

Wireless CAN

Felix Hüning¹, Holger Heuermann², Franz-Josef Wache³

1 Einleitung

In modernen elektronischen und mechatronischen Systemen, z.B. im industriellen oder automobil Bereich, kommunizieren eingebettete Steuergeräte und Sensoren vielfach über Bussysteme wie CAN oder LIN. Die Kommunikation findet in der Regel drahtgebunden statt, so dass der Kabelbaum für die Kommunikation sehr groß werden kann [1]. Daher ist es naheliegend, Leitungen und dazugehörige Stecker, z.B. für nicht-sicherheitskritische Komfortsysteme, einzusparen und diese durch gerichtete Funkstrecken für kurze Entfernungen zu ersetzen. Somit könnten Komponenten wie ECUs oder Sensoren kabel- und steckerlos in ein Bussystem integriert werden. Zudem ist eine einfache galvanische und mechanische Trennung zu erreichen.

Funkübertragung wird bei diesen Bussystemen derzeit nicht eingesetzt, da insbesondere die Echtzeitfähigkeit und die Robustheit der vorhandenen Funksysteme nicht den Anforderungen der Anwendungen entspricht. Zudem sind bestehende Funksysteme wie WLAN oder Bluetooth im Vergleich zur konventionellen Verkabelung teuer und es besteht hierbei die Möglichkeit, dass sie ausspioniert werden können und so sensible Daten entwendet werden können.

In dieser Arbeit wird eine alternative Realisierung zu den bestehenden Funksystemen vorgestellt, die aus wenigen Komponenten aufzubauen ist. Es ist eine protokolllose, echtzeitfähige Übertragung möglich und somit die transparente Integration in ein Bussystem wie CAN.

2 Stand der Technik

CAN ist ein Bussystem, das vor allem im Automobil, aber auch in der Industrie, sehr weit verbreitet ist, um lokale Netzwerke aufzubauen und die Kommunikation zwischen Steuergeräten zu ermöglichen [2]. Beim CAN wird die Bustopologie eingesetzt, bei der die Busteilnehmer (z.B. Steuergeräte oder Sensoren) über kurze Stichleitungen an die gemeinsamen Busleitungen angeschlossen werden (Bild 1). Das Übertragungsmedium besteht in der Regel aus einer verdrehten Zweidrahtleitungen (CAN-H, CAN-L), über die die Signale differentiell mit bis zu 1 Mbit/s (bzw. bis zu 8 Mbit/s bei CAN-FD) übertragen werden. Die Anbindung eines Mikrocontrollers an die Busleitungen geschieht mittels eines CAN-Transceivers, der die digitalen Signale des Mikrocontrollers in die differentiellen Signale und umgekehrt umsetzt. Eine kabellose CAN Übertragung ist gemäß CAN Standard derzeit nicht vorgesehen, dennoch ist dies in zahlreichen Anwendungen wünschenswert und vorteilhaft.

Derzeitige Möglichkeiten, CAN kabellos zu übertragen, setzen z.B. auf WLAN, Bluetooth, etc.. Hierbei handelt es sich um protokollbasierte Funkstandards, d.h. es muss im Sender eine Protokollumsetzung der CAN Daten auf das drahtlose Protokoll durchgeführt werden und im Empfänger die Rückumsetzung in CAN Daten. Damit ist eine transparente und echtzeitfähige Übertragung im Sinne des CAN Busses nicht möglich. Die Funk-Verbindung fungiert damit als Gateway zwischen zwei CAN Bussen.

¹ Prof. Dr. F. Hüning, FH Aachen, Aachen

² Prof. Dr. H. Heuermann, FH Aachen, Aachen

³ M. Eng. Franz-Josef Wache, FH Aachen, Aachen

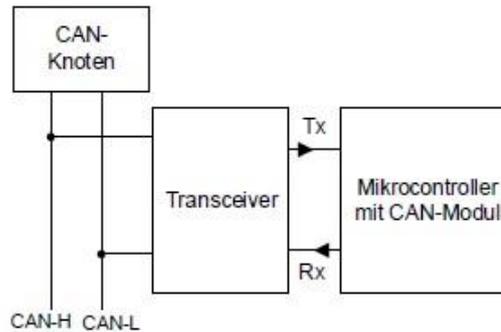


Bild 1: CAN Bustopologie mit verdrehter Zweidrahtleitung (CAN-H, CAN-L) und Anbindung eines Mikrocontrollers mittels eines CAN-Transceivers

Das hier im Folgenden beschriebene Wireless CAN basiert auf dem Dual-Mode Funk. Dabei werden zwei Freiraummoden zur Datenübertragung genutzt und der Empfänger wertet die Unterschiede zwischen den parallel ausgestrahlten phasenmodulierten Signalen aus. Mit dem Dual-Mode-Funk lassen sich alle Grundmodulationsarten realisieren und miteinander kombinieren [4]. Im Folgenden wird sich auf die Modulation eines Datensignals mittels Phasenmodulation beschränkt.

Bild 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Dual-Mode-Funksystems mit Sender und Empfänger. Der Dual-Mode-Sender besteht aus einem Oszillator, einem Modulator, ggf. Verstärker und den Sendeantennen. Die Ausgangsfrequenz des Oszillators befindet sich bereits im gewünschten Frequenzband. Das Oszillatorsignal wird mittels eines 3 dB-Signalteilers auf zwei phasengleiche Signalpfade aufgeteilt und auf den Modulator gegeben.

Die beiden eingehenden Hochfrequenzsignale werden jeweils auf den gemeinsamen Eingang eines SPDT-Schalters (Single-Pole-Double-Throw-Schalter) gelegt. Durch das Schalten kann das eingehende Signal zwischen zwei weiteren Unterpfaden hin und her geschaltet werden. Es ergeben sich somit für die zwei Signale nach dem Signalteiler nochmals zwei unterschiedliche Wege. In den beiden Untersignalpfaden befindet sich entweder ein $\pm 90^\circ$ -Phasenschieber oder ein 0° -Phasenschieber (Durchverdrahtung). Die Ansteuerung der Schalter mit dem zu sendenden Datensignal (u_{ZF}) ist derart, dass entweder beide Phasenschieber den Wert 0° oder den Betragswert von 90° bzw. -90° ausweisen. Damit sind die beiden Signale nach dem Modulator entweder phasengleich oder um 180° phasenverschoben und werden mittels der zwei Sendeantennen gesendet. Für die Übertragung wird jeweils ein Freiraummode verwendet, da eine Antenne horizontal und die andere vertikal polarisiert ist.

Der Empfänger empfängt die ankommenden Dual-Mode-Signale wiederum mit einer horizontal und vertikal polarisierten Antenne. Die beiden empfangenen Signale werden ggf. verstärkt und an die unterschiedlichen Eingänge eines Mischers geführt. Ein Signal wird auf den Signaleingang des Mischers und das andere auf den Eingang des lokalen Oszillators gegeben. Am Ausgang des Mischers liegt nach der Demodulation bei einem 180° -phasenverschobenen Signal eine negative Spannung und bei einem 0° -Signal eine positive Spannung an. Nach der Demodulation wird mittels seines Tiefpassfilters die durch die Mischung erstandenen Spiegelfrequenzen gefiltert und das Signal durch eine einfache Auswertelektronik auf den erforderlichen Logiklevel gebracht.

Der Vorteil des Dual-Mode-Systems ist es, dass es im Vergleich zu klassischen Funksystemen nur wenige Komponenten benötigt. Der Sender verwendet nur einen Oszillator, an welchen keine hohen Anforderungen bezüglich Phasenrauschen oder Frequenzstabilität gestellt werden,

somit kann er kosteneffizient ausgewählt werden. Des Weiteren können die Phasenschieber und der 3 dB Signalteiler je nach Frequenz diskret oder mittels Leitungen aufgebaut werden. Die Schalter sind die kritischen Komponenten des Systems, da von Ihnen die maximal mögliche Datenrate abhängt. Der Empfänger besteht ebenfalls nur aus einem Mischer und ggf. aus Verstärkern.

Ein Nachteil des Systems ist, dass die Antennen auf $\pm 30^\circ$ aufeinander ausgerichtet sein müssen, somit ist das Dual-Mode-System nicht in der Lage, eine omnidirektionale Abstrahlung zu ermöglichen. Die Antennen benötigen je nach Frequenz und Typ am meisten Platz im Vergleich zum Restsystem.

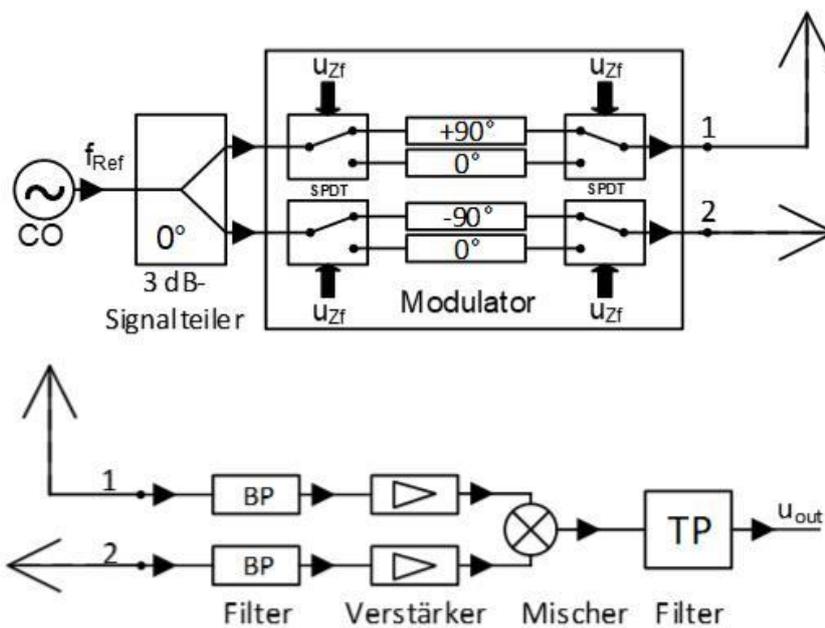


Bild 2: Blockschaubild Dual-Mode Funk: Sender (oben) und Empfänger (unten)

3 Konzepte für Wireless CAN

Die zunächst einfachste Möglichkeit, eine Dual Mode Funkstrecke in einen CAN Bus zu integrieren, ist es die differentiellen CAN Signale abzugreifen und direkt den Dual-Mode-Modulator zuzuführen. Dabei stellt sich auf Empfängerseite das Problem, dass die empfangenen unsymmetrischen Signale wieder in ein CAN-konformes differentielles Signals gewandelt werden müssen. Dieser Ansatz wird nicht verfolgt, da der Aufwand für die Generierung der CAN Signale zu hoch ist. Stattdessen werden zwei Konzepte auf Basis von CAN Transceivern und einer Repeater-Schaltung entwickelt, realisiert und getestet.

3.1 Konzept 1

Die kabelgebundene Verbindung eines CAN Knotens (Transceiver & Mikrocontroller), wie sie standardmäßig verwendet wird, ist in Bild 1 dargestellt. Die Kommunikation zwischen Transceiver und Mikrocontroller findet über zwei standardisierte Signale, Rx (Empfangsdaten) und Tx (Sendedaten), statt.

Im Vergleich dazu ist unten in Bild 3 das erste Konzept zur kabellosen Einbindung des CAN Knotens dargestellt. Die Verbindung zwischen Transceiver und Mikrocontroller wurde aufgetrennt, so dass der Transceiver immer noch auf der Busseite die Umsetzung der differentiellen CAN Signale auf die Rx/Tx-Signale vornimmt. Zwischen Transceiver und Mikrocontroller liegt die Dual-Mode-Funkstrecke, die für jede Richtung durch je ein Sender-/Empfängerpaar gebildet wird. Differentielle Signale, die vom Bus zum Mikrocontroller übertragen werden sollen, werden vom Transceiver ausgewertet und als Tx-Signal zum Dual Mode Sender weitergegeben. Im Dual Mode Sender findet die Umsetzung auf die Funkstrecke statt. Die empfangenen Signale werden ausgewertet und als Rx-Bitstrom direkt an das CAN Modul des Mikrocontrollers gesendet. Die andere Richtung des Datentransfers funktioniert in der gleichen Art und Weise. Die Übertragungsverzögerungen durch das Funksystem sind hierbei so gering, dass das CAN-Timing, bezüglich der Arbitrierung oder der Generierung des Acknowledgements, vollständig eingehalten wird und für den CAN Bus nicht ersichtlich ist, dass der CAN Knoten über eine Funkstrecke eingebunden ist. Dieses Konzept ist sehr kostengünstig, da nur die Dual-Mode-Verbindung als Hardware benötigt wird.

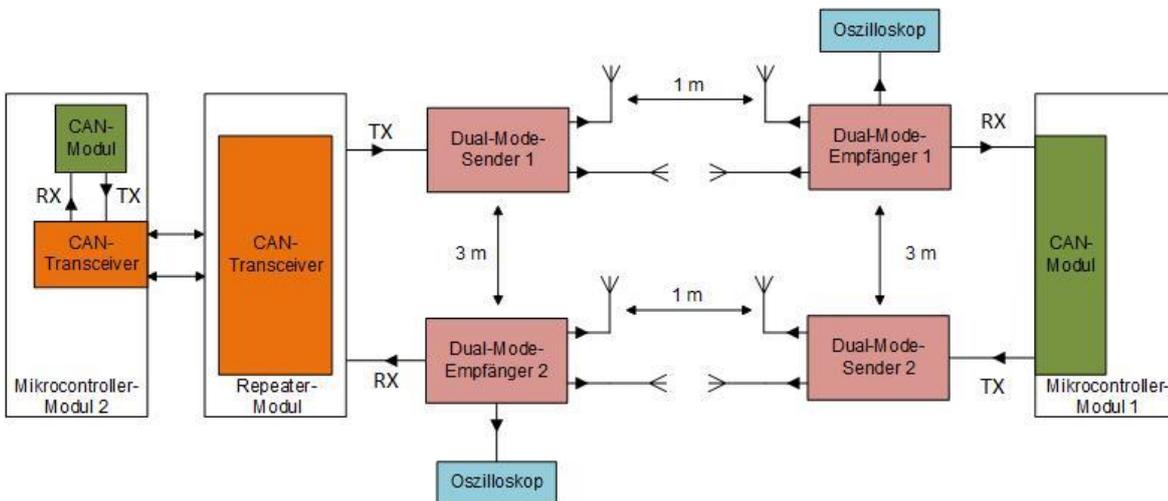


Bild 3: Durch Trennung der Rx/Tx-Signale realisierte kabellose Anbindung eines CAN Knotens (Mikrocontroller mit CAN-Modul, rechts) mittels Dual Mode Funk an einen CAN Bus

3.2 Konzept 2

Beim zweiten Konzept wird der Mikrocontroller durch eine CAN Repeaterschaltung ersetzt (Bild 4) [3]. Durch die CAN Repeaterschaltung kann z.B. ein bestehender CAN Bus erweitert werden. Durch die Nutzung der Repeaterschaltung kann somit ein CAN-Funk-Gateway zwischen zwei CAN-Bussen ohne den Einsatz eines Mikrocontrollers aufgebaut werden. Alternativ können einfach zwei CAN Knoten in einer galvanisch getrennten Punkt-zu-Punkt-Verbindung verbunden werden. Auch diese Lösung ist aufgrund der geringen Anzahl an benötigten Bauteilen sehr kostengünstig.

und auf ein Logik-IC gegeben, welcher die Entscheidung zwischen logisch „0“ und „1“ trifft. Das ausgegebene Signal besitzen einen Pegel von 3,3 V für eine „1“ und 0 V für eine „0“, somit kann das empfangene Signal direkt an einen CAN-Transceiver zur Umsetzung in Bussignale oder ein CAN-Modul zur Auswertung weitergeleitet werden. Ein Abstand von 3 m zwischen dem jeweiligen Sender und Empfänger (Bild 3: Sender 1 und Empfänger 2) eines Teilnehmers musste eingehalten werden, da auf Grund der geringen Richtwirkung der verwendeten Antennen ein Kanalübersprechen stattgefunden hätte.

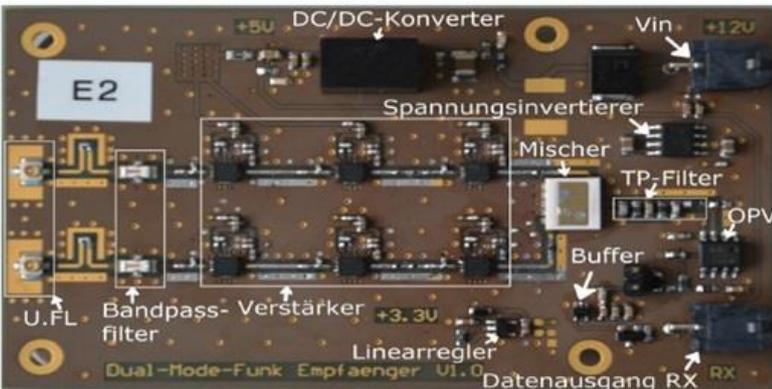
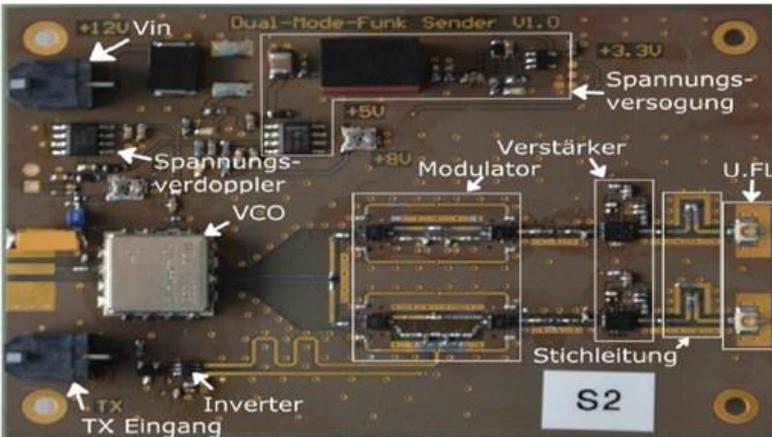


Bild 5: Sender- (oben) und Empfängerplatine des Dual-Mode-Funkmoduls

5 Test und Systemverhalten

Um die Qualität der Funkübertragung sowie die maximale Datenrate des diskret aufgebauten Dual-Mode Funksystems zu ermitteln wurden zunächst eine Bitfehlerratenmessung (BER) durchgeführt und Augendiagramme aufgenommen. Bild 6 zeigt dazu das Blockschaltbild zur Messung der Bitfehlerrate. Der Dual-Mode Sender wurde mit dem Datenausgang des BER-Transmitters verbunden und der Taktausgang des Transmitters mittels eines Koaxialkabels an den Takteingang des BER-Receiver's angeschlossen. Der Ausgang des Dual-Mode Empfängers wurde mit dem Dateneingang des BER-Receiver's verbunden. Das Augendiagramm wurde mittels des Oszilloskops dargestellt.

Die BER- und Augendiagrammmessungen wurden bei einer Taktfrequenz von 1 MHz durchgeführt, der maximalen Datenrate vom high-speed CAN. Im Laufe der 30 minütigen Messung trat kein einziger Übertragungsfehler auf, womit sich statistisch eine Bitfehlerrate von 10^{-9} ergibt. Das dazugehörige Augendiagramm ist in Bild 7 dargestellt. Das weit geöffnete Auge bestätigt

die guten Signaleigenschaften und die Resistenz des Funksystems gegen Störimpulse, Rauschen und Jitter. Ein Schließen des Auges konnte erst bei einer Datenrate von 8 Mbit/s festgestellt werden, somit ist auch eine Übertragung von CAN-FD Daten gegeben.

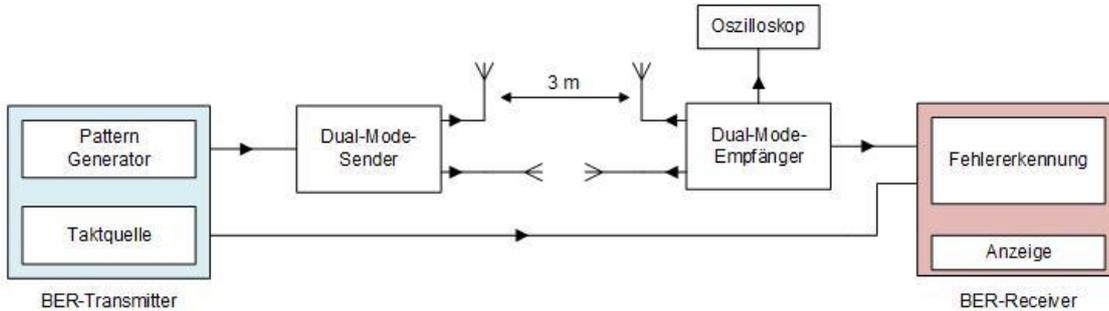


Bild 6: Blockschaltbild zum Aufbau der Bitfehlerraten-Messung

Nach dem Funktionsnachweis für die 4,5 GHz Dual-Mode Funkstrecke wurden die beiden Konzepte 1 und 2 umgesetzt und getestet. Bild 3 und Bild 4 stellen dazu die beiden Aufbauten schematisch dar. Die beiden Busteilnehmer waren jeweils ca. 1 m voneinander entfernt. Für die Tests sendet ein Mikrocontroller-Modul CAN Nachrichten mit einem Identifier x55 und definierten Nutzdaten. Der korrekte Empfang der Daten wurde mittels anderen Mikrocontroller-Moduls 2 sowie des entsprechenden Oszilloskops geprüft. Das Quittieren der empfangenen Daten durch das Senden des ACK-Bits der CAN Übertragung wurde ebenfalls kontrolliert. Bei beiden Aufbauten konnte die einwandfreie CAN Kommunikation bis zu einer Bitrate von 1 Mbit/s über die Dual Mode Funkstrecke nachgewiesen werden. Es gab während der Tests keine CAN Fehler.

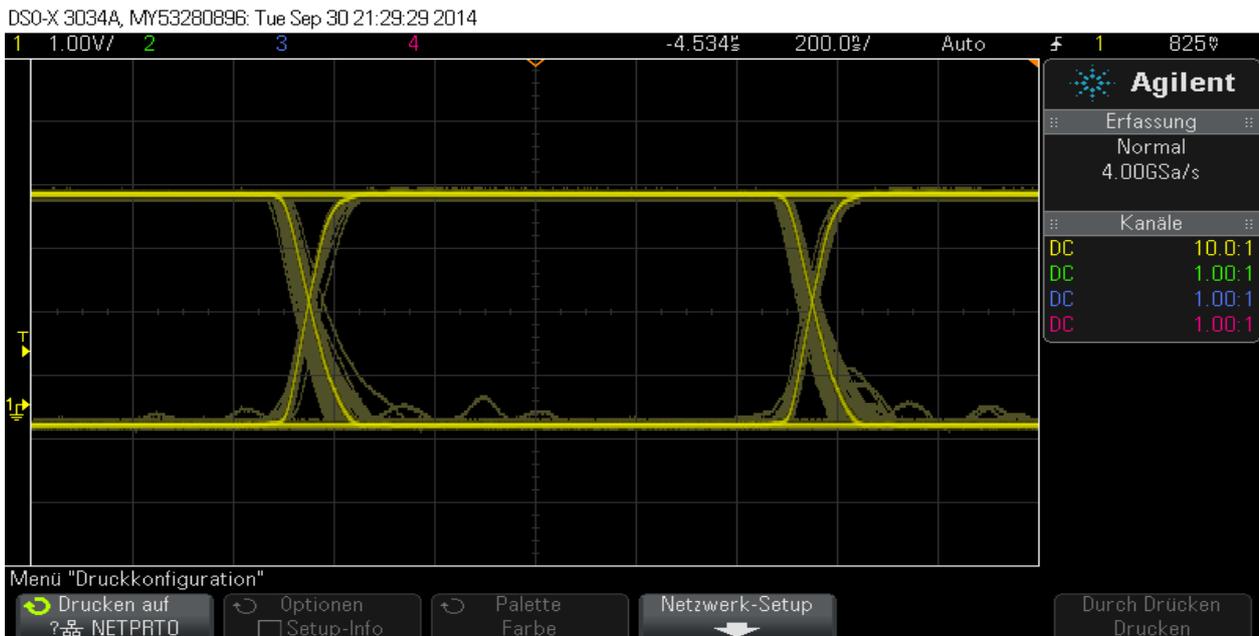


Bild 7: Augendiagramm bei 1 MHz

6 Diskussion

Das hier beschriebene Wireless CAN basiert auf dem Dual-Mode Funk und ermöglicht es, CAN Busteilnehmer kabellos in ein CAN Bus zu integrieren. Für die beteiligten CAN-Knoten ist es unerheblich, ob die Datenübertragung kabelgebunden oder über die Funkstrecke geschieht. Somit kann eine direkte Einbindung in einen CAN Bus derart stattfinden, dass die anderen Busteilnehmer nicht erkennen können, ob die Kommunikation über Kabel oder kabellos erfolgt. Es kann derart eine 1:1 Ersetzung des Kabels sowie die anderen oben aufgeführten Vorteile realisiert werden.

Aufgrund des extrem einfachen Aufbaus mit nur wenigen Komponenten ist ein Transfer des diskreten Aufbaus in einen einfachen und kleinen IC zum Einsatz in eingebetteten Systemen möglich und in Planung.

Das Dual-Mode System funktioniert unabhängig von den verwendeten Antennen, so dass für eingebettete Anwendungen mit dem IC eine optimierte Antennengeometrie verwendet werden kann. Die in dieser Arbeit verwendeten Antennen stellen dafür noch keine optimale Charakteristik zur Verfügung, die Verwendung von gerichteten Antennen (z.B. Patcharrays, Printed-Yagi-Antennen) ist hier von Vorteil, da der Crosstalk zwischen zwei Dual-Mode-Systemen verringert wird und es Möglichkeit bietet, Sender und Empfänger in ein Gehäuse zu integrieren.

Der Dual-Mode-Funk bietet zwei Sicherheitsaspekte im Vergleich zu klassischen Funksystemen. Da beim Dual-Mode-Funk zwei Antennen mit unterschiedlicher Polarisierung verwendet werden, muss ein potentieller Angreifer zwei Empfangsantennen mit exakt derselben Polarisierung in die Funkstrecke einbringen, um ein Abhören des Signals zu ermöglichen. Des Weiteren ist es möglich, durch den Einsatz eines spannungsgesteuerten Oszillators das Basisbandsignal zu verrauschen. Dies bedeutet, dass die Hochfrequenzenergie auf einen breiteren Frequenzbereich verteilt wird. Hiermit wird erreicht, dass das Dual-Mode-Signal nahezu im Rauschen verschwindet. Eine Demodulation des Signals ist durch den Empfänger weiterhin möglich, aber für einen Angreifer wird das Auffinden des Dual-Mode-Signals ohne genauere Kenntnisse des Systems erschwert.

7 Zusammenfassung

Das vorgestellte System zu Wireless CAN bietet die Möglichkeit, CAN kabellos zu übertragen. Beide vorgestellten und entwickelten Konzepte funktionieren korrekt und ermöglichen den Aufbau von kabellosen CAN Schnittstellen. Durch den kleinen Aufbau kann diese Technologie auch für eingebettete Systeme verwendet werden. Zudem bietet dieser Ansatz die Möglichkeit, durch die Entwicklung von geeigneten ICs die Größe des Systems bis auf Bauteilgröße zu reduzieren, um eine noch bessere Integration in eingebettete Systeme zu ermöglichen. Dadurch wird die Technologie attraktiv für Einsatzgebiete, wo die oben aufgelisteten Vorteile zum Tragen kommen können. Diese Einsatzgebiete können sowohl im Automobil als auch im Industriebereich liegen.

8 Literatur

- [1] Grell, D., „Rad am Draht: Innovationslawine in der Autotechnik“, c't magazin, 2014
- [2] Lawrenz, W., Obermöller, N. (Hrsg.), „CAN: Controller Area Network: Grundlagen, Design, Anwendung, Testtechnik“, VDE Verlag GmbH, Berlin, 5. Auflage, 2011
- [3] Thomas Mauer, Texas Instruments (Hrsg.): TIDA-01487 Isolated CAN FD Repeater Reference Design, Abruf: 08.12.2017 Link: <http://www.ti.com/lit/ug/tidudb5/tidudb5.pdf>
- [4] Heuermann, H., „Hochfrequenztechnik: Komponenten für High-Speed- und Hochfrequenzschaltungen“, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2. Auflage, 2005
- [5] Bernstein, H. „Messen mit dem Oszilloskop“, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2.Auflage, 2016