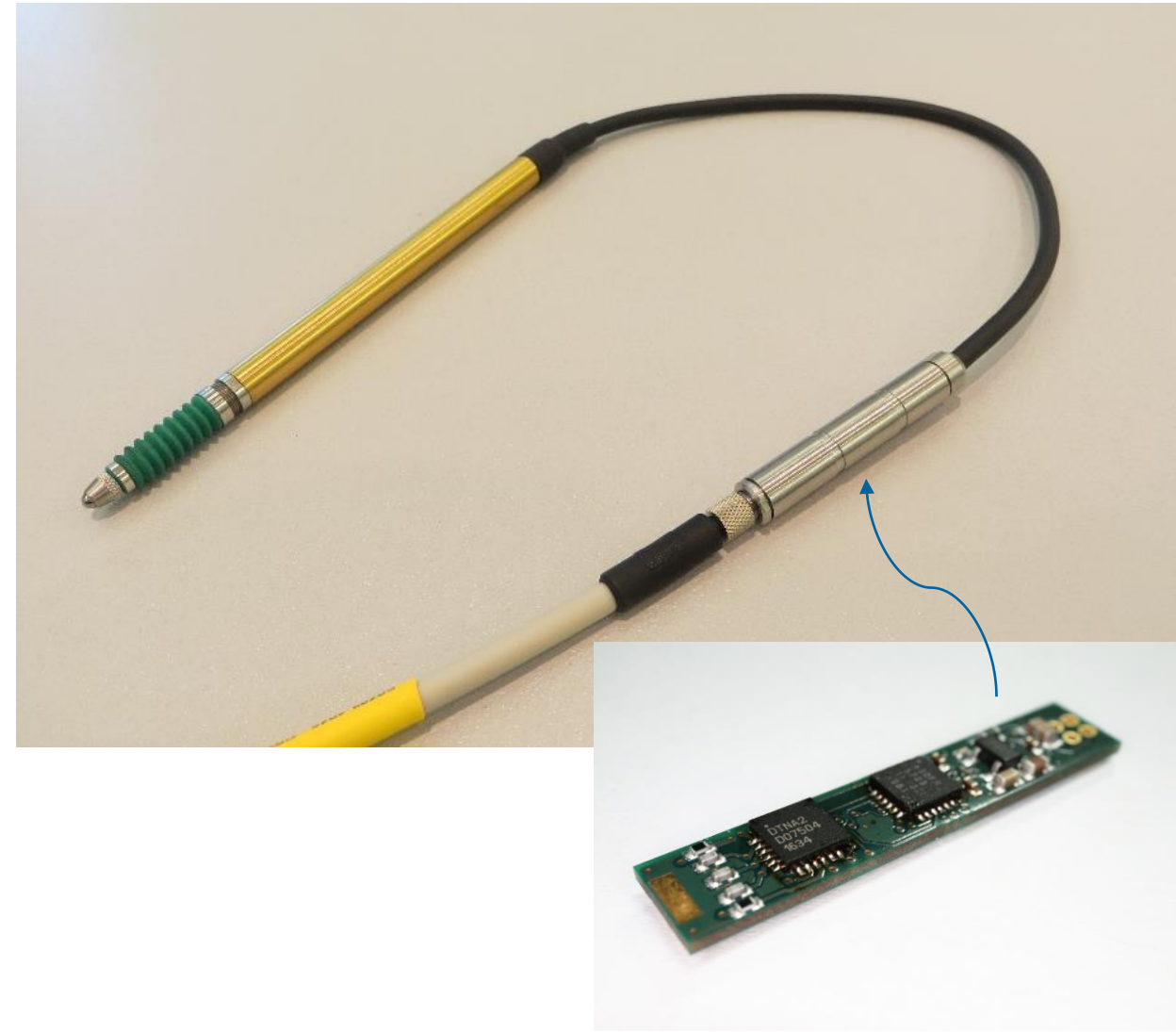
## ■ Analogteil

- 0.65x1.31 mm
- 3k Transistoren



# Performance mit T100 Sensor

- **Messbereich: +- 1 mm**
- **Standardabweichung**
  - ohne Mittelung: 82 nm -> 14 Bit
  - Mittelung 512 Samples: 3.2 nm -> 19 Bit
- **Linearität**
  - ohne Linearisierung: ca. +- 1000 nm
  - mit Linearisierung: ca. +- 50 nm
- **Mehr als 10x genauer als bisheriges System!**



## ■ KTI Projekt im IMES

- Systementwurf
- Analogteil
- Digitalteil
- Diverse Test PCB's für FPGA Boards
- Testsoftware in Matlab
- Finales PCB für Produktion
- MSP430 Software
- Testpattern für Chip-Test
- Testaufbau und Testprogramm für Produktionstest PCB

