

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit der Optimierung eines bereits bestehenden Finite-Elemente-Sensormodells zur Signalsimulation in Ansys Electronics, das zur Partikeldetektion in strömenden Medien entwickelt wurde. Das ursprüngliche FE-Sensormodell, das als CAD-Modell basierend auf einem Hardwarensensor rekonstruiert wurde, zeigte deutliche Abweichungen von den realen Messdaten. Der Schwerpunkt der Optimierung lag auf der Berücksichtigung des imaginären Anteils der Permittivität von Wasser. Dieser Anteil war in der vorherigen Modellierung zu Null gesetzt worden.

Die durchgeführten Vergleiche mit den vorherigen Ergebnissen bestätigten, dass der imaginäre Anteil der Permittivität einen bedeutenden Einfluss auf die Simulationsergebnisse hat und nicht vernachlässigt werden darf. Dieser Einfluss ist insbesondere auf die elektrische Leitfähigkeit des Wassers σ zurückzuführen.

Die neue Simulation mit dem implementierten komplexen Permittivitätsanteil führte zu einer erfolgreichen Validierung des mit Wasser gefüllten Sensors, da sie nun gut mit den experimentellen Daten übereinstimmte. Dies führte zu einer drastischen Reduzierung der relativen Abweichung zwischen Simulation und Messung. Sowohl beim Impedanzbetrag als auch bei der Impedanzphase ist deutlich zu erkennen, dass die Abweichungen wesentlich geringer sind. Damit wurde bestätigt, dass die Implementierung des komplexen Permittivitätsanteils für die Genauigkeit der Simulation entscheidend war.

Die durch die Optimierung gewonnene Erkenntnis bildet eine wichtige Grundlage für weiterführende Forschungsarbeiten.

Die nun verlässliche Simulation eröffnet die Möglichkeit, Partikelsensoren zunächst vollständig digital zu testen, im Sinne eines digitalen Zwillings. Ein Sensor würde erst dann hardwaretechnisch realisiert, wenn die digitalen Tests vielversprechende Ergebnisse liefern. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Reduktion von Entwicklungsaufwand, Zeit und Kosten.

Die optimierten Simulationsergebnisse können zur Generierung erweiterbarer Datensätze genutzt werden, welche die Basis für KI-gestützte Methoden des maschinellen Lernens zur Signalauswertung bilden.

Für zukünftige Untersuchungen ist zu prüfen, ob weitere Materialparameter ergänzt werden müssen. Insbesondere das Material PUR zeigt in der Simulation eine positive Phasenänderung, die nicht mit den experimentellen Daten übereinstimmt. Zudem wurden in dieser Arbeit weitere mögliche Einflussfaktoren, beispielsweise das Gehäuse des Sensors, noch nicht berücksichtigt. Um noch genauere Simulationsergebnisse zu erhalten, sind weiterführende Untersuchungen erforderlich.