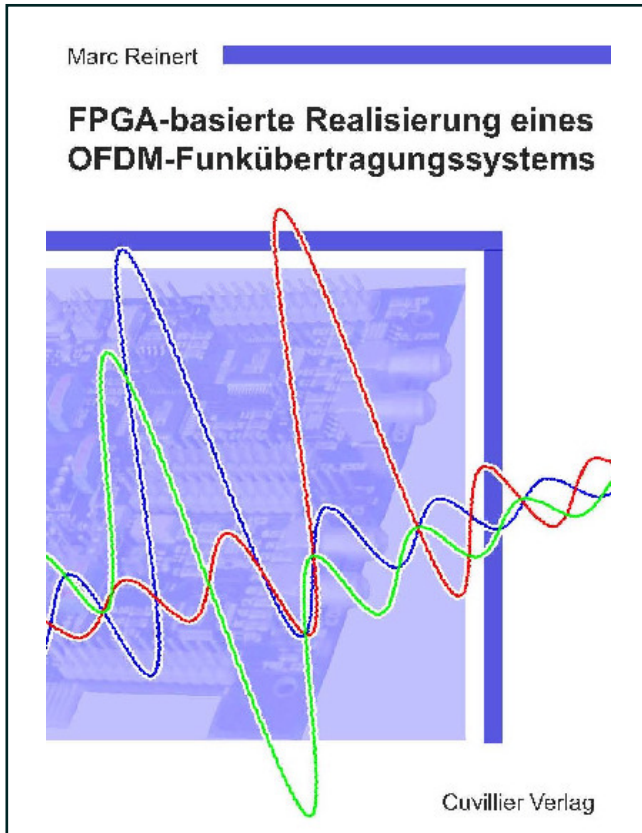




Marc Reinert (Autor)
**FPGA-basierte Realisierung eines OFDM-
Funkübertragungssystems**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1076>

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1 Einleitung

Die Entwicklung neuer und zukunftsweisender Produkte zur digitalen Signalverarbeitung ist eine wichtige Aufgabe in der Elektrotechnik. Viele unterschiedliche Standards zu Produktgruppen und Technologien versuchen, jederzeit die neuesten Möglichkeiten der Halbleiterbauelemente zugrunde zu legen und auf diese Weise immer leistungsfähigere Funktionseinheiten zu spezifizieren. Neue Ansätze im Bereich der digitalen Datenverarbeitung eröffnen viele Chancen auf neuartige Multimediaangebote und einen Entwicklungsschub bei der Kommunikations-Infrastruktur. Solche neuen Systeme müssen sich in bestehende oder ähnliche Technologien einfügen lassen. Die Umsetzung einer neuen Spezifikation unter Sicherstellung der geforderten Kompatibilitäten erfordert die Auswahl geeigneter Bauteile und eine den Vorgaben getreue detaillierte Entwicklung.

Ein wichtiges Produktfeld der Elektrotechnik mit hohen Ansprüchen an Hardware zur digitalen Signalverarbeitung ist die Nachrichtenübertragung. Bei der Planung eines digitalen Kommunikationssystems ist von wesentlicher Bedeutung, welche Übertragungstechnik eingesetzt werden soll. Ein Verfahren, das den hohen Ansprüchen moderner Multimediaanwendungen gerecht wird, ist *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Die zunehmende Verbreitung von OFDM in der kabelgebundenen und funkbasierten Datenübertragung resultiert daraus, dass es auch unter widrigen Ausbreitungsbedingungen eine sehr hohe Leistungsfähigkeit aufweist. Enorme Fortschritte in der Halbleitertechnologie machen es heutzutage möglich, die anspruchsvolle Datenverarbeitung von OFDM-Systemen effizient zu realisieren und so die Funkübertragung digitaler Daten immens zu verbessern. Neben der Robustheit bietet OFDM noch eine hohe Variabilität, was ein anwendungsbezogenes Einstellen bezüglich Datenrate, Fehlersicherheit, Zugriffsverfahren und Kanalparameter in optimaler Weise vorbereitet.

Ein OFDM-System wird gezielt für bestimmte zu erwartende Szenarien entworfen und eine Vielzahl von Parametern kann dahingehend vorab kalkuliert werden. Der Einfluss auf das Signal zwischen Sender und Empfänger wird dabei durch die Eigenschaften Funkkanals bestimmt. Ein Beispielszenario für die digitale Datenübertragung bilden drahtlose Netzwerke in Büroumgebungen (WLANs), bei denen hohe Datenraten wichtig sind. Eine direkte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger ist nicht notwendig gegeben und es sind keine Bewegungen der Übertragungseinheiten mit mehr als Fußgängergeschwindigkeit zu erwarten. Vorschläge für

OFDM-Systeme dieser Art finden sich in den WLAN-Standards HiperLAN/2 und IEEE802.11a/g [HIP01][IEE99].

Nach der Festlegung auf eine geeignete Übertragungstechnik und der analytischen Bestimmung der wesentlichen Systemparameter ergibt sich eine Reihe von weiteren Entwurfsfragen, sobald eine Umsetzung in Hardware erfolgen soll. Zunächst ist die Auswahl geeigneter Bauelemente von entscheidender Bedeutung. Die in dieser Arbeit diskutierte Realisierung setzt dabei konsequent auf *Field Programmable Gate Arrays* (FPGAs) zur digitalen Signalverarbeitung. Die Technologie ist sehr leistungsfähig und bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten für das Systemdesign. FPGA-Hardware ist rekonfigurierbar. Große Fortschritte aktueller und zukünftiger Generationen von FPGAs eröffnen neue Möglichkeiten, komplexe digitale Verarbeitungsketten in einem Chip abzubilden (*System on a Chip, SoC*) und bieten dabei ein Höchstmaß an Flexibilität.

FPGAs sind universelle Logik-Chips, die zunächst keine komplexen spezialisierten Verarbeitungseinheiten beinhalten. Sie beinhalten einen großen Vorrat an sehr kleinen identischen Grundzellen zum Schaltungsentwurf, die in einem zweidimensionalen Feld im Chip angeordnet sind. Die Funktionalität erhalten die Bauteile erst durch die Programmierung mit einer Schaltungsstruktur. Die zu entwickelnden Schaltungen können am PC z.B. grafisch als Schaltplan oder in einer für Schaltkreise geeigneten Programmiersprache, einer sogenannten Hardware Beschreibungssprache, eingegeben werden. Für große Designs wird häufig, wie auch in dieser Arbeit, die *VHSIC Hardware Description Language* (VHDL) eingesetzt. Die so beschriebenen Schaltungsdesigns sind nach geeigneter Übersetzung beliebig oft in FPGAs herunter ladbar, sodass Modifikationen und Designvarianten unmittelbar auf der Hardwareplattform erprobt werden können.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf Realisierungsaspekten, die sich bei der Implementierung eines WLAN-OFDM-Modems auf einer FPGA-Hardware ergeben. Kriterien wie Designgröße und Verarbeitungsgeschwindigkeiten sind dabei von zentraler Bedeutung. Diese Parameter sind wiederum abhängig von der Verarbeitungsgenauigkeit, der hardwareangepassten Implementierung und dem gewünschten Maß an Flexibilität.

Alle Basisband-Module des OFDM-Systems werden im Rahmen dieser Arbeit im FPGA realisiert. Diskutiert wird vor dem Kontext eines leistungsfähigen Gesamtsystems die Optimierung der einzelnen Komponenten. Ideal sind hardwareeffiziente Lösungen, die die theoretisch erzielbare Übertragungssicherheit oder die maximale Datenrate nicht bzw. nur unwesentlich beeinträchtigen. Bei vielen Parametern ist der Aufwand der Hardwarestruktur gegenüber dem Einfluss auf die Performance abzuwägen.

Die Designaspekte werden so weit wie möglich theoretisch beschrieben und anschließend durch Tests auf einer Experimentalhardware verifiziert. Durch Veränderungen der FPGA-Programme

können verschiedene Parameterkombinationen ausprobiert und hinsichtlich ihres Einflusses auf das Gesamtsystem untersucht werden.

Die Umsetzung eines theoretischen OFDM-Entwurfs in eine Hardwarerealisierung bringt zwangsläufig Ungenauigkeiten durch nicht ideale Verarbeitung mit sich. Diese Störeinflüsse werden in dieser Arbeit aufgezeigt, um sie in geeigneter Weise berücksichtigen und gegebenenfalls minimieren zu können. Wesentlich ist dabei die frühzeitige Abwägung, ob die Hardware den zu erwartenden Verarbeitungsaufwand bewältigen kann und ob gegebenenfalls eine aufwandsgünstige (suboptimale) Implementierung die Performance der Datenübertragung in inakzeptabler Weise reduzieren würde.

Dass sich ein OFDM-System mit Hilfe von FPGAs realisieren lässt, steht sicher außer Frage. Ziel dieser Arbeit ist es, darzustellen, wie gut dieser Hardwareansatz zu einer OFDM-Verarbeitung passt, was speziell bei der Realisierung zu beachten ist, wie die digitale Signalverarbeitung für FPGAs optimiert werden kann und wo das System zur Nachrichtenübertragung besonders von den programmierbaren Schaltungsstrukturen profitieren kann. Der aufgebaute OFDM-Demonstrator belegt durch Test- und Messergebnisse, dass sich die in dieser Arbeit diskutierten Techniken äußerst effizient realisieren lassen. Die Entwicklung des Experimentalsystems gibt eine Übersicht zu der erzielbaren Verarbeitungperformance und erfasst die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Hardwareressourcen.