

# Kurzfassung

**Titel:** Radarbasierte Messverfahren für die präzise orts aufgelöste Materialcharakterisierung

**Autor:** Jan Michael Barowski, Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme

Mit dem Ziel kompakte und mobile Systeme für die Bestimmung von Materialeigenschaften zu ermöglichen, wurden im Rahmen dieser Arbeit innovative Methoden zur orts aufgelösten Extraktion der elektromagnetischen Materialparameter, namentlich relative Permittivität und Verlustwinkel, erforscht. Insbesondere frequenzmodulierte Dauerstrich (engl. ‚Frequency Modulated Continuous Wave‘ – FMCW) Sensoren im mmWellen-Bereich (30 GHz bis 300 GHz) bieten aufgrund ihres hohen Dynamikumfangs sowie der großen nutzbaren Bandbreite die Möglichkeit, kompakte Systeme mit hoher Ortsauflösung zu realisieren. Da, im Gegensatz zur weitverbreiteten Abstandsmessung mit FMCW-Radar Systemen, in diesem Fall die genaue Kenntnis der Amplituden- und Phaseninformation der Zielreflexion benötigt wird, müssen weitergehende Ansätze zur Korrektur systematischer Fehler gefunden werden. Mit der in dieser Arbeit vorgestellten Methode ist es möglich, FMCW-Sensoren zur präzisen Erfassung der Eigenschaften dielektrischer Materialien zu nutzen. Für die Betrachtung der relevanten Fehlerterme und des Kalibrier-Algorithmus wird hierbei auf das Modell eines 1-Tor Reflektometers zurückgegriffen. Anschließend werden innovative Methoden zur Extraktion der Materialparameter mit FMCW-Sensoren vorgestellt. Die vorliegende Arbeit betrachtet dabei sowohl Verfahren mit orthogonalem Einfallswinkel als auch polarimetrische Verfahren mit schrägem Einfall auf die Probe. Bei den polarimetrischen Verfahren konnte insbesondere ein analytischer Zusammenhang zwischen den gemessenen Größen und der komplexen relativen Permittivität nachgewiesen werden, welcher die Lösung komplexer Optimierungsprobleme stark vereinfacht. Die erzielten Ergebnisse an einer Polytetrafluorethylen (PTFE) Probe fügen sich sehr gut in die vorhandene Literatur ein. Der zweite Teil der Arbeit widmet sich der orts aufgelösten Messung ausgehend vom Prinzip des synthetischen Apertur Radars (SAR). Es werden zwei Messsysteme und Software-Plattformen vorgestellt, welche die Aufnahme von SAR-Bildern in bis zu drei Dimensionen in Echtzeit ermöglichen. Es wurde weiterhin erforscht, in wie weit sich die sogenannte ‚Rückprojektion im Zeitbereich‘ (engl. ‚Backprojection‘) zur schnellen Fokussierung der Radar Signale in drei Dimensionen eignet. Dazu ist dieser Algorithmus innerhalb der Arbeit für die höchst effiziente parallele Ausführung auf Grafikkarten optimiert worden, wodurch eine Beschleunigung um mehr als den Zeitfaktor 100 ermöglicht werden konnte. Um die elektromagnetischen Parameter eines Materials orts aufgelöst zu erfassen, wurden im Anschluss die in Teil 1 und 2 erarbeiteten Verfahren kombiniert. Zunächst wird aus den Rohdaten ein in drei Dimensionen fokussiertes Bild errechnet. Dieses gibt Aufschluss über Größe, Form und Oberflächenprofil der Materialprobe. Nach einer erneuten Transformation in den Frequenzbereich erfolgt im Anschluss die Bestimmung der relativen Permittivität unter gleichzeitiger Verwendung der zuvor extrahierten geometrischen Parameter. Anhand verschiedener Testobjekte aus variierenden Materialien mit unterschiedlicher Dicke und Form konnte gezeigt werden, dass die relative Permittivität orts aufgelöst bestimmt werden und somit die verschiedenen Materialien und Proben voneinander unterschieden werden können. Diese innovativen Methoden der orts aufgelösten Materialcharakterisierung erlauben damit die Nutzung kompakter FMCW-Sensoren für mobile Anwendungen.