

An aerial photograph of a town, likely Rapperswil, Switzerland. In the foreground, a large, modern building with a flat roof is covered in solar panels. The building has a brown facade and large glass windows. In the background, a lake is visible, and the town's buildings, including a prominent church with a tall spire, are spread across a hillside. The sky is clear and blue.

Von der Theorie zur Praxis

VOM ANALOGEN  
MESSTASTER ZUM  
HOCHPRÄZISEN  
SMART SENSOR

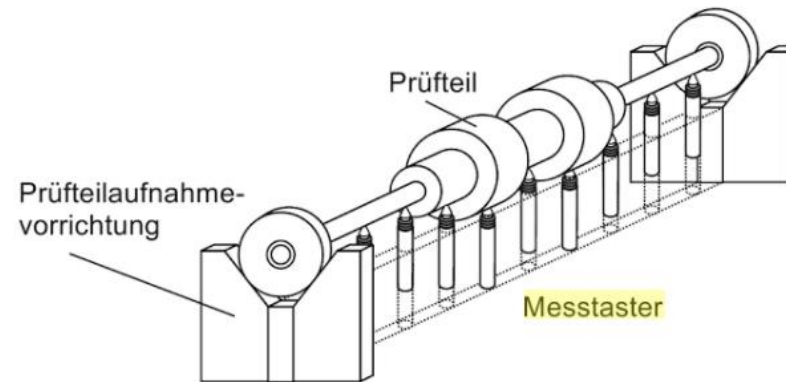
Prof. Guido Keel

Institut für Mikroelektronik und Embedded System





Messtaster mit Kugelspitze



Anwendung von Messtastern



Auswerte-Elektronik

- Firma Peter Hirt GmbH entwickelt und produziert qualitativ hochstehende induktive Messtaster
- Messtaster werden eingesetzt in industrieller Automation oder für Qualitätsprüfung
- Diverse Hersteller: Honeywell, Singer, Micro Epsilon... aus der Schweiz Tesa, Sylvac
- Messtaster liefern oft analoges Ausgangssignal
- Benötigen Messrechner mit Auswerteeinheit
- Messgenauigkeit von Messtastern beträgt wenige Mikrometer

# Messgeräte für mechanische Abstandsmessung

## ■ Schiebelehre

- Genauigkeit: bis 0.1 mm



## ■ Mikrometer-Schraube

- Genauigkeit: bis wenige Mikrometer



## ■ Messtaster (induktiv oder optisch)

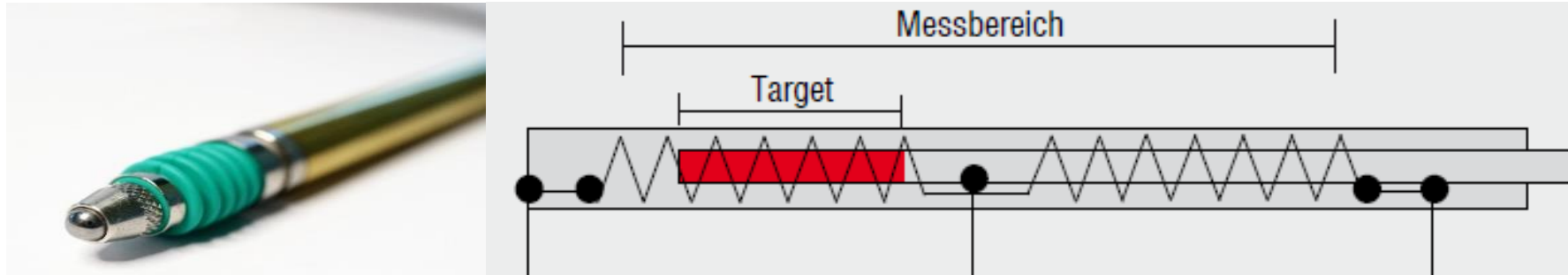
- Genauigkeit: wenige Mikrometer



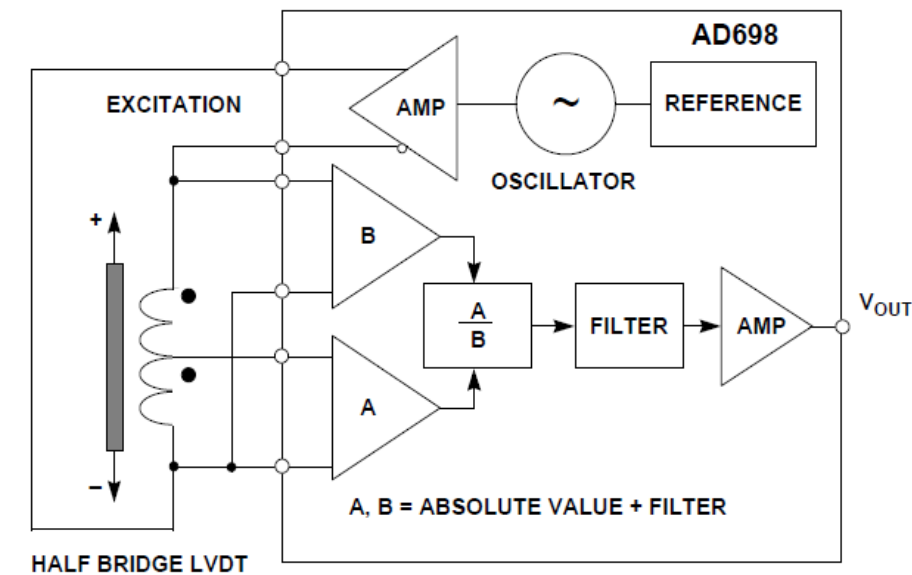
## ■ ‚Unser‘ induktiver Messtaster

- Genauigkeit: **0.1** Mikrometer
- Wiederholbarkeit: 10 Nanometer

# Induktiver Messtaster: Funktion und Auswertung



- Messtaster enthält 2 Spulen mit ferromagnetischem Kern (verbunden mit Spitze)
- Induktivitäten der Spulen ändern linear mit Position der Spitze
- Aufgaben der Elektronik:
  - aktiviert Sensor mit Wechselspannung von ~12 kHz
  - bestimmt Induktivitäten mittels Amplituden- und Phasenmessung
  - kompensiert parasitäre Effekte, u.a. von Drahtwiderständen
  - Z.B. mit speziellen ICs AD698
    - Macht analoge Division!
    - Kostet ~20\$ @1000Stk

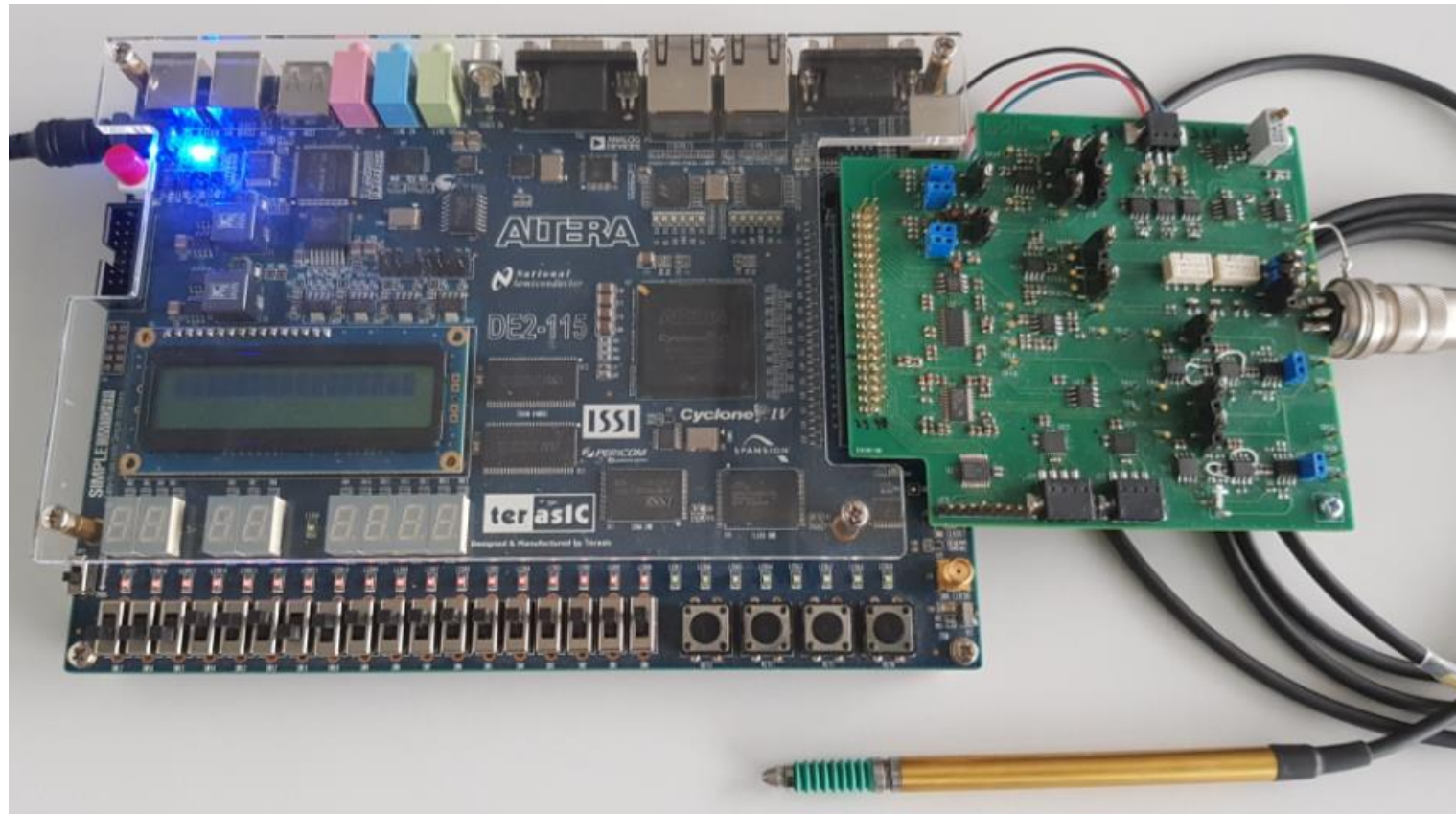


- Peter Hirt GmbH nimmt Kontakt auf mit HSR -> Institut für Mikroelektronik IMES
- Erste technische Diskussionen
- Konzept-Entwurf für System-Design
- Antrag KTI Innovationsscheck (CHF 7500)
- Patentstudie
- Definition Projektziele
- Formulierung KTI-Antrag
- Bewilligung erhalten und Start KTI-Projekt
  - Bund zahlt 50% der Projektkosten (Aufwand HSR von CHF 380'000)
  - Partnerfirma zahlt 50% der Projektkosten

- Präzision: **10 Mal genauer** als heute
- D.h. Genauigkeit von 100nm, Auflösung von **10nm**
  - bei Messweg von 10mm ergibt dies Dynamik 1 : 1'000'000
  - sehr hoch auflösende Analog-Digital- und Digital-Analog Wandler nötig
- Miniaturisierung der Elektronik: Sie soll in Sensor-Schaft passen (Ø 8mm)
- Direkte digitale Anbindung des Sensors an Messrechner/Computer
- Geringe Temperaturdrift
- Kostenreduktion: Elektronik soll nicht nur besser sondern auch billiger werden

- Miniaturisierung mit eigenem Mikrochip
  - ASIC (Application Specific Integrated Circuit)
- Hohe Auflösung erreichen mit überabgetasteten Sigma-Delta-Wandlern
  - Analog zu Audio-Systemen
- Kleiner Analogteil
  - System wird damit stabiler über Temperaturbereich
- Signalverarbeitung digital
- Kalibration Sensor mit Elektronik zur Kompensation Nichtlinearitäten
  
- Da Chipentwicklung aufwändig und teuer:
- Start mit Funktionsmuster aus käuflichen Komponenten

# Funktionsmuster

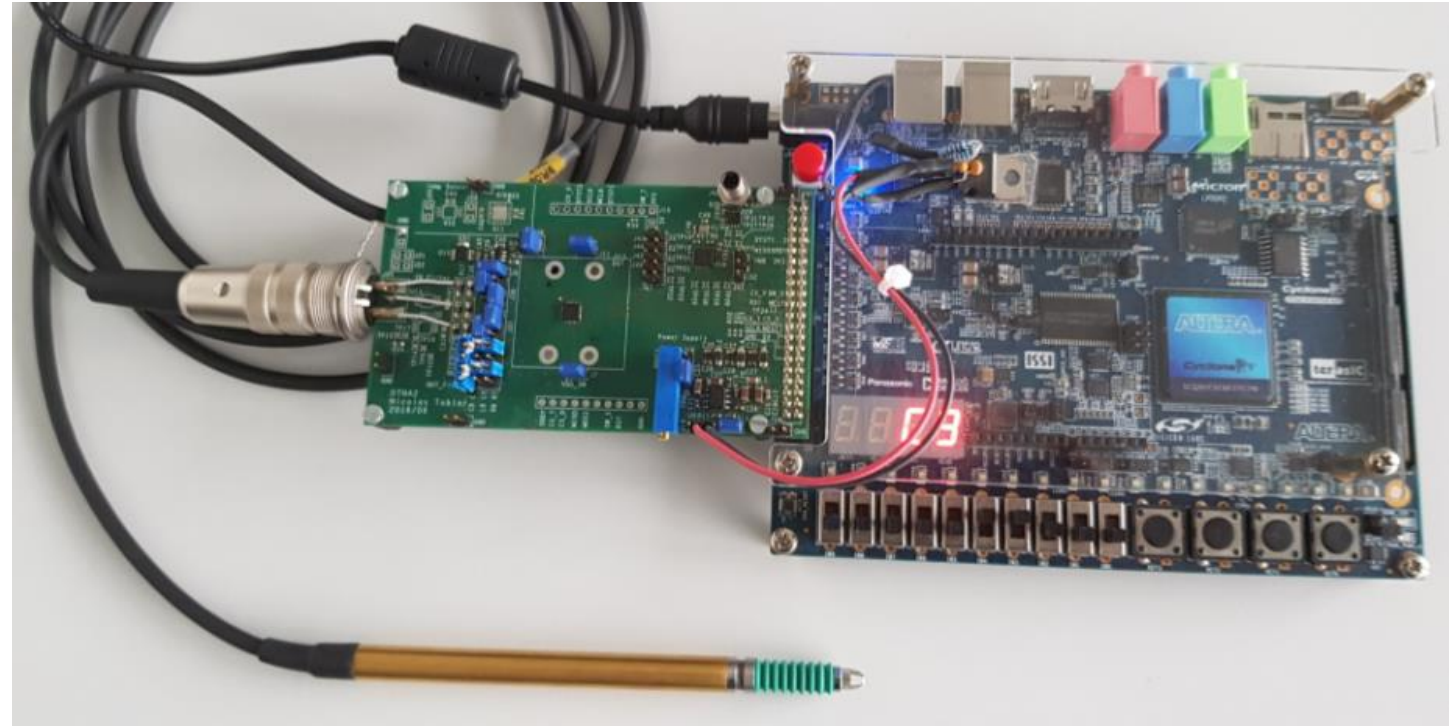


- Systemaufbau mit FPGA-Entwicklungsboard (Field Programmable Gate Array), für Digitalteil und käuflichen Komponenten für Analogteil
- Nach Beweis der Machbarkeit: Start Chipentwicklung

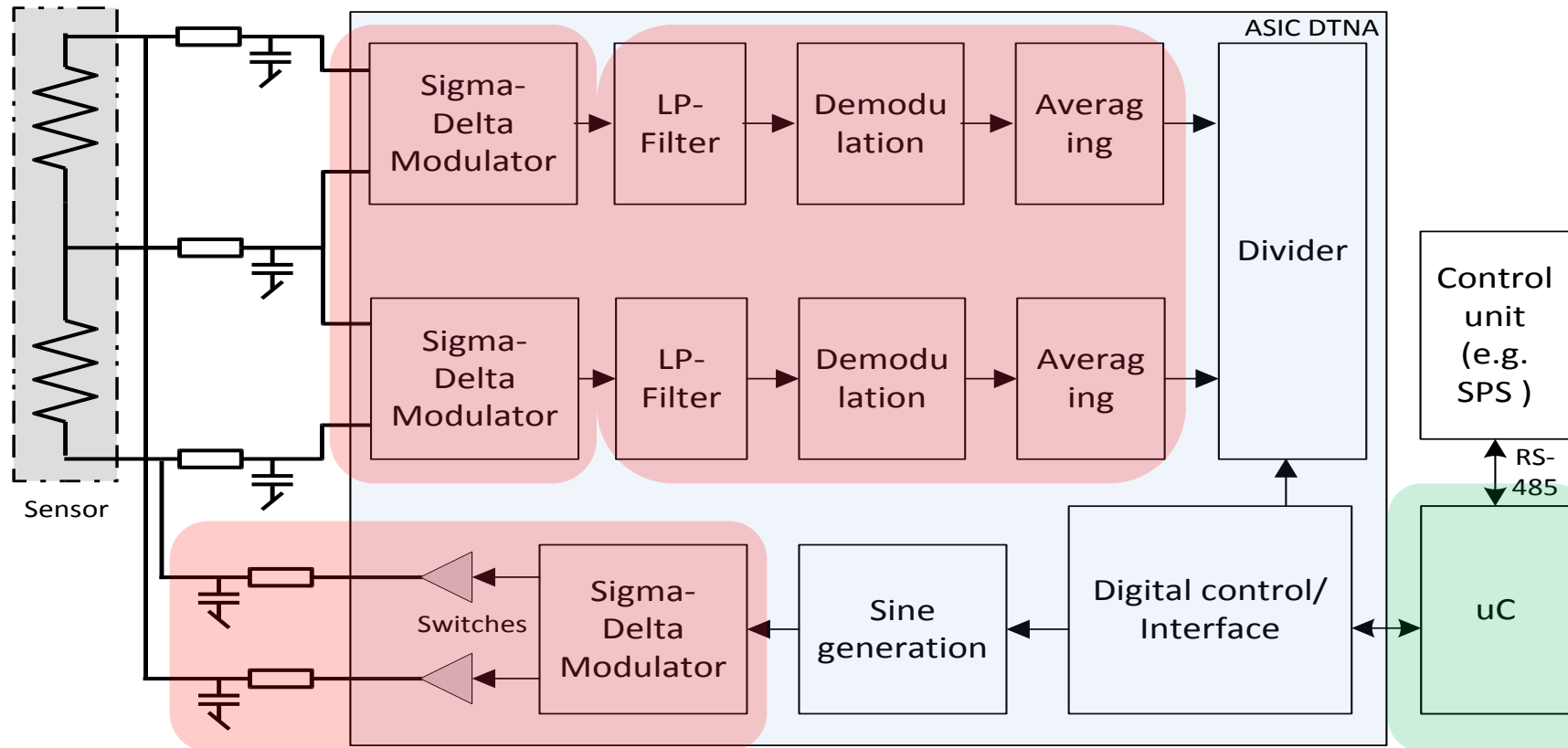


# Funktionsmuster mit ASIC und FPGA

- Entwicklung Testchip
- Mit vollständigem Analogteil
- Und minimalem Digitalteil
- Verifikation mit Testboard
- Optimierung der Algorithmen
- Zuerst auf PC mit Matlab
- Später im FPGA
- Entwicklung 2. Generation vom ASIC
- Enthält optimierten Analogteil und vollständigen Digitalteil
- Nur wenige externe Komponenten

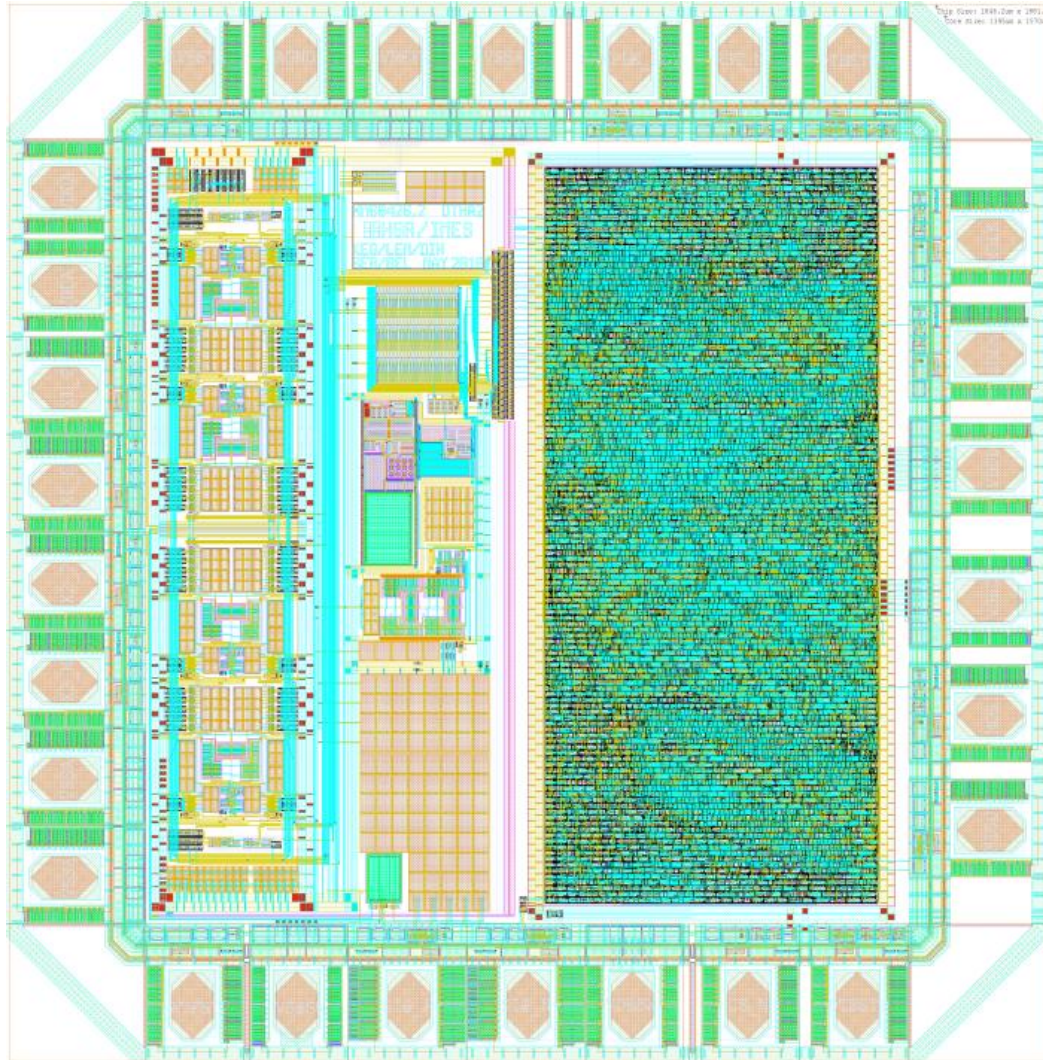


# System mit ASIC und Mikrocontroller



- Sigma-Delta DAC erzeugt Sinus-Signal für Sensor
- 2 Sigma-Delta ADCs erzeugen hochfrequenten digitalen Datenstrom
- Digitaler Signalpfad mit Filter, Demodulation, Mittelwertbildung, Division
- Kalibration und Linearisierung mit kleinem Mikrocontroller

# Der ASIC



- Chipgrösse: 3.5 mm<sup>2</sup>
- Links: Analogteil mit Wandlern
- Rechts: Digitalteil mit 80'000 Transistoren
- CMOS-Technologie mit minimaler Transistorgrösse von 350nm
- Herstellung bei XFAB in Dresden
- Grösse verpackt: 4x4mm<sup>2</sup>

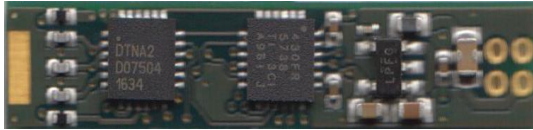
# Prototypen mit ASIC und Mikrocontroller

- Aufgaben Mikrocontroller:
- Kalibration Sensor
- Kommunikation mit Kontrolleinheit
  
- 1. Produkt mit RS485 - Protokoll
- Später USB, IO-Link
  
- Weitere Entwicklungen:
- Kalibrations-System mit Schrittmotor und Referenzsensor
- kontrolliert mit PC / Matlab

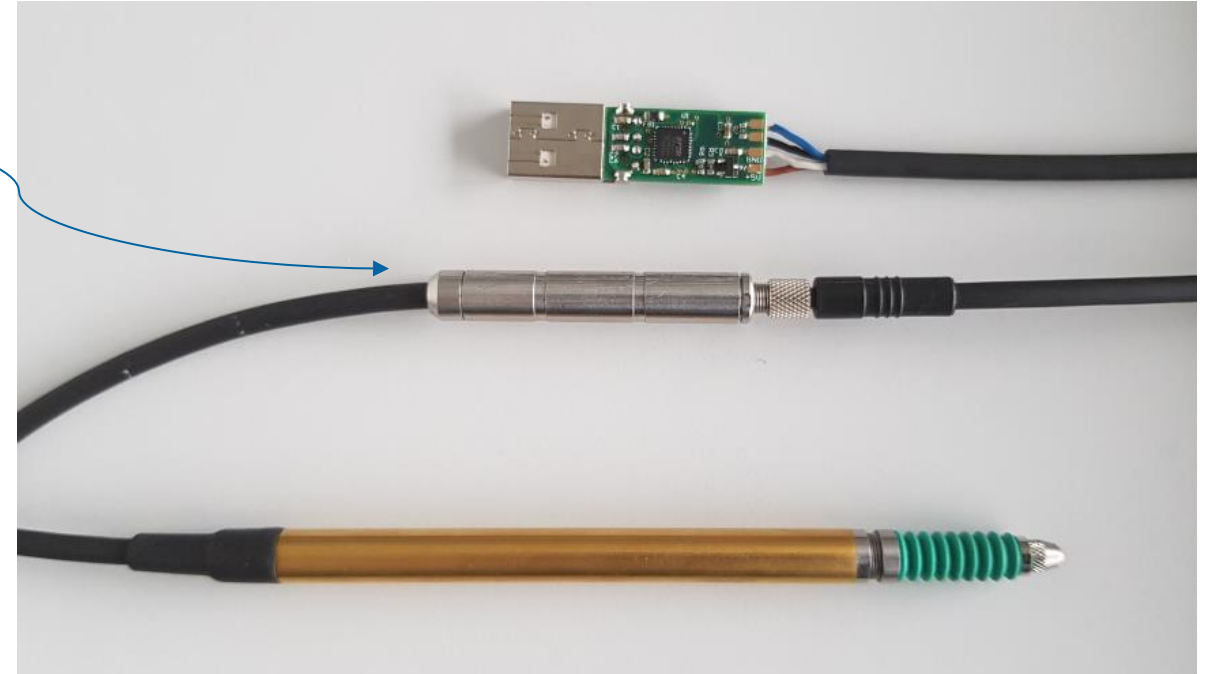




# Prototypen mit ASIC und Mikrocontroller



Miniaturisierte Elektronik zur  
Integration in Messtaster-Hülse  
( $\varnothing$  8mm)



- Heute: Elektronik in separatem Gehäuse
  - Da viele Sensortypen und nur eine Elektronik
  - einfachere Logistik
- Später, zur Kostenoptimierung: Elektronik direkt im Sensor

- 1. Vorserie wurde produziert in 4. Quartal 2017
- Normentest durchgeführt
- Vermarktung gestartet, grössere Serien 2018
  
- **Projektpartner**
- System- und Chipentwicklung: IMES
- Entwicklung Elektronik-Modul: IMES
- Sensor, Mechanik & Gehäuse: Peter Hirt mit Partnerfirmen in CH
- Entwicklung Produktionstest ASIC: IMES mit Microdul (Zürich)
- Modultest: IMES, implementiert bei Microdul
- Logistik: Peter Hirt und Microdul

- Dank eigens entwickelter Elektronik mit eigenem Mikrochip wird aus analogem Sensor ein hochpräziser digitaler Smart Sensor
- ...mit 10 Mal grösserer Auflösung als heute
- ...zu wesentlich geringeren Kosten als heute
- Peter Hirt GmbH ist damit bereit für die Industrie 4.0
- ... und das IMES der HSR ein möglicher Umsetzungspartner für Ihr Digitalisierungsprojekt

