

**Studien- und Bachelorarbeit**  
**Carolin Christoph**

**60-GHz-Funktechnologie: Einsatzgebiete und  
charakteristische Ausbreitungseffekte; Bestimmung  
dielektrischer Materialparameter und Messung der  
Dämpfungseffekte von ausgewählten Kunststoffen**

**Kurzfassung**

Im Rahmen dieser Arbeit werden bestehende Anwendungen der 60-GHz-Funktechnologie präsentiert, und Überlegungen zu zukünftigen Anwendungsbereichen angestellt. Aufgrund der hohen verfügbaren Bandbreite bietet die 60-GHz-Funktechnologie eine hervorragende Grundlage für schnelle Datenübertragungen, ist aber noch wenig verbreitet. Es zeigt sich, dass die Unterhaltungselektronik und das private Umfeld bisher die attraktivsten Anwendungsbereiche für die 60-GHz-Funktechnologie sind. Industrie und Medizin sind ebenfalls potentielle Märkte, in denen sich die 60-GHz-Funktechnologie zukünftig weiter ausbreiten könnte. Bisher hat sich hier jedoch noch keine Produktentwicklung gezeigt. Gründe dafür, weshalb sich diese Technologie bisher noch nicht durchgesetzt hat, sind vor allem die schwierigen Ausbreitungscharakteristiken der Funkwellen im Bereich von 60 GHz. Im Zuge der vorliegenden Arbeit werden diese Ausbreitungseffekte erläutert und im Vergleich zu den bisher genutzten Frequenzbereichen 868 MHz und 2,4 GHz betrachtet. Funkstrecken bei Übertragungsfrequenzen im 60-GHz-Band haben eine generell weitaus höhere Freiraumdämpfung als bei niedrigeren Frequenzen. Hinzu kommt ein Dämpfungsmaximum der atmosphärischen Dämpfung aufgrund einer Sauerstoffresonanz in diesem Frequenzbereich. Außerdem werden die Funkwellen von Hindernissen wie beispielsweise einer Wand stärker absorbiert als bei den niedrigeren Frequenzen. Diese physikalischen Zusammenhänge zeigen, dass die 60-GHz-Funktechnologie eine reduzierte Reichweite aufweist, und für eine zuverlässige Kommunikation meist eine Sichtverbindung benötigt.

Für die Entwicklung eines 60-GHz-Funkmoduls ist es wichtig, die äußeren Einflüsse auf die Funkstrecke zu analysieren. Da bei neuen Funkmodulen die Antenne bevorzugt innerhalb des Gehäuses liegen soll, muss der Einfluss der Gehäusewand getestet werden. Die Durchdringung eines Mediums durch die Strahlungswelle ist maßgeblich von den elektrischen Materialparametern abhängig, weshalb in dieser Arbeit Messverfahren zur Bestimmung der relativen Permittivität und des Verlustfaktors von Dielektrika bei 60 GHz vorgestellt werden. Für die gegebene Problemstellung erweist sich hierbei die Transmissionsmethode als am besten geeignet. Die zugehörigen Messungen werden in dieser Arbeit jedoch nicht durchgeführt, da sie den Rahmen der Arbeit übersteigen. Um den Einfluss eines Gehäusekunststoffes auf die Funkstrecke klären zu können, werden Platten ausgewählter Kunststoffe in einen 60-GHz-Funkkanal gebracht und jeweils die Dämpfung im Vergleich zum Freiraum bei verschiedenen Plattenstärken ermittelt. Die Messungen zeigen, dass keiner der untersuchten Kunststoffe eine signifikante Dämpfung hervorruft. Für den Einsatz dieser Kunststoffe als Gehäusewerkstoff für

ein 60-GHz-Funkmodul sind keine negativen Auswirkungen auf die Datenübertragung zu erwarten. Des Weiteren wurde der Einfluss von Feuchtigkeitsgehalt und äußerer Verschmutzung der Kunststoffe geprüft. Die Dämpfung ist hier höher als bei der vorangegangenen Messung, nimmt jedoch weiterhin keine kritischen Ausmaße an.

## **Abstract**

In this thesis the existing and future applications for 60 GHz radio systems are discussed. Due to the highly available bandwidth, the 60 GHz band provides an excellent base for fast digital communication, though it is not widely spread yet. Today, consumer electronics and the private area are the most attractive fields of application for the 60 GHz wireless technology. Industry and medicine are also potential markets in which this technology could expand in the future. However, until now there has not been any product development recorded in these areas. The most important reason why this technology has not enforced yet is the difficult radio propagation characteristic in the transmission frequency band of 60 GHz. This paper explains the most important propagation effects at frequencies in the 60 GHz band and compares them to lower frequencies of 868 MHz and 2.4 GHz, which are typically used for wireless communications so far. The free space loss of a radio channel at 60 GHz is much higher than at lower transmission frequencies. Additionally, there is a maximum of atmospherical attenuation caused by a molecular resonance of oxygen. Obstacles (e.g. walls) absorb electromagnetic radiation much more at 60 GHz than at lower frequencies like 868 MHz or 2.4 GHz. Corresponding to these physical effects a wireless data communication transmitted at frequencies around 60 GHz has a reduced coverage range and mostly requires a line of sight link for a reliable communication.

When designing a 60 GHz radio system it is important to analyze the external influence on the radio channel. Since the antenna of a future radio module will be placed inside the housing, the effects on the radio channel caused by this housing need to be tested. The penetration of a medium by the radiation wave depends largely on the electrical material parameters. Therefore, measurement methods for determining the relative permittivity and loss factor of dielectric materials at 60 GHz are presented in this paper, whereby the transmission method proves to be the best for the given problem. The presented measurements, though, are not carried out as part of this work due to the time limitation of this thesis. In order to clarify the influence of plastics used for housing on the radio link, plates of selected plastics are placed in a 60 GHz radio channel and the attenuation is measured for different thicknesses of the samples. The measurements show that none of the examined plastics cause significant attenuation. Using these plastics as a housing material will not have any negative effects on the radio transmission. Furthermore, the influence of moisture content and external contamination of the plastics was tested. In these cases the loss is higher than in the previous measurements, but still does not reach any crucial dimensions.

**1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Uwe Meier**

**2. Prüfer: Dipl.-Ing. Maik Stemme**