

ASTROSE

Autarkes Sensornetzwerk zum
Monitoring in der Energietechnik

 Fraunhofer
IZM

 envia^M

 amprion



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

 ELMOS

 audacia[®]

 mpdi
microelectronic packaging dresden

 Fraunhofer
ENAS

 unilab
Systemhaus

 ASTROSE

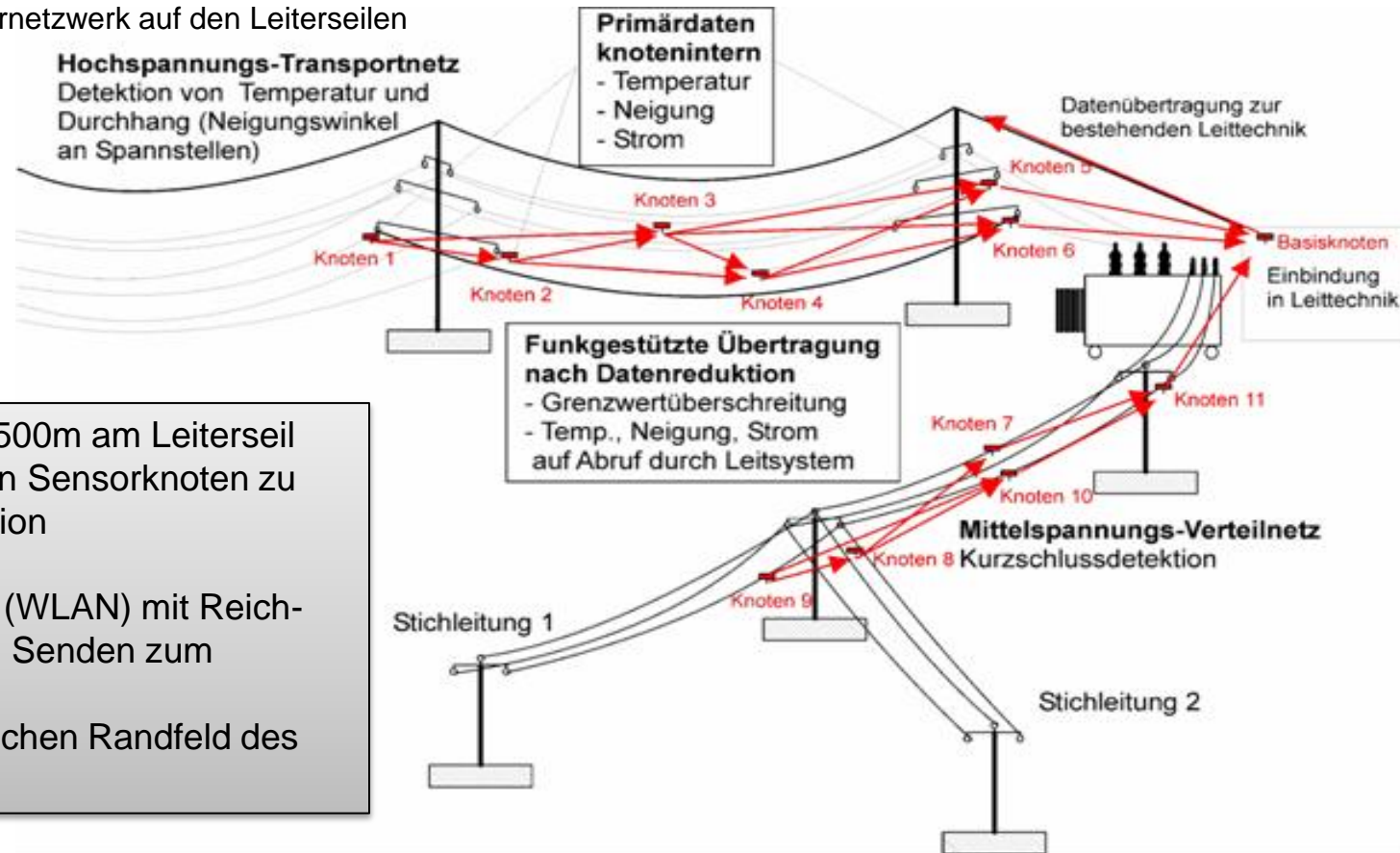
autarkes sensornetzwerk zum
monitoring in der energietechnik

Technische Zielstellung des Projektes

- Zeitlich stark **wechselnde Auslastung** der Energieverteil- und Transportnetze beispielsweise durch Verbrauchslastzeiten oder regenerative Energiequellen. Angebotene regenerative Energie kann mitunter nicht verteilt werden, **Transportengpass**.
- Ein **Gefährdungspotenzial** entstünde durch unzulässige Leitungsbelastung mit vergrößertem Durchhang im Falle von Überlastung.
- Eine **Sicherheitsmarge** wirkt entgegen und reduziert oft die zulässige Leitungskapazität gegenüber der tatsächlich verfügbaren.
- Zielstellung: **On line Monitoring** von Teilen des Leitungsnetzes bezüglich **Temperatur und Durchhang** zum Gewinnen von Echtzeitdaten als Grundlage zur Steuerung des Energieflusses.
- Wirkung: Beurteilung der tatsächlich verfügbaren Transportkapazität und **Optimierung der Energieflüsse**

Im Projekt verfolgter Lösungsansatz

Energieautarkes, autonomes Sensornetzwerk auf den Leiterseilen
mit Einbindung in die Leittechnik



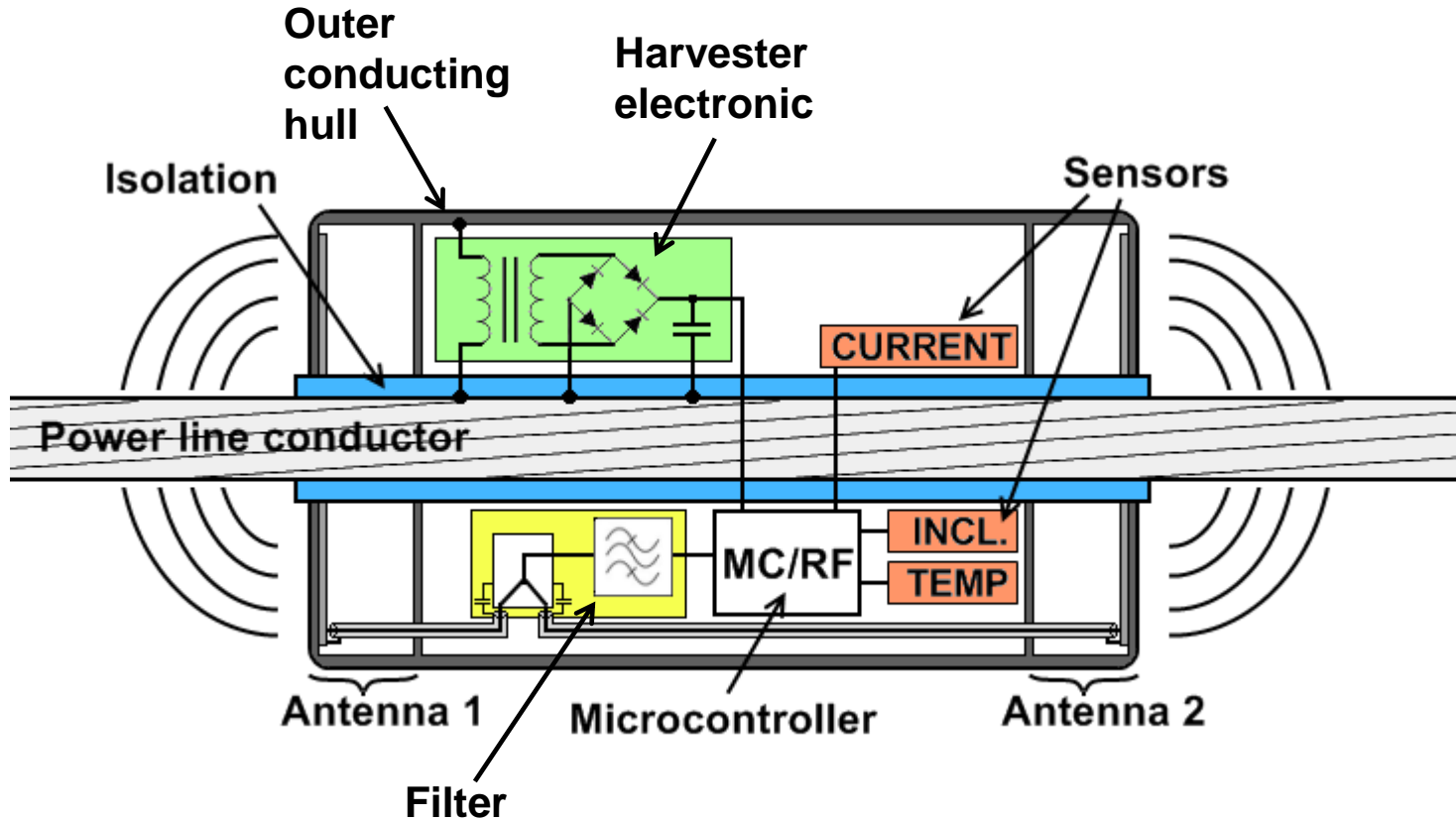
- Sensorknoten im Abstand von 500m am Leiterseil
- Übertragung der Messwerte von Sensorknoten zu Sensorknoten bis zur Basisstation
- Selbstorganisation des Netzes
- Übertragungsfrequenz 2,4GHz (WLAN) mit Reichweite von 1000 m (Redundanz, Senden zum übernächsten Sensorknoten)
- Energieversorgung aus elektrischen Randfeld des Leiterseils

→ Einsetzbar für Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetze

Technische Fragestellungen und Herausforderungen

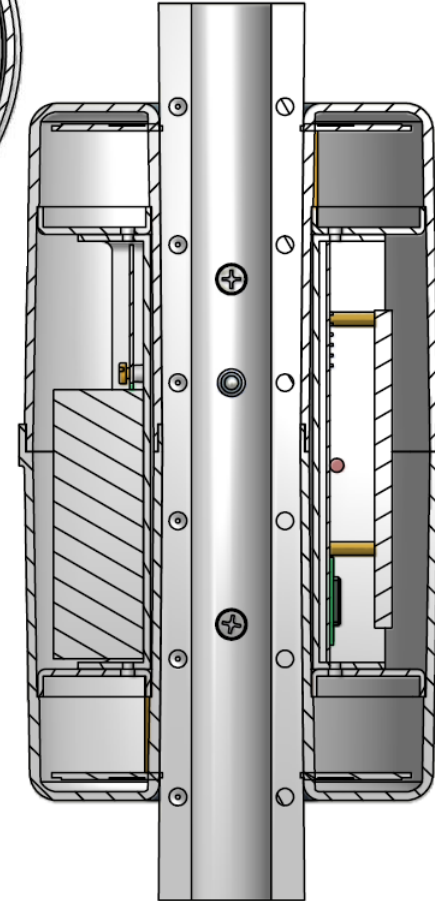
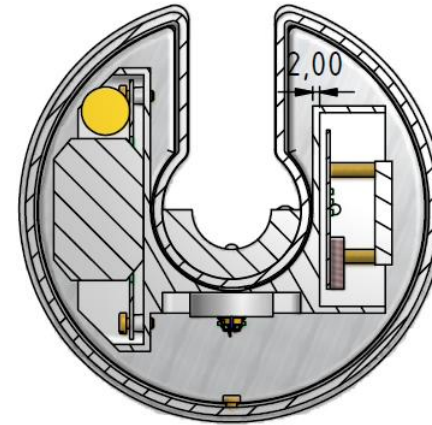
- Ist die **Energieversorgungssituation** ausreichend um die Sensorfunktionalität zu gewährleisten?
 - Wie kann die hohe Spannung auf das benötigte Niveau transferiert werden?
- Kann ein **Kommunikationsprotokoll** entwickelt werden, dass den Datenaustausch bei geringem Leistungsbedarf realisiert?
 - Wie kann die Funkknoten synchronisiert werden, ohne häufigen Datenaustausch?
- Ist eine **Funkkommunikation** im gegebenen Umfeld möglich?
 - Welchen Einfluss hat das Leiterseil und die Masten?
 - Können Teilentladungen die Kommunikation stören oder sogar die Funkelektronik zerstören?

ASTROSE Sensorknoten



Komponente: Gehäuse

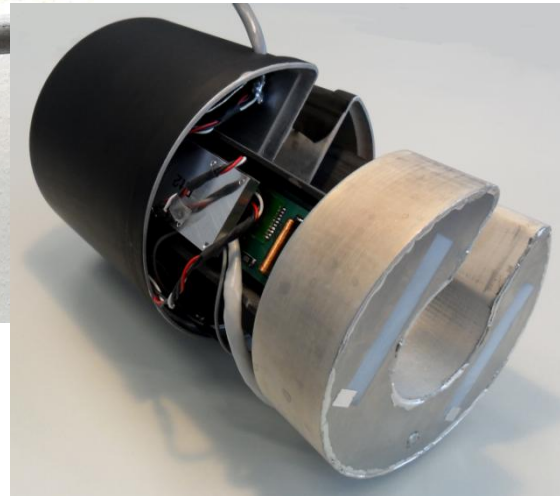
- bestehend aus PUR (Polyurethan)
- Aufnahme für Elektronik, Sensorik, Antennen und Antennenfilter
- Teil des Harvesters (Außenelektrode)



Isolator (Isolation
zum Leiterseil)



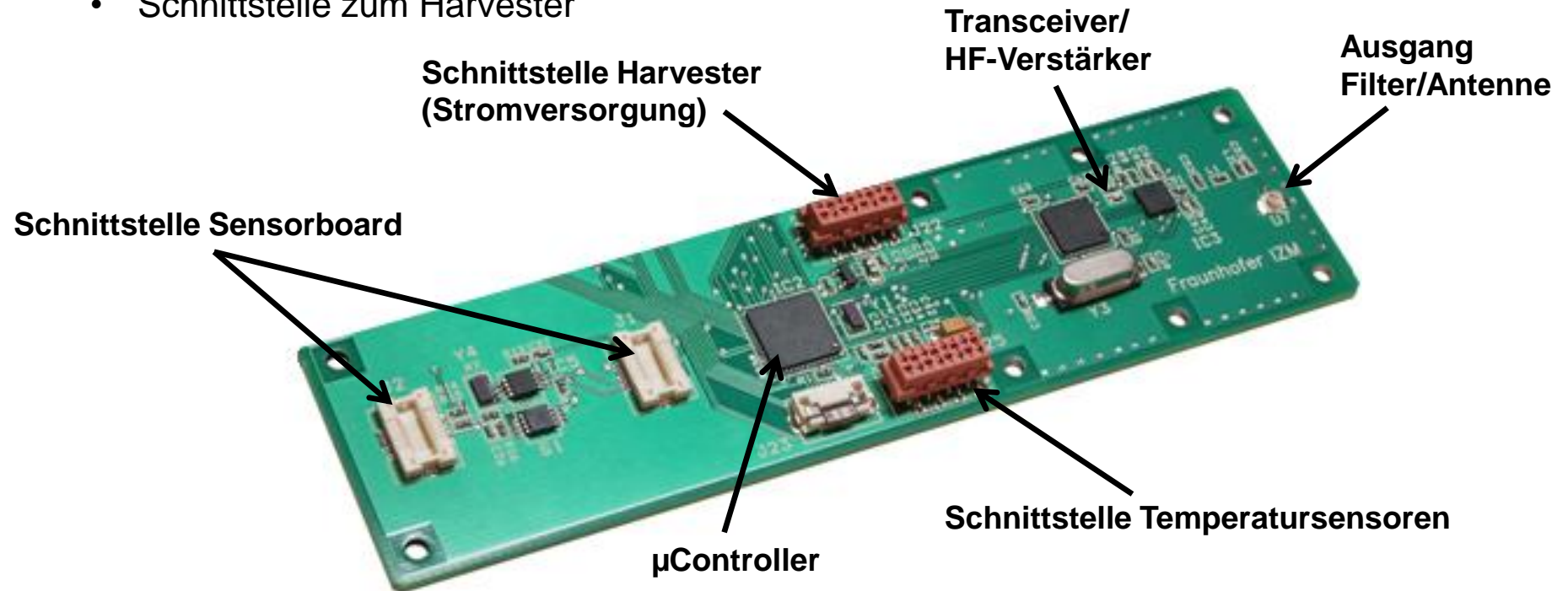
Außengehäuse mit
Montierungsschlitz (Cu-
beschichtet + Schutzlack)



Im Inneren: Halterung für
Elektronik und Antenne

Komponente: Mikrocontrollerboard

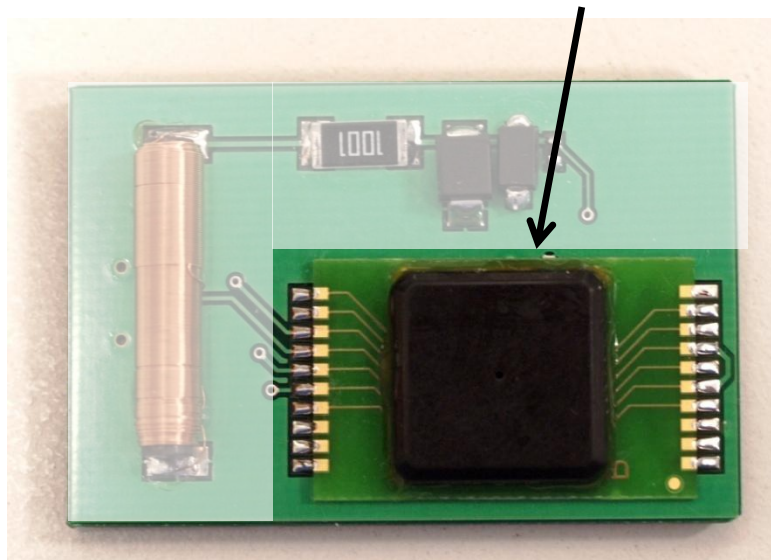
- μ C und Transceiver
- Schnittstelle zu Sensoren (Temperatur, Strom, Neigung)
- Schnittstelle zum Harvester



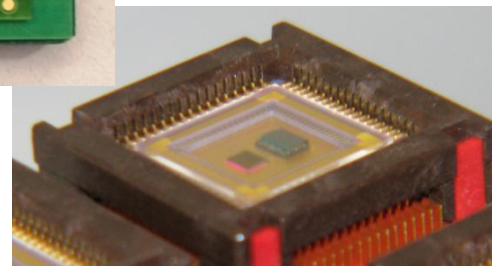
Komponente: Neigungssensor

- Kapazitive MEMS-Neigungssensor und ASIC
→ Sensorprinzip: Differenzkondensator

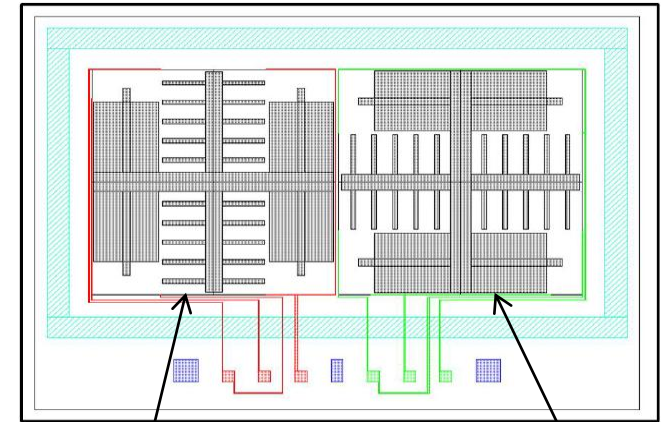
MEMS-Sensor mit ASIC (GlobTop Package)



Sensorboard



MEMS-Sensor und ASIC im
Keramikpackage (Prototyp)



X-Sensor
($\pm 10^\circ$ Auslenkung)

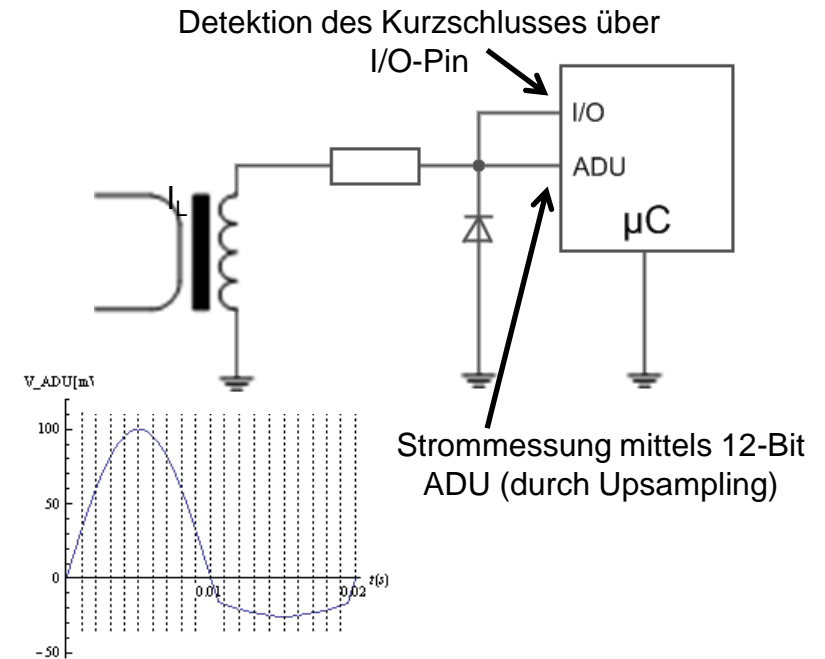
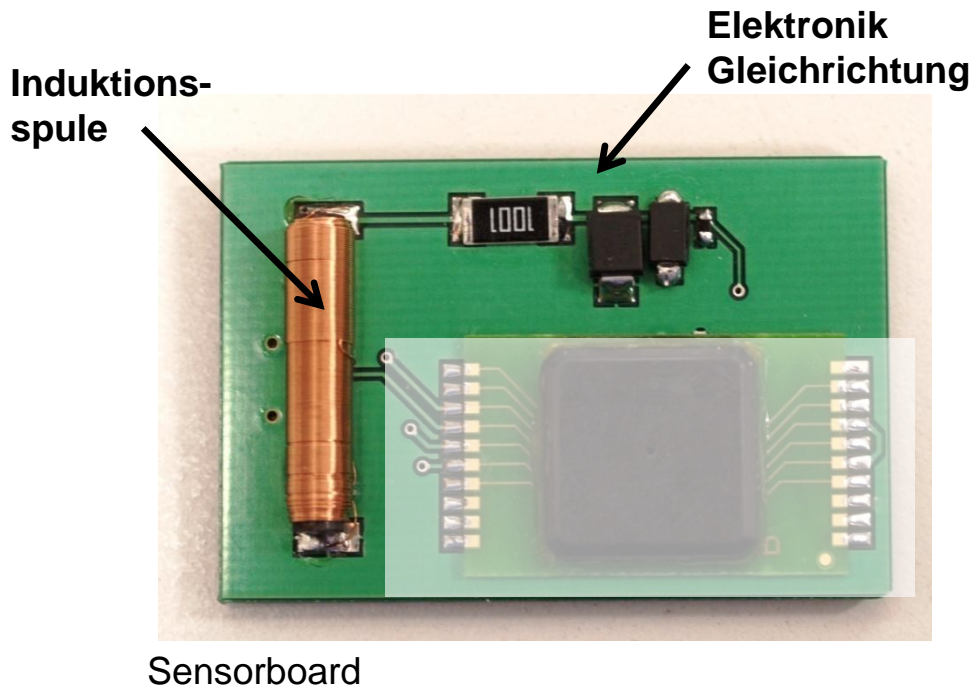
Y-Sensor
($\pm 50^\circ$ Auslenkung)

Eigenschaften

- X-Sensor: charakterisiert den Durchhang, sensitive Richtung ist parallel zum Leiterseil
→ Auflösung $< 0,01^\circ$
- Y-Sensor: charakterisiert die Drehung um das Leiterseil, Ausschwingung im Wind oder Verdrillen des Seiles
→ Auflösung $< 0,1^\circ$

Komponente: Stromsensor

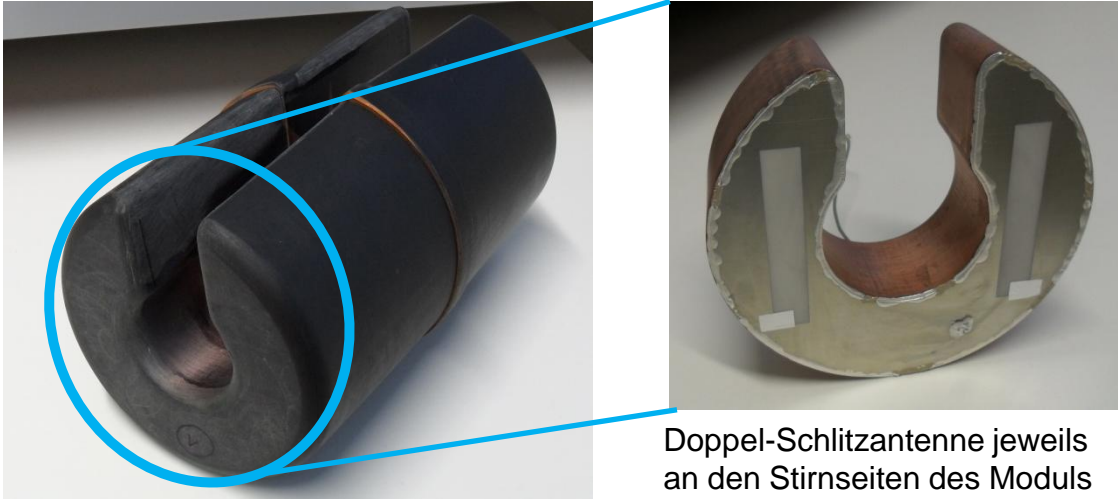
- Strommessung und Kurzschlussdetektion
→ Prinzip: Spannungsinduktion durch wechselndes B-Feld



Eigenschaften

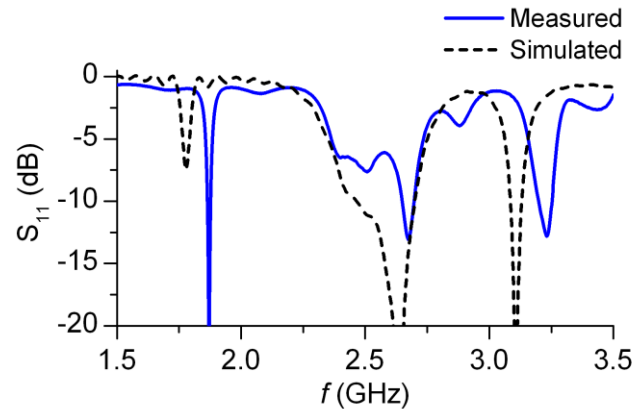
- Empfindlichkeit: 0,37mV/A
- Messgenauigkeit (bezogen auf 75A): $\approx 1,3\%$
- Auslösung der Kurzschlussdetektion: $> 3800A$

Komponente: Antenne



Astrose Modul mit
PUR-Außenhülle

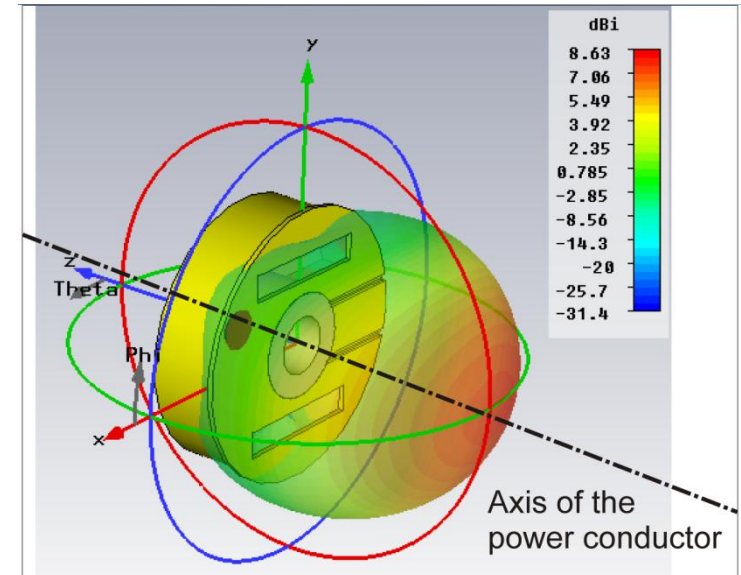
Doppel-Schlitzantenne jeweils
an den Stirnseiten des Moduls



Gemessene und simulierte
Impedanzanpassung

Eigenschaften

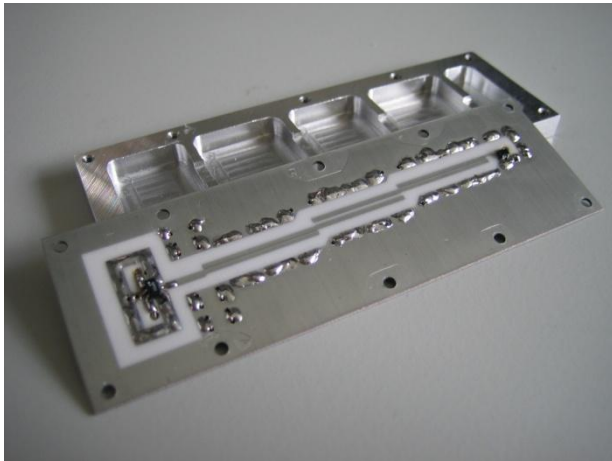
- Gute Richtwirkung entlang des Leiterseils
- Hohe Effizienz
- Breitbandig und damit unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen (Feuchtigkeit, metallische Objekte)



Antennendiagramm in 3-dimensionaler
Darstellung; Richtwirkung 8.6dBi

Komponente: Antennenfilter

- Neben dem Nutzsignal empfängt die Antenne verschiedenartige Störsignale
- Eventuelle Teilentladungen können starke Störsignale verursachen



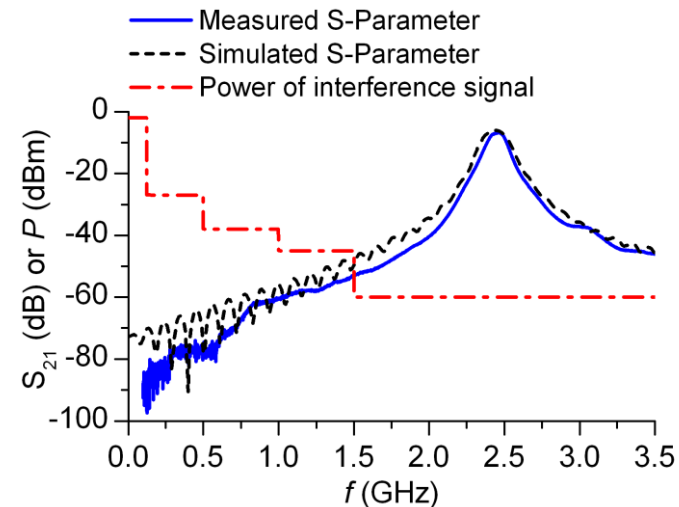
Antennenfilter in Microstriptechnologie

Funktion

- Bandpassfilter
- Limiterfunktion mit Suppressordioden
- Integrierter Leistungsteiler/-kombinierer für Vorder- und Rückseitenantenne

Experiment

- Im Hochspannungslabor wurden sehr starke Teilentladungen erzeugt und spektral analysiert
- Ergebnis: Störsignale durch Teilentladungen werden durch den Filter zuverlässig unterdrückt (60-80 dB Dämpfung)
 - Keine Beeinflussung der Funkübertragung nachweisbar



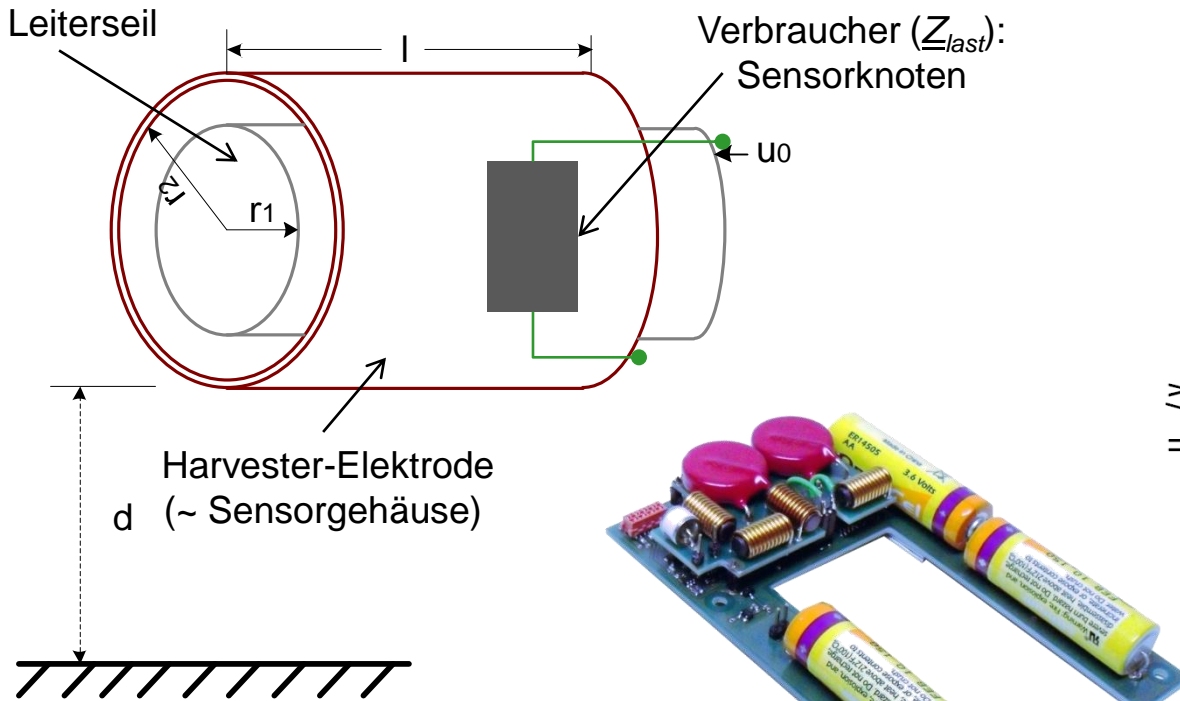
Amplitude der Teilentladungen und Filterdämpfung

Komponente: Harvester mit Elektronik

- Energiegewinnung aus elektrischen Randfeld zwischen Harvester-Elektrode (Außenhülle) und Leiterseil
- ausreichend Energie für Sensorknoten verfügbar

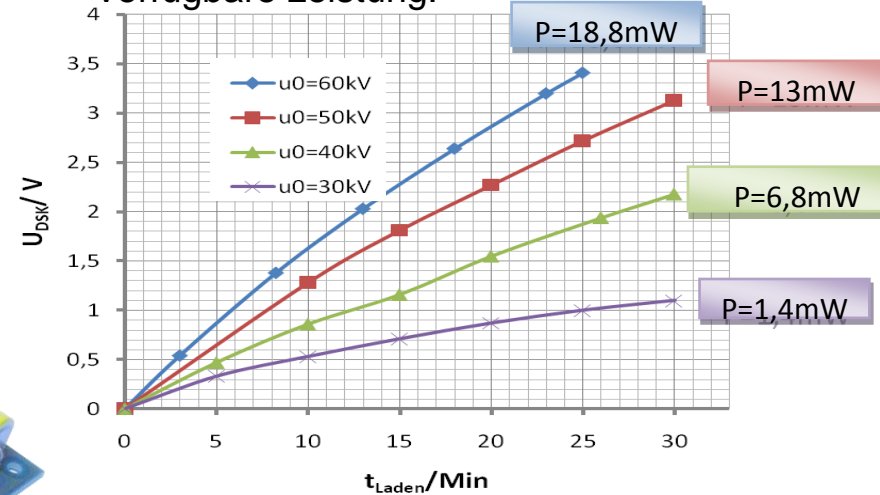


Harvester-Elektrode (Cu beschichtetes Gehäuse) im Hochspannungslabor



Harvesterelektronik (mit Batterie für Testbetrieb)

Verfügbare Leistung:



Betriebsmodi und Energiebedarf der Sensorknoten

$P_{\text{Bedarf}} = 4,1 \text{ mW}$

Neuinstallation

Sensorknoten ist soeben am Seil befestigt

Hochspannung wird eingeschaltet

Netzinitialisierung

Aufstellen der Routingtabellen. Die Richtung zur Basisstation ergibt sich aus der festen Knoten ID des jeweiligen Nachbarn.

Abschluss: automatisch bzw. nach Timeout der aktiven Sensorknoten bei der Evaluierung der Nachbarn

$P_{\text{Bedarf}} = 4,6 \text{ mW}$

Vollständige
Initialisierung

Normalbetrieb

Datenaufnahme und Eintrag in Datensammeltabelle zur Weitergabe.
Sendezeit wird relativ durch die Knoten-ID festgelegt. Beginn am entferntesten Knoten. Gleichzeitig empfangen die Nachbarn.

Empfangszeit orientiert sich an der Sendezeit der Knoten in Reichweite und in Richtung aus der Daten zu erwarten sind.
Zyklus der Datenübertragung beträgt 15min.

Netzwiederkehr
bevor Pufferspeicher
aufgebraucht

Netzausfall /
niedriger Ladezustand

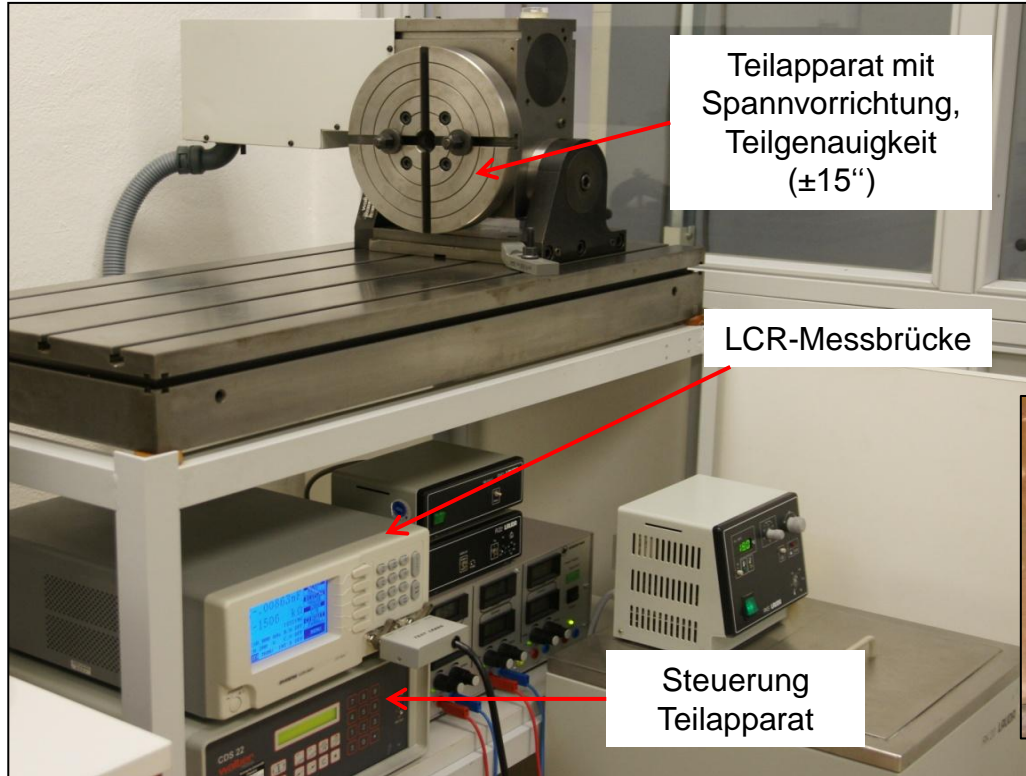
Standby-Betrieb

Stromaufnahme minimal, nur Hochspannungsdetektionsschaltung, Echtzeituhr und μC aktiv, Keine Kommunikation und Messwertaufnahme, Warten auf Hochspannung

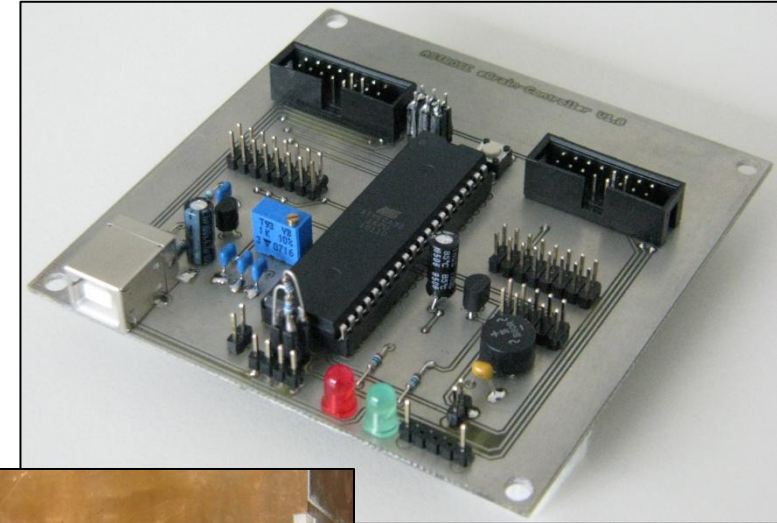
Netzwiederkehr
nachdem Puffer-
speicher
aufgebraucht

$P_{\text{Bedarf}} = 1,1 \text{ mW}$

Sensortest (Neigungssensoren)



Testapparatur



Mikrocontroller-Board

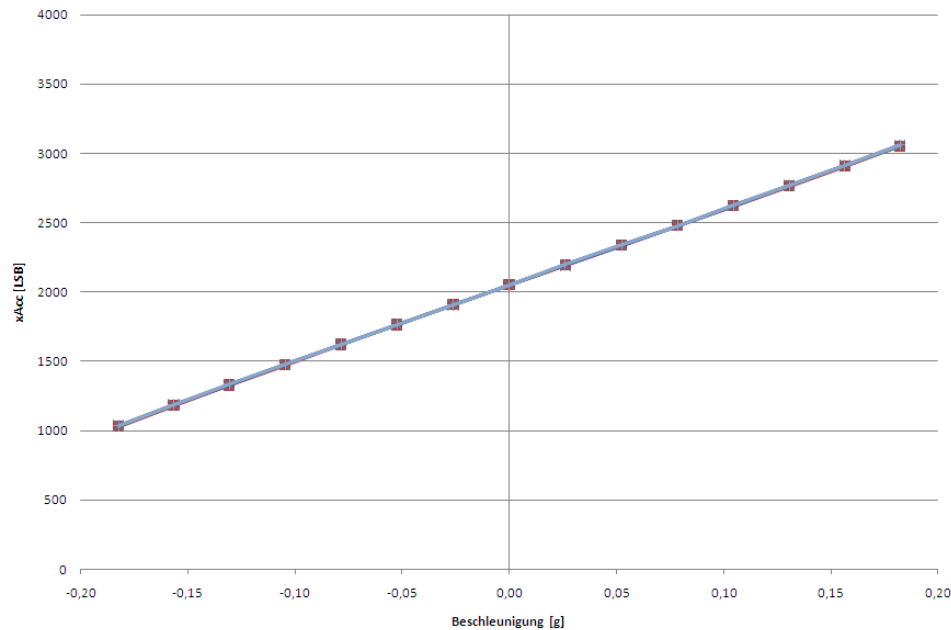


Sensorplatinen auf
Halterung in
Klimakammer

Sensortest (Neigungssensoren)

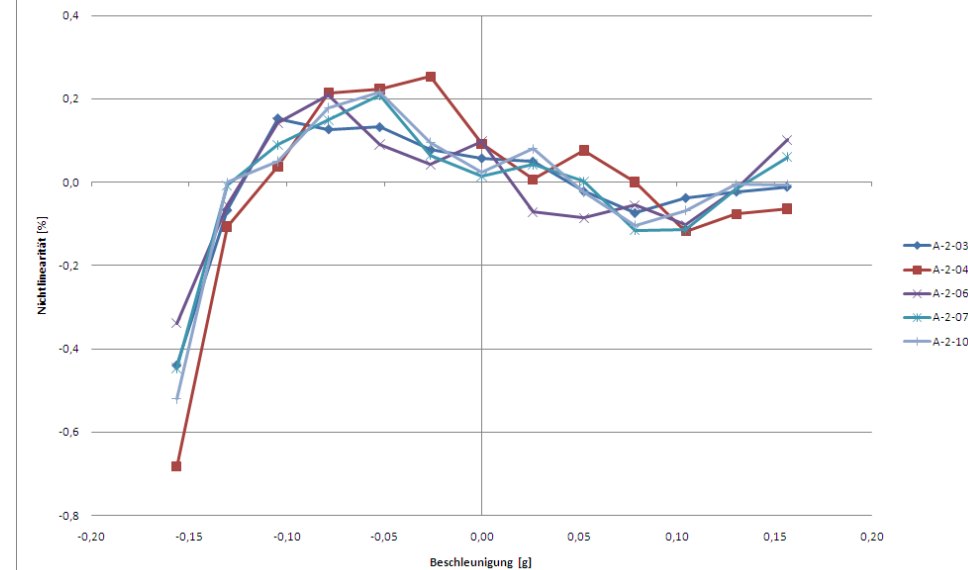
- Charakterisierung und Kalibrierung von xy-Neigungssensoren für Demonstrator

ASTROSE-Neigungssensoren (x-Achse, $\pm 10^\circ$, $\pm 170\text{mg}$)



Messkurven (LSB-Beschleunigung)
der x-Achse der Neigungssensoren

x-Achse



Nichtlinearitätsfehler der x-Achse ist besser als 0,7%

Feldversuche an Freileitungen

- Untersuchungen zu Reichweiten, Dämpfungen durch Trägermasten, Verhalten der Antenne (Prototyp) am Leiterseil



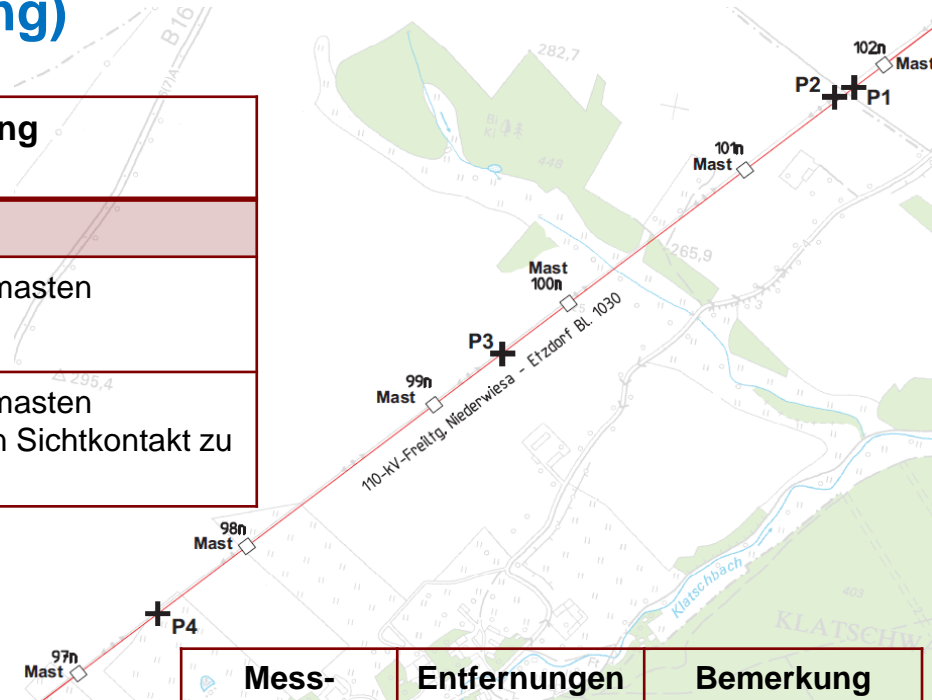
Feldversuch an 110kV Leitung
(mit Antennenprototyp und Funkelektronik im Versuchsstadium)



Feldversuch an 380kV Leitung

Versuchsergebnisse (110kV-Freileitung)

Position	P _{empfang_Real} [dBm]	P _{empfang_Theorie} [dBm]	Bemerkung
P2 (am Boden)	-50,0 (mit Yagi)	-48 (mit Yagi)	
P3 (am Boden)	-72,3	-74,1	- 2 Trägermasten
P3 (Leiteseilhöhe)	-72,8	-74,1	
P4 (am Boden)	Kein Signal	-79,7	- 4 Trägermasten im Tal, kein Sichtkontakt zu Sender
P4 (Leiteseilhöhe)	-81,9	-79,7	



- geringe Abweichung zwischen gemessenen und theoretischen Werten
- keine Dämpfung durch Trägermasten
- Funkübertragung entsprechend der Freiraumdämpfung
- keine Beeinflussung der Antenne durch Leiteseil
- erste Datenübertragung mit 1dBm Sendeleistung über 1400m erfolgreich

Messpositionen	Entfernungen	Bemerkung
P1		Aufhängepunkt
P2	30m	am Boden
P3	740m	2 Trägermasten
P4	1420m	4 Trägermasten

Zusammenfassung

- Energieautarkes großflächiges Sensornetzwerk zur Messung der Betriebszustände von elektrischen Freileitungen
- Sensordatenübertragung (Neigung, Temperatur, Strom) auf 2,4 GHz
- Übertragung von Sensorknoten zu Sensorknoten bis zur Basisstation mit Anbindung zur Leittechnik
- Hard- und Software des Sensorknoten wurde entwickelt und gefertigt (→ Demonstrator)
- **Größte Herausforderungen sind gelöst**
 - **Funkkommunikation** auf Leiterseil erfolgreich über 1,5 km realisiert
 - **Energieversorgung** durch Harvester mit mehr als 5 mW sichergestellt
 - **Kommunikationsprotokoll** mit geringem Leistungsbedarf (< 5mW) entwickelt

