



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner, Jana Hänel (Hochschule Zittau/Görlitz, Zittau)
Dr. Thomas Krüger, Dr. Maik Honscha (Lausitz Energie Kraftwerke AG, Cottbus)
Michael Lukas (Lausitz Energie Kraftwerke AG, Boxberg)

Tool zur Diagnose/Prognose des Zustandes von Maschinentransformatoren



Motivation

Maschinentransformator:

- wichtiges Glied in der Kette der Stromversorgung
- kostenkritische Komponente

Transformatorschäden:

- hohe Reparaturkosten
- hohe Folgekosten (deutlich höher als Reparaturkosten)
- Blockeinheiten stehen nicht mehr dem Stromversorgungsnetz zur Verfügung

Zustandsüberwachung:

- Monitoring von System- und Betriebsparametern
- Gewährleistung der Betriebstüchtigkeit
- Erhöhung der Verfügbarkeit

Zielstellung

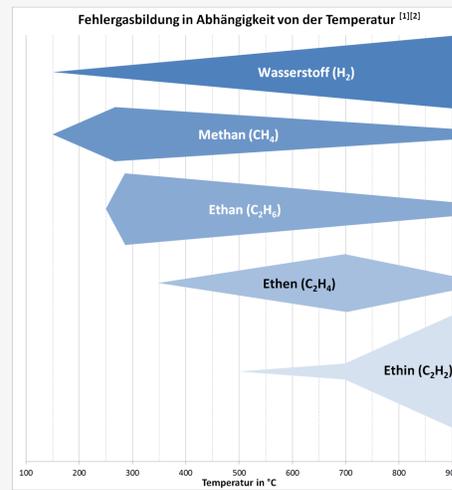
- Entwicklung geeigneter Diagnosealgorithmen zur Zustandsbewertung
- Prognose: Schätzung von Zustandsverläufen auf Basis bekannter Parameterwerte
- Umsetzung der Diagnose- und Prognosealgorithmen in einem Softwaretool
- Ausgabe eines Reports mit der Bewertung des aktuellen und zukünftigen Zustands, sowie von Handlungsempfehlungen für die Großkomponente
- Unterstützung für die Instandhaltung bzw. Wartung/Reparatur sowie bei der Schadensprävention von Maschinentransformatoren

Diagnose- und Prognoseparameter

- Erfassung von Messdaten zur Zustandsüberwachung während des Betriebes oder der Stillstandszeiten
- Monitoring folgender Parameter:
 - Fehlgase
 - Isolierölparameter
 - elektrische Kenngrößen
 - Teilentladungsmessungen
 - Temperaturen

Fehlgase

- Aufspaltung der Kohlenwasserstoffketten von Isoliermaterialien (Öl + Zellulose) bei Belastungen oder auch bei normaler Alterung
- Entstehung von Gasen (gelöst im Öl)
- Messung (je nach Monitoringsystem):
 - Wasserstoff (H₂), Methan (CH₄),
 - Ethan (C₂H₆), Ethen (C₂H₄), Ethin (C₂H₂),
 - Propan (C₃H₈), Propen (C₃H₆),
 - Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂)
 - Sauerstoff (O₂), Stickstoff (N₂)
- Abhängigkeit der Art und Bildungsgeschwindigkeit der Gase vom aufgetretenen Fehler und dessen Energieniveau
- Auswertung der Gaskonzentration und Rückschluss auf aufgetretenen Fehler (Belastung)



Isolierölparameter

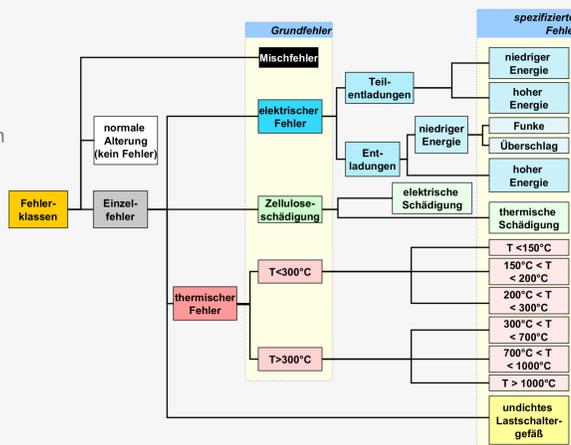
- Einfluss von Alterungsprodukten des Transformatoröls auf die Güte der Isolation
- Rückschluss auf Zustand des Öls
 - z.B. Durchschlagsspannung, dielektrischer Verlustfaktor, Grenzflächenspannung, Feuchtigkeit, Farbzahl und Neutralisationszahl

Sonstige Parameter

- weitere Betriebsparameter zur Zustandsüberwachung
 - z.B. Strom, Last, Spannung, Wirkleistung Blindleistung, Außentemperatur, Öltemperatur

Methodik

- Beschreibung der Auswertung von Betriebsparametern in Standards und Normen
- Möglichkeit von inkonsistenten Ergebnissen durch unterschiedliche Methoden
- Nachbildung der Herangehensweise eines Transformatorexperten bei der Diagnose in Form automatisierter Algorithmen (regelbasiert)
- mehrstufige Abarbeitung:
 - wichtige Daten (meist Fehlgase) als erster Hinweis auf Zustand/Fehler
 - sukzessive Hinzunahme weiterer Parameter in die Diagnose zur Spezifikation des Trafozustandes



Stufe 1:

Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten der Grund- und spezifizierten Fehler aus Fehlgasen mittels Fuzzy-Logik (Berechnung von Fehlerwahrscheinlichkeiten zwischen 0 und 100%)

Stufe 2:

Ermittlung von Fehlerzuständen (Farbcode) aus Fehlerwahrscheinlichkeiten und ihren Bildungsrate

Stufe 3:

Prognose der Fehlerwahrscheinlichkeiten und ausgewählter Parameter

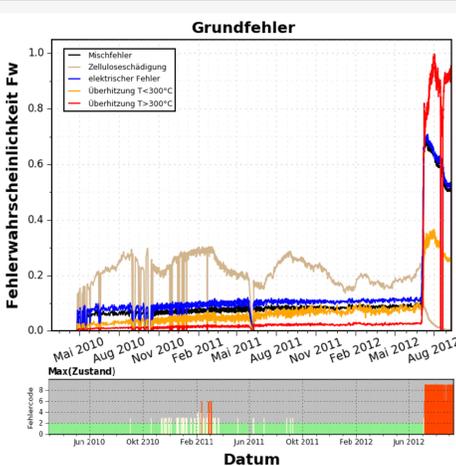
Stufe 4:

Ableiten von Handlungsempfehlungen aus den Diagnose- und Prognoseergebnissen

Zustand	Farbcode	zusätzliche Maßnahmen
Normal	grün	keine
Warnung	gelb	mittel- bis langfristig
Fehler	rot	kurz- bis mittelfristig

Prognose:

- Zerlegung der Zeitreihe in Trend- und saisonale Komponenten
- Ableitung eines Prognosemodelles mit Holt-Winters-Verfahren
- Ermittlung der Vorhersagewerte aus Prognosemodell für eine Saison (1 Jahr)



Diagnose- und Prognoseaussagen

Fehlerwahrscheinlichkeiten

- Auftretswahrscheinlichkeit von Fehlern (Ermittlung aus Fehlgasen)
- Darstellung der Grund- und spezifizierten Fehler in Liniendiagrammen

Fehlerzustände

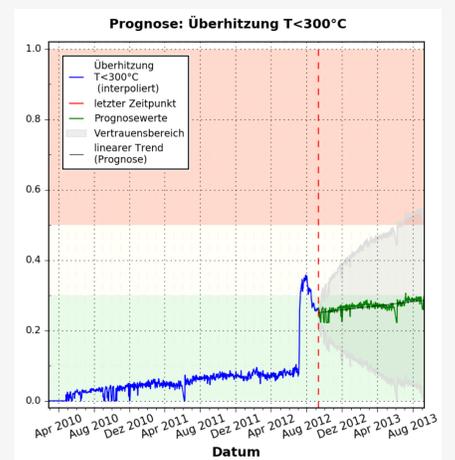
- Darstellung der Fehlerzustände für Grund- und maximalen Fehler in Balkendiagrammen

Prognose

- Erstellung eines Diagramms je ausgewerteter Parameter mit bekannter Zeitreihe (blau), Prognosewerten (grün) und linearer Regressionsgerade zur Ermittlung des linearen Trends
- Definition von Grenzwerten für die Zustandsbereiche (rot, gelb, grün)

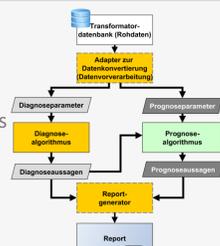
Handlungsempfehlungen

- Hinterlegung von Handlungsanweisungen in Abhängigkeit von den ermittelten Diagnose- und Prognoseergebnissen basierend auf Expertenwissen



Softwaretool

- Umsetzung der entwickelten Diagnose- und Prognosealgorithmen als Module in einem Tool
- Ausgabe der Transformatorbewertung in Form eines Reports
- Unterstützung des Transformatorexperten bei Zustandsbewertung und Instandhaltung



Fazit

- Analyse der vorhandenen Daten (z.B. Gaskonzentrationen) mit Hilfe von Diagnose- und Prognosealgorithmen
- schnelles Aufzeigen von aufgetretenen Fehler und Fehlerkombinationen durch graduierte Aussagen
- Ableitung von Schlussfolgerungen zum Anlagenzustand
- Prognose ermöglicht Schätzung zukünftiger Werteverläufe, Vorhersage der Entwicklung des Transformatorzustands
- Angabe von Handlungsempfehlungen (aktuelle Bearbeitungsphase)

Literatur:

- John C. Drotos; John W. Porter; Randy Stebbins: "Dissolved Gas Analysis of Transformer Oil"; S.D. Meyers Co. 1996.
- "Maintenance of High Voltage Transformers"; Martin Heath Cote Associates, London, England. 1989.
- Kosfeld, Reinhold: "Zeitreihenanalyse mit R"; S. 29ff, 2015
- Lutz, Holger; Wendt, Wolfgang: "Taschenbuch der Regelungstechnik"; S. 853-965, Verlag Harri Deutsch, 2002

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. W. Kästner

Drittmittelgeber: Lausitz Energie Kraftwerke AG **LEAG**

Danksagung: Vielen Dank an die Firma LEAG für die Finanzierung des Forschungsprojektes und die Bereitstellung von Expertenwissen und Daten.

Hochschule Zittau/Görlitz
Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung
und Meßtechnik (IPM)
Theodor-Körner-Allee 16
02763 Zittau
www.hszg.de/ipm