

# **PFISTERER**

- Motivation und Förderung im Rahmen von ZÜbReNe
- Groblokalisation beim Teilentladungsmonitoring
- Thermische Modellierung von Kabelmuffen
- Konzept des aktuellen Prototypen
- Komponententest & Systemprüfung

Kabelmuffen mit integrierter TE- und Temperatursensorik für eine autarke Zustands- überwachung

D. Passow M. Heckel



#### Verbundvorhaben ZÜbReNe

Steigerung der Zuverlässigkeit und Überlastbarkeit von Betriebsmitteln zur Reduktion von Netzausbau

- Ziele:
  - Untersuchung der Überlastbarkeitsmöglichkeiten von Betriebsmitteln auf Basis von Monitoring:
    - Leistungs- und Ortsnetztransformatoren
    - Energiekabelsystemen und Garnituren
  - Ableitung von Erkenntnissen zur Reduktion von Netzausbau bei zukünftigen Netzplanungen
- Teilprojekt: Entwicklung einer Kabelmuffe mit integrierter Sensorik









# Übersicht über die definierten Lasten für die Konzeption einer Kabelmuffe mit Zustandsmonitoring

Integration der Sensorik im Gehäuse der Muffe

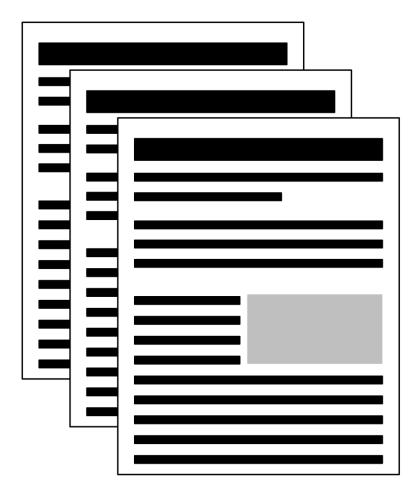
Keine Veränderungen an der Feldsteuerung der Muffe

Modularisierbarkeit des Systems

Autarke / Unabhängige Energieversorgung

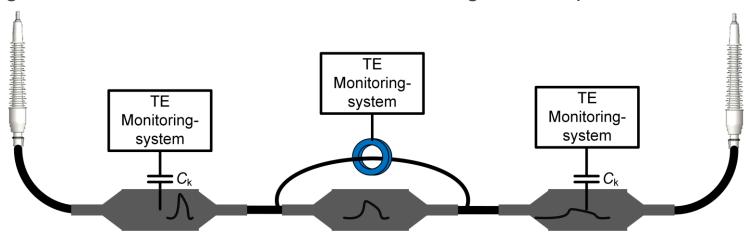
TE Monitoring: Kabelmuffe im Fokus, Groblokalisation und Rückschlüsse aufs Kabel möglich

Thermisches Monitoring: Erfassung von Temperaturdaten und Modellierung der Leitertemperatur



#### **TE Monitoring Prinzip der Groblokalisation**

Ortung auf Basis verteilter Sensorik unter Nutzung des Frequenzbereichs

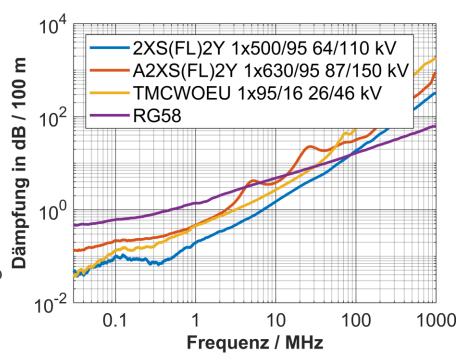


- TE erzeugen steilflankige Impulse mit einem breitbandigen Amplitudendichtespektrum
- Mechanismen wie Dämpfung und Dispersion führen zu einer effektiven Tiefpassfilterung eines TE Impuls beim Durchlaufen des Kabels:
  - **Dispersion:** Pulsverformung aufgrund unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeiten der einzelnen Frequenzkomponenten → Impulsaufweitung
  - Dämpfung: Frequenzabhängige Verlustmechanismen im Kabel → Reduktion der Amplitude

#### Dämpfungsverhalten von Koaxialkabeln

Vergleich Energiekabel vs. RG58

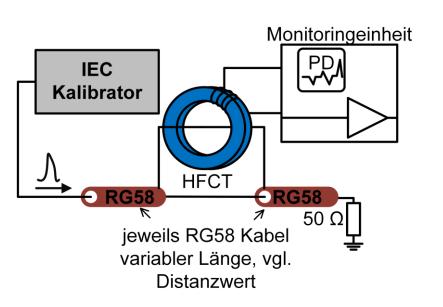
- Eine Vermessung des Dämpfungsverhaltens ergibt:
  - Dämpfung nimmt exponentiell mit der Frequenz zu (doppellogarithmische Skala und Werte in dB!)
  - RG58 Kabel verhalten sich grundsätzlich sehr ähnlich zu Energiekabeln
  - Lange RG58 Kabel können im Labor einfach eingesetzt werden um das Prinzip der Groblokalisation zu demonstrieren

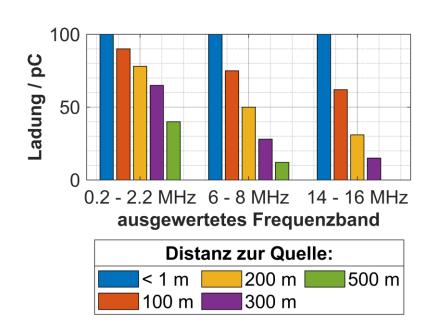


Gemessene Kabeldämpfung, auf 100 m skaliert

#### Nutzung des Frequenzbereichs zur Lokalisation

Groblokalisation





- Jeweils Injektion eines 100 pC Impulses bei veränderter RG58 Kabellänge
- Mit zunehmender Distanz zwischen Quelle und Detektionseinheit reduziert sich die gemessene Ladungsintensität, je h\u00f6her der Frequenzbereich desto gr\u00f6\u00dfer ist die D\u00e4mpfung
- → Über das Verhältnis der Frequenzbereiche lässt sich auf die Distanz zur Quelle schließen

# Übersicht über die definierten Lasten für die Konzeption einer Kabelmuffe mit Zustandsmonitoring

Integration der Sensorik im Gehäuse der Muffe

Keine Veränderungen an der Feldsteuerung der Muffe

Modularisierbarkeit des Systems

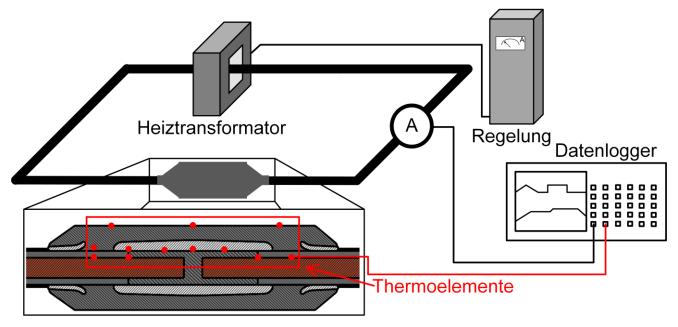
Autarke / Unabhängige Energieversorgung

TE Monitoring: Kabelmuffe im Fokus, Groblokalisation und Rückschlüsse aufs Kabel möglich

Thermisches Monitoring: Erfassung von Temperaturdaten und Modellierung der Leitertemperatur

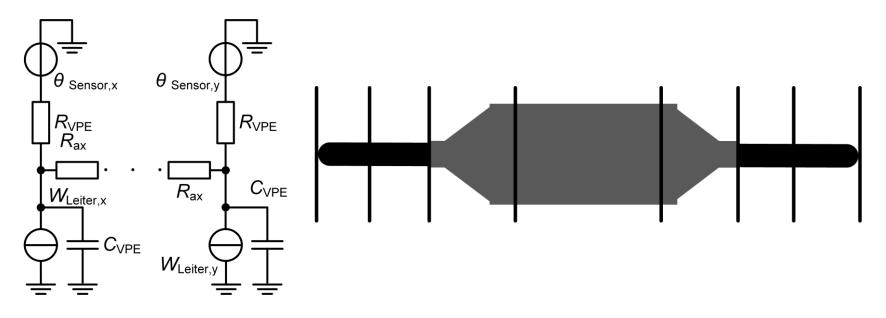


#### Thermische Heizversuche zur Ableitung eines thermischen Modells



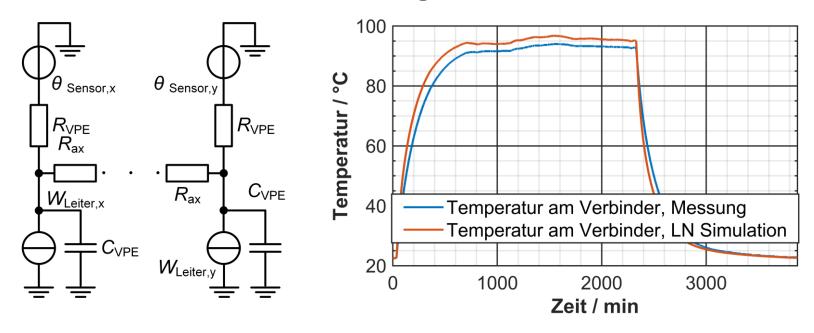
- Mehrere unterschiedliche Versuchsaufbauten bestehend aus Kabelkreis und Kabelmuffe
- Kabel und Muffe mit zahlreichen Thermoelementen ausgestattet
- Aufzeichnung der gemessenen Temperaturen und Ströme
- Ziel: Ableitung und Validierung eines für den Monitoringbetrieb einsetzbaren Modells

#### Thermische Heizversuche zur Ableitung eines thermischen Modells

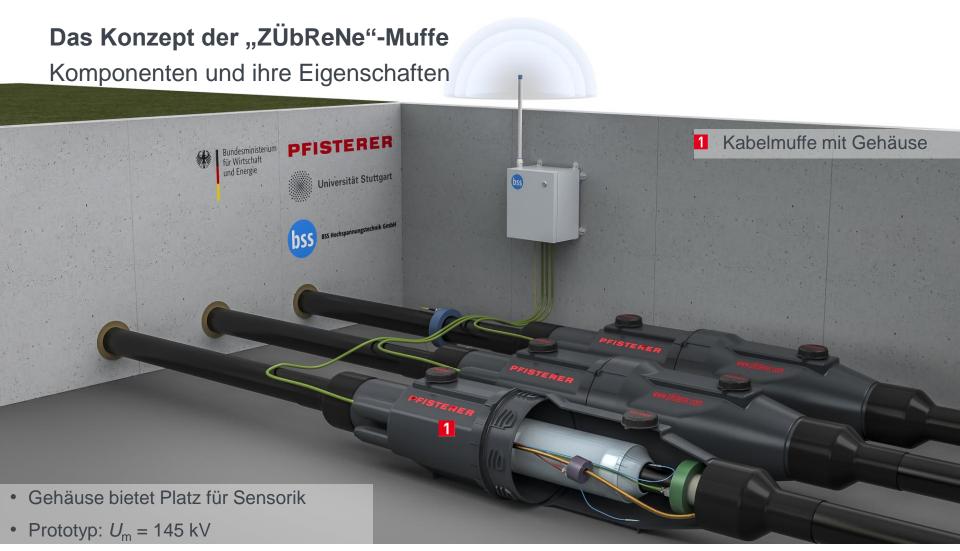


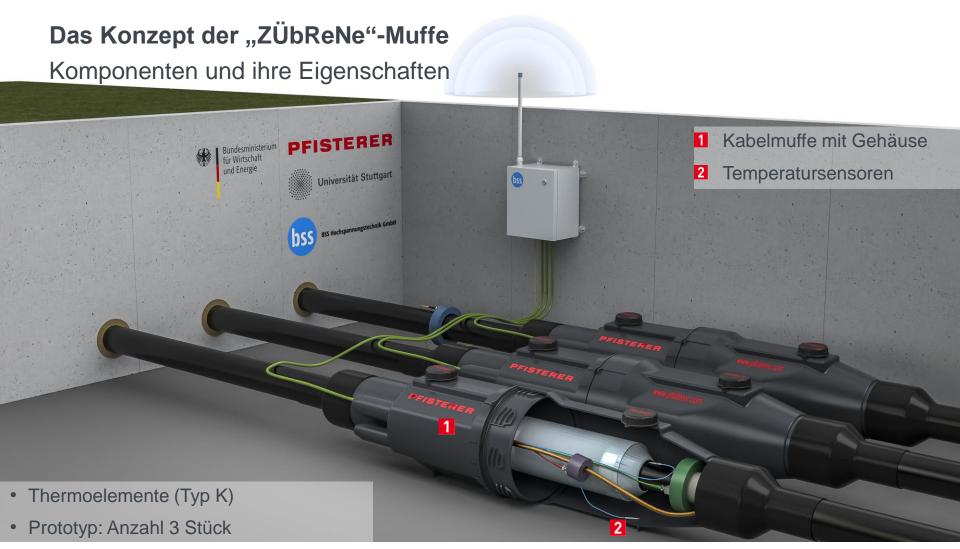
- Aufbau eines linearen Netzwerk (LN) Modells zur Abbildung der Verbindertemperatur
- Berücksichtigung der axialen Wärmeausbreitung notwendig
  - → Muffe und Kabel werden in mehrere Abschnitte zerlegt

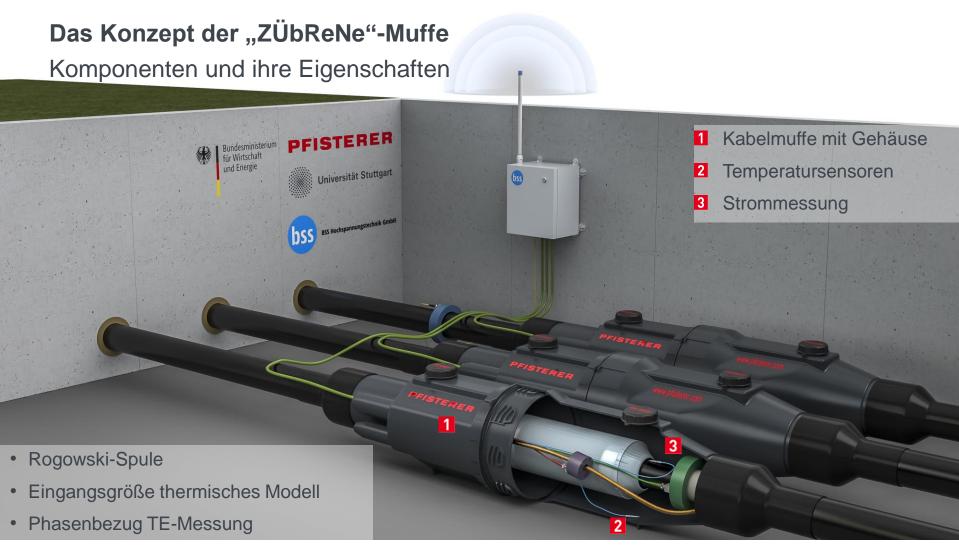
### Thermische Heizversuche zur Ableitung eines thermischen Modells

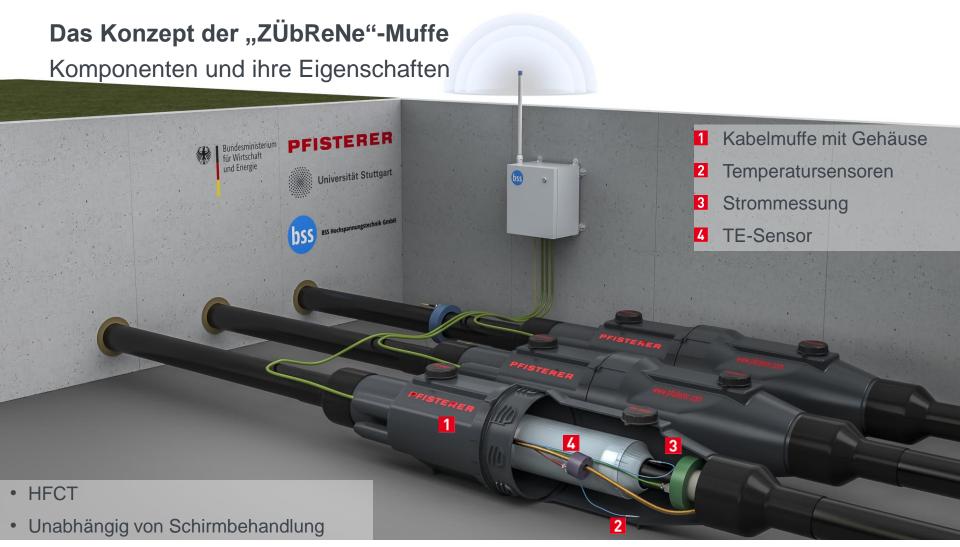


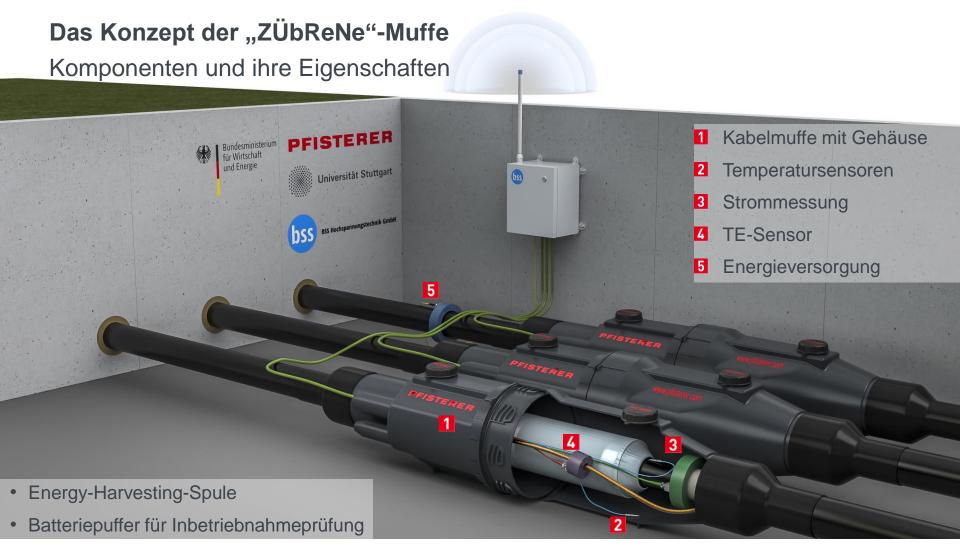
- Aufbau eines linearen Netzwerk (LN) Modells zur Abbildung der Verbindertemperatur
- Berücksichtigung der axialen Wärmeausbreitung notwendig
  - → Muffe und Kabel werden in mehrere Abschnitte zerlegt
- LN Modell bildet das Verhalten mit ± 3 K Abweichung ab
- Skalierbarkeit auf andere Muffengeometrien möglich (validiert)

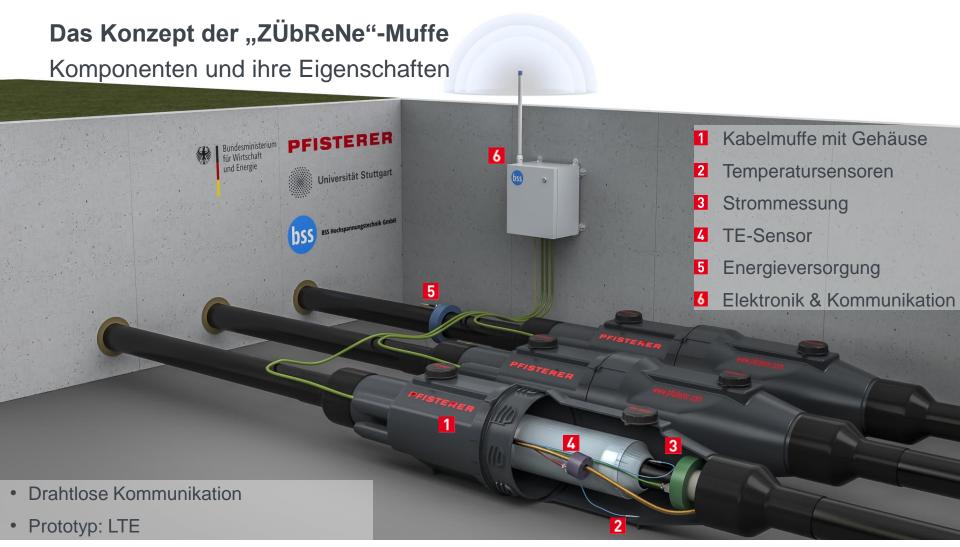












# **Systemvaldierung**

#### Von der Theorie in die Praxis

1. Grundlagenversuche	
Frequenzgangmessungen HFCT	➤ Auslegung der Sensoren
<ul> <li>Aufzeichnung Temperaturprofil</li> </ul>	> Temperaturmodell
2. Funktionsprüfungen	
TE-Vermessung künstlicher TE-Quellen	➤ Verifizierung einzelner Systemfunktionalitäten
<ul> <li>Lastzyklen an weiteren Kabelmuffen</li> </ul>	> Skalierbarkeit des Temperaturmodells
3. Systemerprobung in Typprüfung	
<ul> <li>Typprüfung nach Kabelgarniturennorm</li> </ul>	➤ Validierter Prototyp
IEC 60840	
4. Praxiserprobung	
Pilotprojekt im Feld	➤ Installations- und Betriebserfahrung
	> Einsatzfähiges Produkt

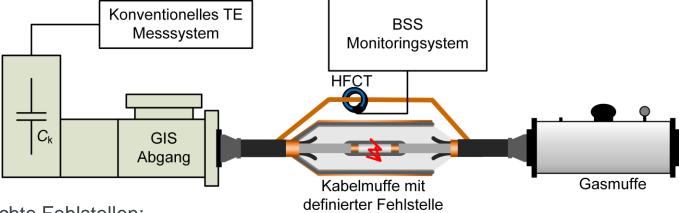
## **Systemvaldierung**

#### Von der Theorie in die Praxis

1. Grundlagenversuche	
2. Funktionsprüfungen	
3. Systemerprobung in Typprüfung	
<ul><li>3. Systemerprobung in Typprüfung</li><li>Typtest nach Kabelgarniturennorm</li></ul>	> Validierter Prototyp
	➤ Validierter Prototyp
Typtest nach Kabelgarniturennorm	➤ Validierter Prototyp
Typtest nach Kabelgarniturennorm  IEC 60840	<ul> <li>Validierter Prototyp</li> <li>Installations- und Betriebserfahrung</li> </ul>

#### Validierung der TE-Messung

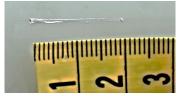
- TE-Messsystem sensitiv genug für den praktischen Einsatz?
- Nachweis über die Vermessung künstlicher TE-Quellen im Bereich der Kabelmuffe
- Laboraufbau:



- Untersuchte Fehlstellen:
  - Fehlerhafte Absetzkante
  - Metallpartikel in der Edelfuge
  - Mechanische Beschädigungen der Kabel- und Muffenkörperisolierung

## Validierung der TE-Messung

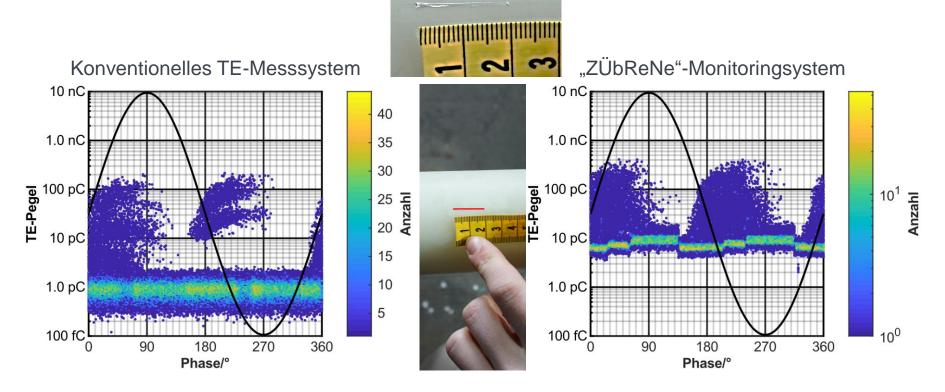
Metallpartikel





### Validierung der TE-Messung

Metallpartikel



→ In allen Fällen qualitativ und quantitativ vergleichbare Messergebnisse ermittelt

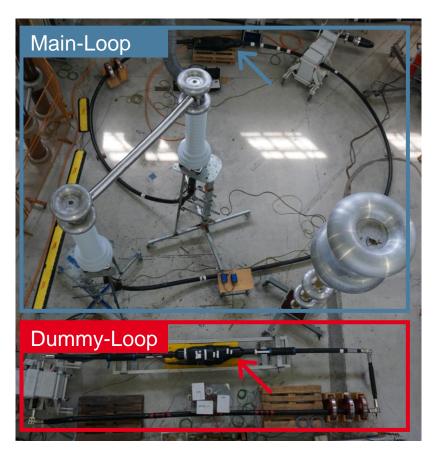
#### Systemerprobung in Typprüfung

#### Beanspruchungen an das System

- Wie verhält sich der Prototyp und wie verhält er sich unter realistischen Beanspruchungsbedingungen?
- Integration einer Kabelmuffe mit Monitoringsystem in einer Typprüfung nach IEC 60840
  - Dielektrische Beanspruchung (AC, Blitzstoß)
    - → Robustheit der Messperipherie?
  - Lastzyklen
    - → Robustheit der Messperipherie?
    - → Dauerbetrieb?
    - → Thermisches Modell?
  - Schirmspannungsprüfungen (Schirm gegen Schirm, Schirm gegen Erde)
    - → Beeinträchtigung der Kabelmuffe?

# **Systemerprobung in Typprüfung**

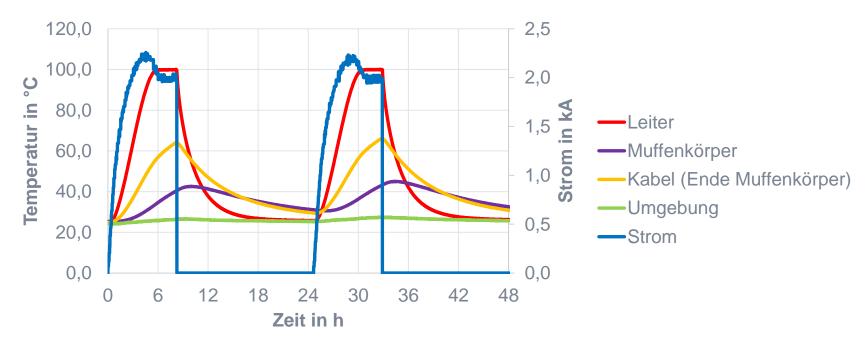
#### Prüfaufbau





### Systemerprobung in Typprüfung

### Aufzeichnung Lastzyklen



Nächster Schritt: Evaluierung der Ergebnisse

### **Zusammenfassung und Ausblick**

- Vorstellung eines autarken und modularen Monitoringsystems einer Kabelmuffe:
  - Induktive TE-Zustandsüberwachung mit Möglichkeit zur Groblokalisierung
  - Ableitung und Validierung eines thermischen Kabelmuffenmodells zur Auslastungsbewertung
- Verifizierung der TE-Messung anhand von beispielhaften Fehlerquellen
- Integration eines Prototyps zur Systemerprobung im Rahmen einer Typprüfung
- Evaluierung der Typprüfung
- Praxiserprobung in Form eines Pilotprojekts



#### Vielen Dank!

#### **Daniel Passow**

E-Mail daniel.passow@ieh.uni-stuttgart.de Telefon +49 (0) 711 685-69165

Universität Stuttgart
Institut für Energieübertragung und
Hochspannungstechnik
Pfaffenwaldring 47 IEH
D-70569 Stuttgart

#### **Marcel Heckel**

E-Mail marcel.heckel@pfisterer.com Telefon +49 (0) 7181 7005330

PFISTERER Kontaktsysteme GmbH Rosenstraße 44 D-73650 Winterbach