

Praktikum Schaltungstechnik

NT 7

Messungen an den ELV-Funkmodulen

Semester: SS 05
Datum: 23.06.2005
Praktikumsbetreuer: Prof. Dr. Lindner

Praktikumsteilnehmer: Michael Uhl 712560
Primoz Erzen 742739
Tobias Volgnandt 716325

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	ELV-Funkmodule.....	3
2.1	Kurzbeschreibung.....	3
2.2	Das Datenübertragungsprotokoll.....	3
2.3	Erste Tests mit den Modulen.....	4
2.4	Mögliche Ursachen für Übertragungsfehler.....	4
3	Durchführung der Messungen.....	4
3.1	Erste Messreihe - Rauschen.....	5
3.1.1	Messung 1 - Fehlerhafte Übertragung.....	5
3.1.2	Messung 2 - Erfolgreiche Übertragung.....	7
3.1.3	Messung 3 – Unterschiede in der Impulsbreite.....	8
3.2	Zweite Messreihe - Codierung.....	10
3.2.1	Messung 1 - Erfolgreiche Übertragung.....	10
3.2.2	Messung 2 - Fehlerhafte Übertragung.....	11
3.3	Dritte Messreihe - Implementierung.....	12
3.4	Zusammenfassung der Messergebnisse.....	14
4	Schlussfolgerung.....	14
5	Anhang.....	15
5.1	Technische Daten der Funkmodule.....	15
5.2	Beschaltung der Ein- und Ausgänge.....	15
5.3	Schaltbild der HF-Schaltsignalübertragung.....	16

1 Einleitung

In dem Projekt „Spielbrett“ gibt es insgesamt fünf Funkübertragungsstrecken, davon vier für die Interaktion der Spieler mit dem System und eine für den Lehrer. Jede dieser Funkstrecken wird durch jeweils zwei Funkmodule realisiert, welche fertig aufgebaut von ELV bezogen werden. Bei den durchgeführten Tests stellte sich heraus, dass die Übertragung der Steuersignale nicht immer zuverlässig funktionierte, was möglicherweise im Spielbetrieb mit langen Wartezeiten verbunden ist. Deshalb wurde versucht die Fehlerquellen anhand der Sendeprotokolle ausfindig zu machen um den Fehler in Zukunft eventuell beheben zu können.

2 ELV-Funkmodule

2.1 Kurzbeschreibung

Jedes Funkmodul besitzt einen Sender und einen Empfänger für das 433MHz ISM-Band. Auf jedem Modul befinden sich jeweils acht digitale Eingänge und Ausgänge. Ein vorprogrammierter Mikroprozessor sorgt für die (De-)Kodierung der Funksignale.

Für eine Übertragungsstrecke werden zwei Module benötigt. Damit die beiden Module nur auf die eigenen Signale reagieren, und nicht etwa auf diejenigen von anderen baugleichen Modulen, müssen auf den beiden Modulen die gleichen Adressen in Form von 8 DIP-Schaltern (S1) eingestellt werden.

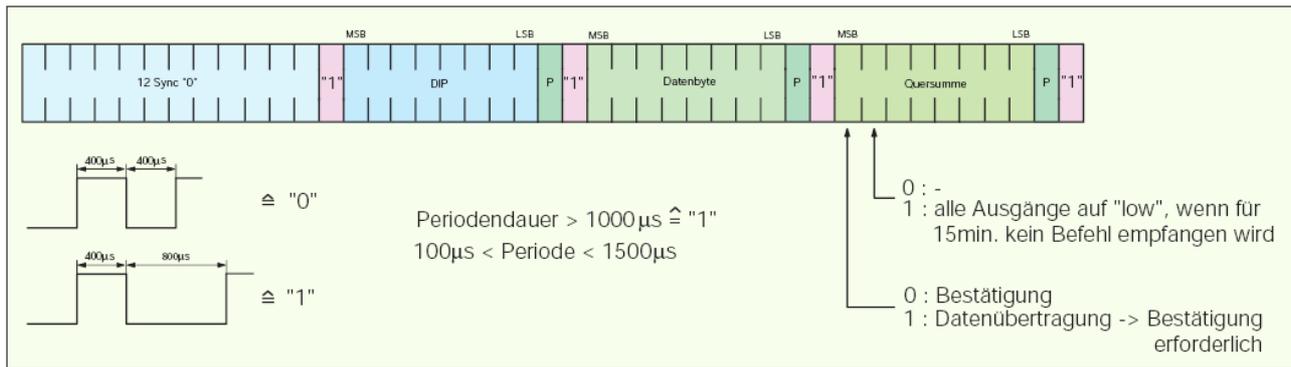
Ändert sich bei einem Modul an dessen 8-bit-breiten Eingang (ST1) ein oder mehrere Bits, so wird automatisch eine Funkübertragung ausgelöst. Das andere Modul empfängt diese, sendet eine Bestätigung zurück und setzt entsprechend die 8 Bits des Ausgangsports (ST2). Das erste Modul empfängt die Bestätigung des Partnermoduls und signalisiert dies durch eine grüne LED.

Hinweis: Zur besseren Unterscheidung der beiden Module wird im Folgenden von Sende- und Empfangsmodul gesprochen. Dabei wird am Sendemodul der Bitwechsel am Eingang initiiert. Das Empfangsmodul gibt diesen am Ausgang wieder aus, und sendet die Bestätigung an das Sendemodul zurück.

2.2 Das Datenübertragungsprotokoll

Das Datenübertragungsprotokoll ist relativ einfach gehalten. Der Anfang eines Bits wird durch $400\mu\text{s}$ „Sender ein“ bestimmt. Im Anschluss wird der Sender wieder abgeschaltet. Die Dauer dieser Sendepause bestimmt, ob eine „1“ ($800\mu\text{s}$) oder „0“ ($400\mu\text{s}$) signalisiert wird.

Bei jeder Übertragung wird eine Bitfolge mit 43 Bit gesendet. Diese besteht aus vier Teilen (Synchronisation, Code des DIP-Schalters, Datenbyte und Kontrollbits mit Quersumme) jeweils getrennt durch Parity-Bit und einer „1“. Für eine genauere Beschreibung wird auf die „Bau- und Bedienungsanleitung“ von ELV, Seite 4 verwiesen.



- Abbildung 1: Datenübertragungsprotokoll -

2.3 Erste Tests mit den Modulen

Um Erfahrungen über die Funktionsweise der Module zu bekommen, wurde eine Übertragungsstrecke mit zwei Modulen aufgebaut. Am Sendemodul sorgte ein Jumper auf dem Eingangsport für die Initiierung der Übertragung, am Empfangsmodul signalisierten acht LEDs den Zustand des Ausganges.

Dabei fiel auf, dass bei ca. 1 von 10 Versuchen die Übertragung fehlschlug. Das wurde am Sendemodul durch das Dauerleuchten der roten LED signalisiert. Erst nach mehreren Sekunden erfolgte eine Wiederholung der Übertragung, und die grüne LED leuchtete auf.

2.4 Mögliche Ursachen für Übertragungsfehler

- Störungen auf der Funkstrecke
- zu geringer/ zu hoher Signalpegel
- Fehler bei der Codierung / Decodierung des Bitmusters
- Fehler bei der Modulation / Demodulation
- sonstige Implementierungsfehler im Mikroprozessor

3 Durchführung der Messungen

Für alle nachfolgenden Versuche wurde eine Übertragungsstrecke mit zwei Funkmodulen aufgebaut. Zur Auslösung eines Übertragungsvorganges über das Ändern des Datenbytes am Eingang ST1 eines Sendemoduls wurde der Logik-Generator (HP8170A) benutzt. Dies erfolgte teils auch über einen Jumper.

Die Digitalen Eingänge eines Oszilloskop (mit Logikanalyzer-Funktion - Agilent 54622D) wurde an beiden Modulen jeweils an den Eingang des Senders und den Ausgang des Empfängers angeschlossen.

Die korrekte Übertragung wurde mittels der eingebauten Leuchtdioden an den Modulen kontrolliert.

3.1 Erste Messreihe - Rauschen

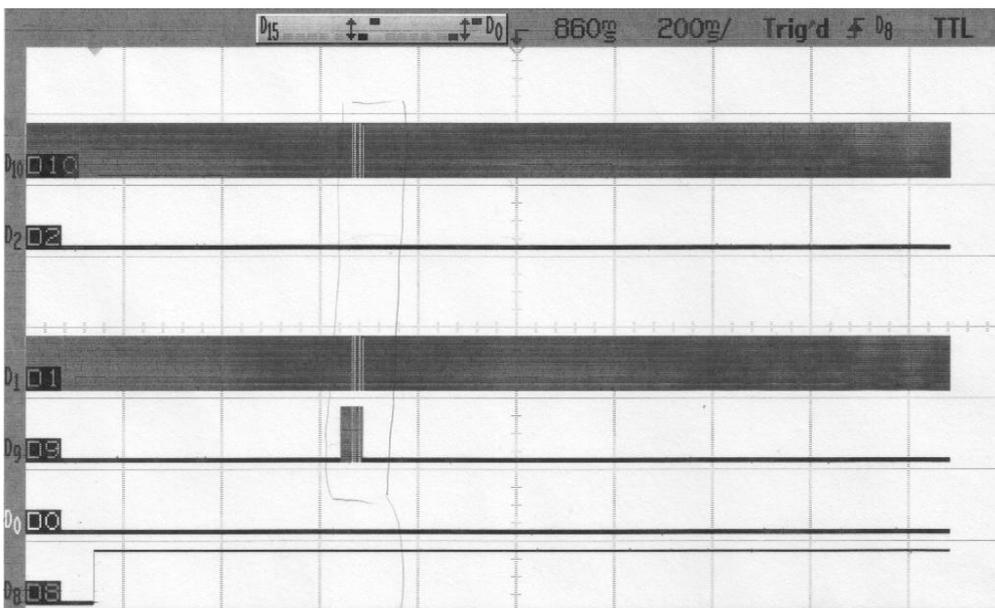
Bei diesem Versuch untersuchten wir Fehler bei der erstmaligen Übertragung vom Sendemodul zum Empfängermodul, bei der eine Rückantwort des Empfängermoduls ausblieb. Dabei wurde besonders die Übertragung vom Sendemodul zum Empfängermodul beobachtet.

3.1.1 Messung 1 - Fehlerhafte Übertragung

In den Folgenden Bildern sehen sie den zeitlichen Verlauf der gemessenen Signale. Dabei wurden die Eingänge wie folgt angeschlossen:

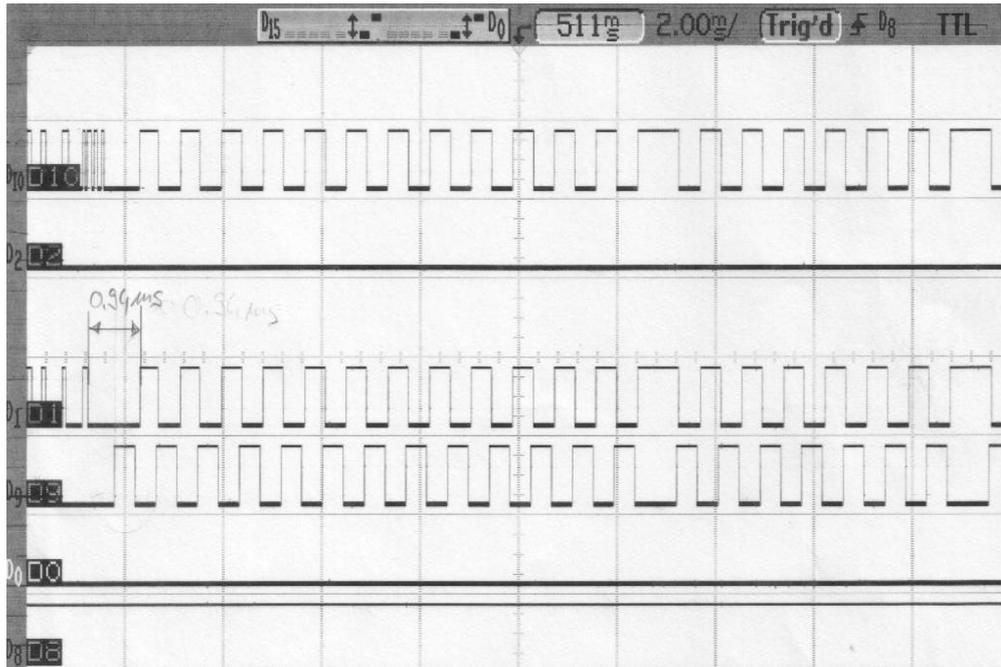
- D10: Empfangssignal am Prozessor des Sendemoduls (Pin6)
- D2 : Sendesignal am Prozessor des Empfängermoduls (Pin2)
- D1 : Empfangssignal am Prozessor des Empfängermoduls (Pin6)
- D9 : Sendesignal am Prozessor des Sendemoduls (Pin2)
- D0 : Ausgang des Empfängermoduls Bit0 ST2.2
- D8 : Eingang des Sendemoduls Bit0 ST1.2

Getriggert wurde das Messgerät auf die Steigende Flanke von D8



- Abbildung 2: Fehlerhafte Übertragung (grob aufgelöst) -

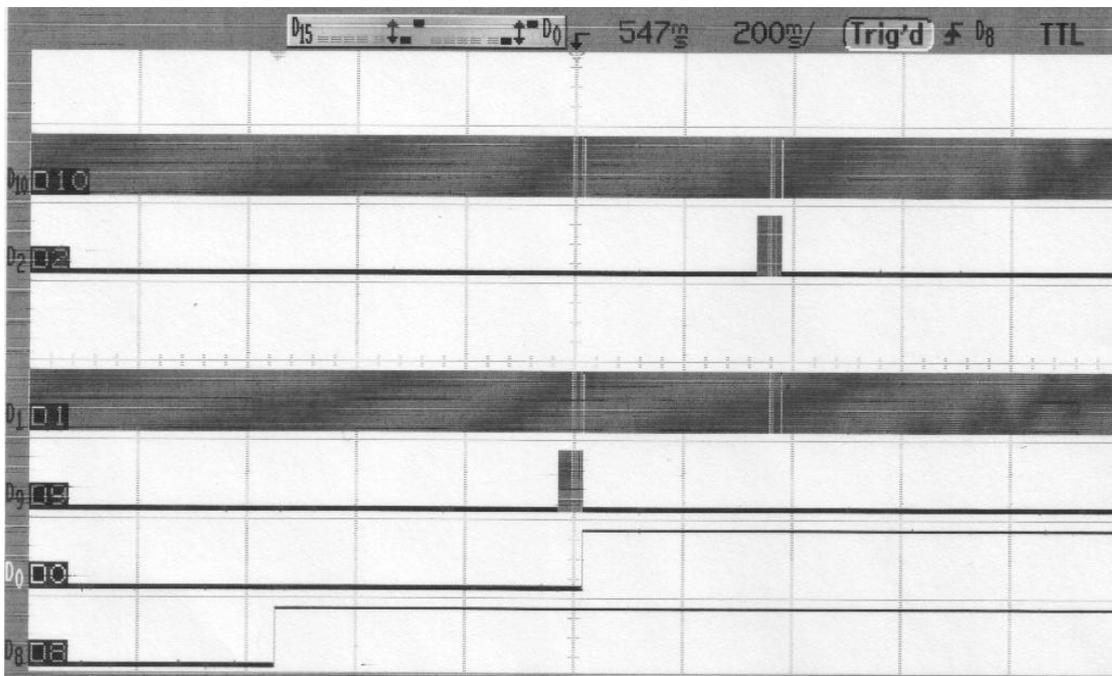
In Abbildung 2 ist grob aufgelöst die fehlerhafte Übertragung zu sehen. 500ms nach der steigenden Flanke von D8 beginnt das Sendemodul mit der Übertragung des Sendebitmusters (D9). Dieses wurde auch von den Empfangsteilen der Sender auch empfangen. Dies kann man an der Unterbrechung des „gleichmäßigen“ Rauschens erkennen.



- Abbildung 3: Fehlerhafte Übertragung (fein aufgelöst auf den Anfang des Datenpakets) -

In Abbildung 3 ist die gleiche Aufzeichnung wie im Bild 1 mit feinerer Auflösung zu sehen. Es sind sehr gut die Synchronisationsimpulse am Anfang des Pakets zu sehen.

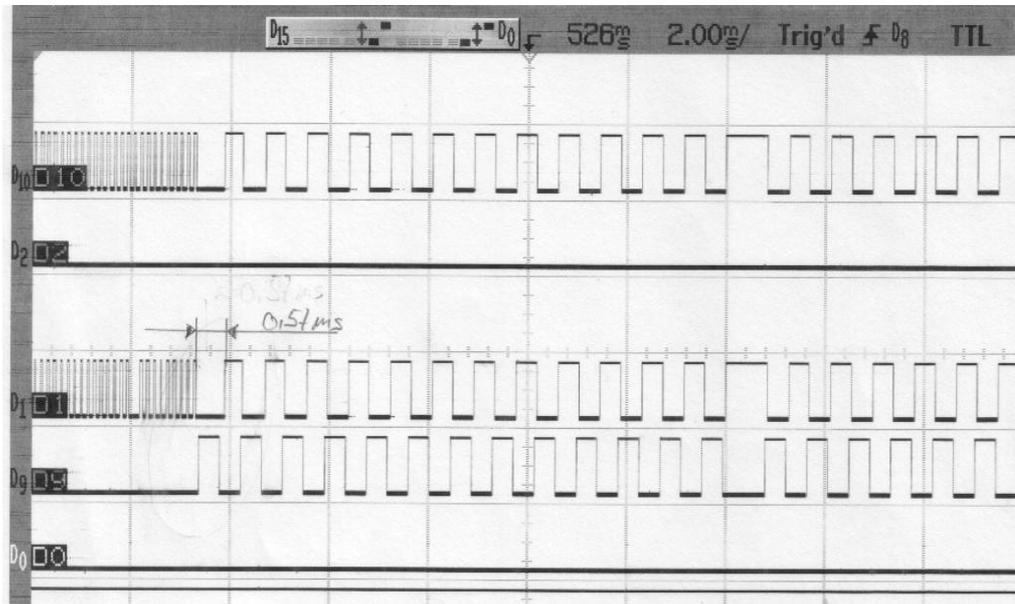
3.1.2 Messung 2 - Erfolgreiche Übertragung



- Abbildung 4: Erfolgreiche Übertragung (grob aufgelöst) -

Im Vergleich zur fehlerhaften Übertragung ist in Abbildung 4 nun die grob aufgelöste erfolgreiche Übertragung zu sehen. Deutlich zu erkennen ist die Antwort des Empfängermoduls, das damit die erfolgreiche Übertragung vom Sender zum Empfänger quittiert. Erst wenn dieses Quittierungssignal beim Sender wieder fehlerfrei ankommt wird die Übertragung als Fehlerfrei vom Sender ausgewertet, und die grüne LED beginnt kurz zu leuchten.

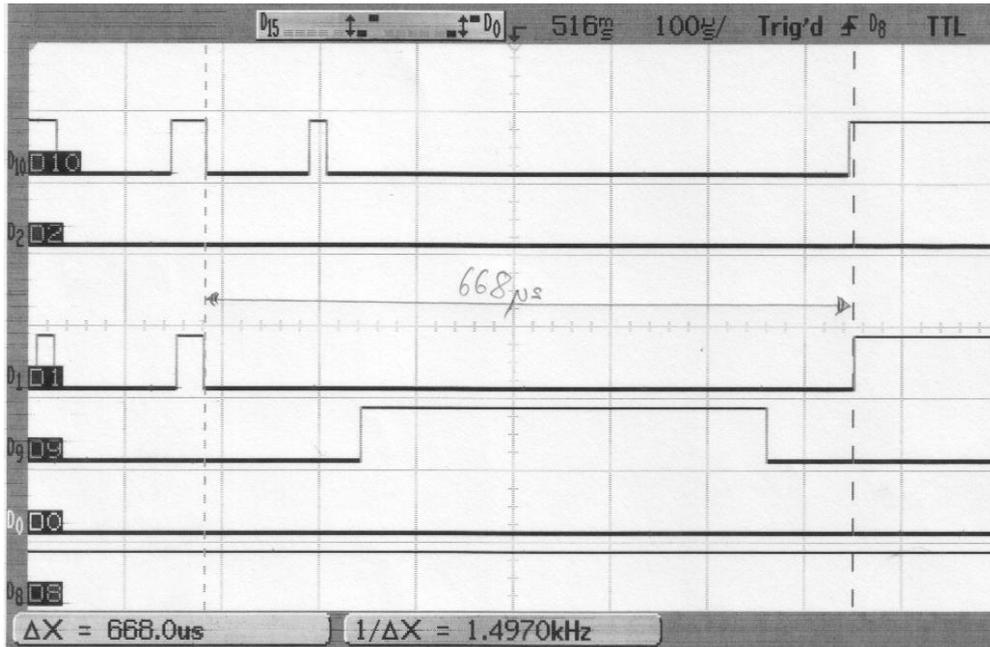
3.1.3 Messung 3 – Unterschiede in der Impulsbreite



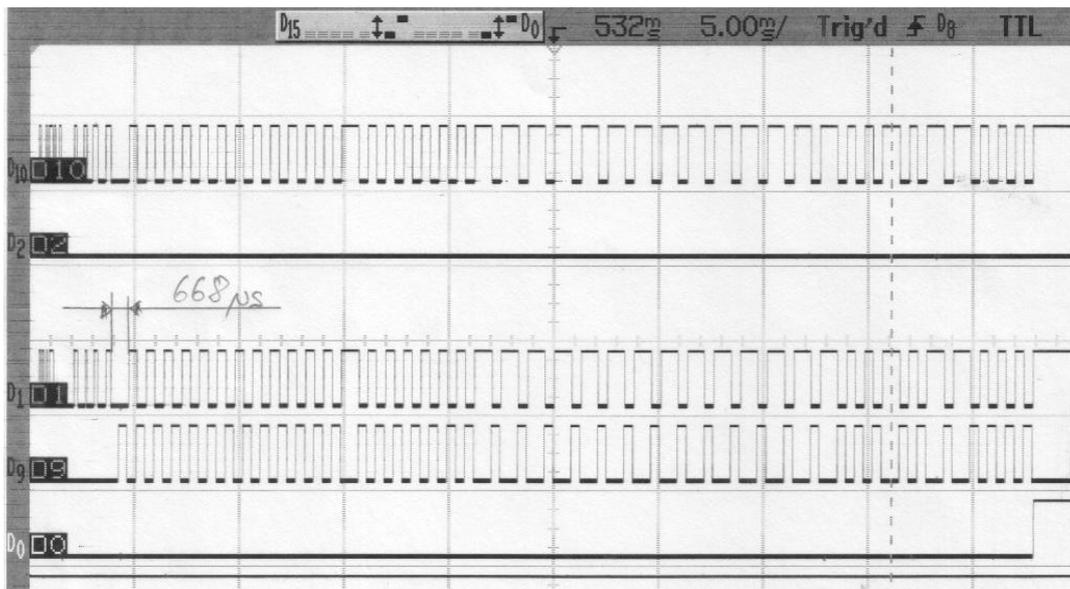
- Abbildung 5: Erfolgreiche Übertragung (fein aufgelöst auf den Anfang des Datenpakets) -

In Abbildung 5 ist die feine Auflösung des Datenpakets bei erfolgreicher Übertragung zu sehen.

Nach Bitweiser Kontrolle mehrerer fehlerfreien und fehlerhaften Datenpakete konnten keine Unterschiede innerhalb des Bitmusters festgestellt werden. Es werden also die Daten so empfangen, wie sie auch gesendet wurden. Fehler durch hinzugekommene fehlerhafte oder unsaubere Bits können also ausgeschlossen werden. Der einzige Unterschied konnte in der ersten Pause vor dem ersten Bit gemessen werden. Auffällig war hier, dass bei einer fehlerhaften Übertragung diese (durch das Rauschen verursachte) zufällige Pause länger als ca. $650\mu\text{s}$ war (Abbildung 6 und 7). Bei erfolgreichen Übertragungen diese aber stets unter $550\mu\text{s}$ (Abbildung 5) lag. Als einzige Möglichkeit, diese Ursache nachzuweisen oder auszuschließen, wäre ein entfernen des Rauschen vor dem Sendebeginn. Hierzu könnte man z. B. einen Messsender mit geringerer Leistung als die des Sendemoduls im Dauerbetrieb senden lassen und somit einen dauerhaften Low-Pegel am Eingang des IC's erzeugen. Hierzu könnte man auch einen der Funksender leicht modifizieren um ihn Dauersenden zu lassen. Leider befinden sich keine entsprechenden Messsender im Schaltungstechniklabor und auch ein Umbau der Schaltung wurde nicht gestattet. Daraufhin wurden die Messungen an dieser Fehlerart abgebrochen, um weitere Fehlermöglichkeiten der Funkmodule zu dokumentieren.

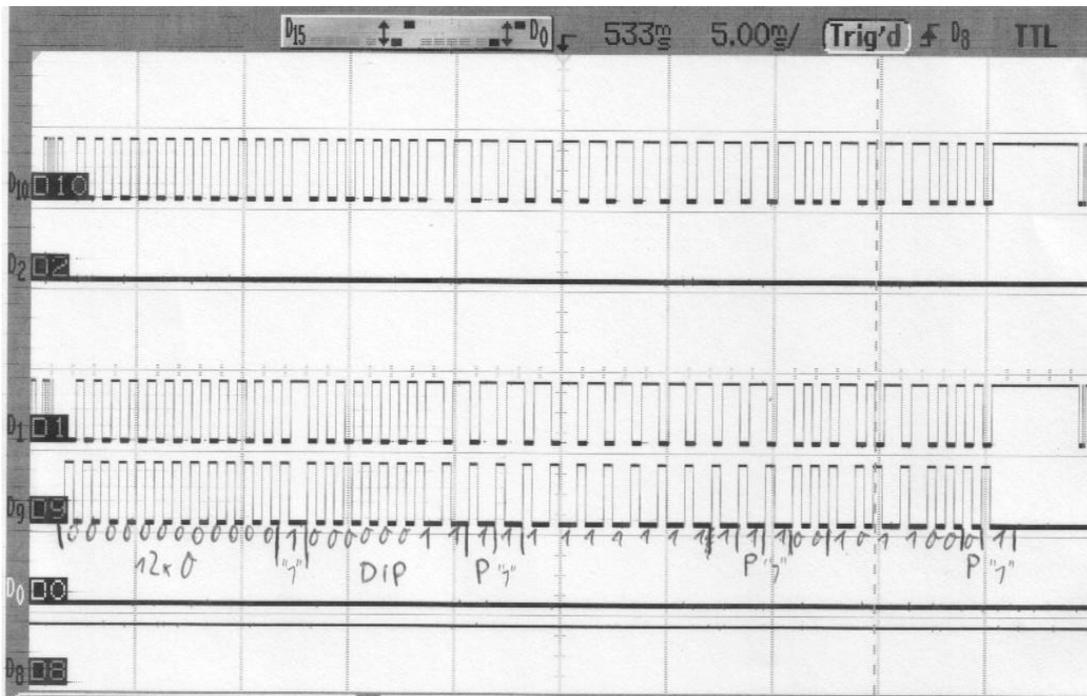


- Abbildung 6: Fehlerhafte Übertragung (sehr fein aufgelöst auf das erste Bit) -



-Abbildung 7: Fehlerhafte Übertragung (fein aufgelöst auf das Synchronisationspaket) -

3.2.2 Messung 2 - Fehlerhafte Übertragung



- Abbildung 9: Fehlerhafte Übertragung -

Die Auswertung der Bitfolge ergibt:

000000000000	1	00000011	1	1	11111111	1	1	00	101100	0	1
12 * "0"	'1'	DIP-Schalter	P	'1'	Daten	P	'1'	Status	Quersumme	P	'1'

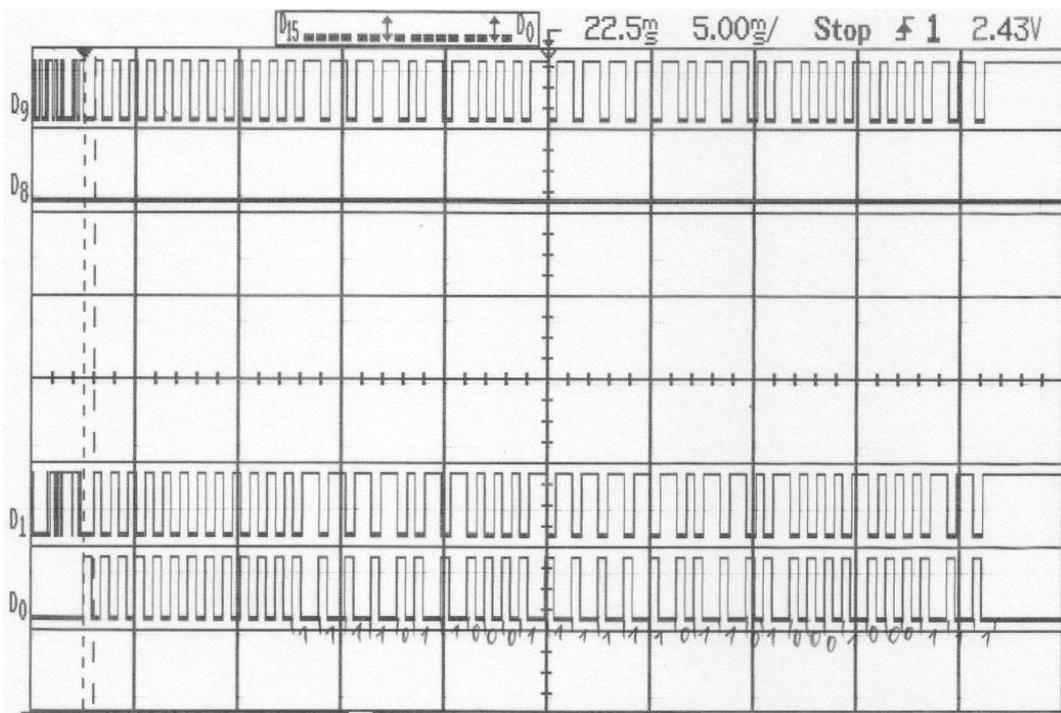
Wie in Abbildung 9 zu erkennen ist, ist die gesendete Bitfolge im Fehlerfall die gleiche wie bei der Fehlerhaften Übertragung. Ein Fehler bei der Codierung kann also ausgeschlossen werden.

3.3 Dritte Messreihe - Implementierung

In dieser Messreihe wurden Fehler bei der Rückübertragung (Quittierung) vom Empfängermodul zum Sendermodul untersucht. Bei diesem Fehler wurde das Sendesignal vom Empfänger richtig empfangen. Dies konnte man daran erkennen, dass das Empfängermodul das Soll-Datenbyte auch richtig am Datenausgang anzeigt. Anschließend sendet das Empfängermodul eine Bitfolge zur Quittierung der korrekten Übertragung. Bei dieser Rückübertragung tritt nun ein Fehler auf, wodurch das Sendermodul die Übertragung als Fehlerhaft einstuft und nach einer gewissen Wartezeit die Übertragung wiederholt.

Im Folgenden wurden die Eingänge des Oszilloskops wie folgt angeschlossen:

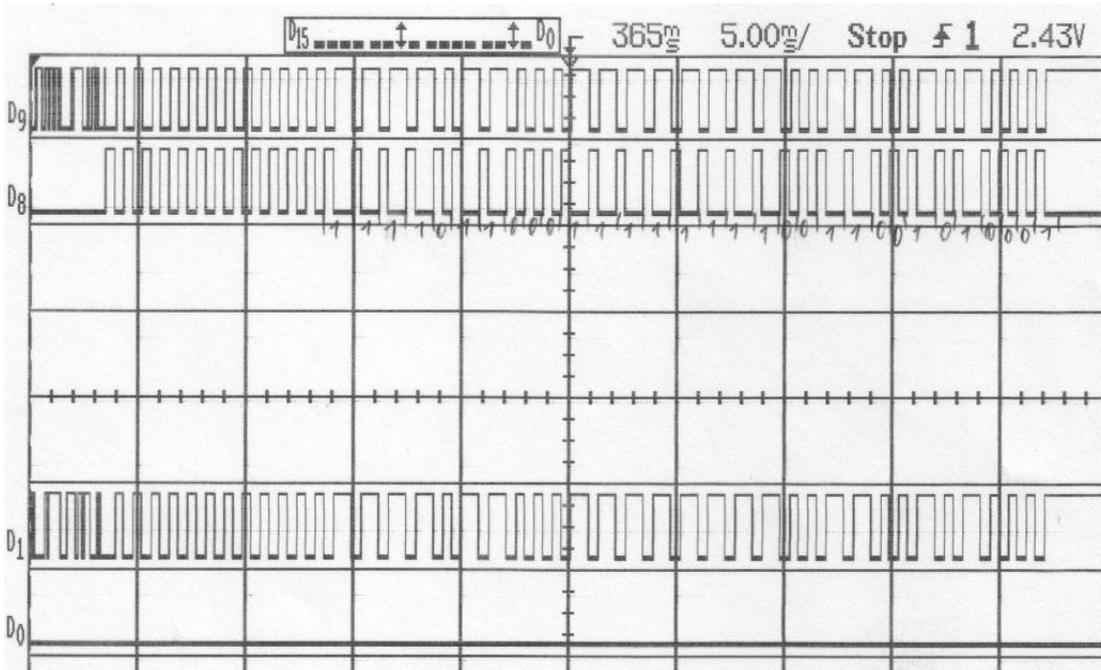
- D1 : Empfangssignal am Prozessor des Sendemoduls (Pin 6)
- D8 : Sendesignal am Prozessor des Empfängermoduls (Pin 2)
- D9 : Empfangssignal am Prozessor des Empfängermoduls (Pin 6)
- D0 : Sendesignal am Prozessor des Sendemoduls (Pin 2)



- Abbildung 10: Gesendetes Bitmuster vom Sender zum Empfänger -

Die Auswertung der vom Sendermodul gesendeten Bitfolge ergibt:

000000000000	1	11101100	0	1	11111011	0	1	00	010001	1	1
12 * "0"	'1'	DIP-Schalter	P	'1'	Daten	P	'1'	Status	Quersumme	P	'1'



- Abbildung 11: Zurückgesendetes Bitmuster vom Empfänger zum Sender -

Folgende Bitfolge wurde vom Empfänger als Quittierung an den Sender zurückgesendet:

000000000000	1	11101100	0	1	11111110	0	1	10	010100	0	1
12 * "0"	'1'	DIP-Schalter	P	'1'	Daten	P	'1'	Status	Quersumme	P	'1'

Beim Vergleich der beiden Bitfolgen sieht man deutlich den Unterschied im Datenteil zwischen dem hingesendeten und dem zurückgesendeten Bitmuster bei derselben Übertragung. Da der Empfänger die richtigen Daten am Ausgang ausgibt, muss er folglich das Signal richtig erkannt haben. Das zurücksenden einer fehlerhaften Bitfolge kann also nur mit einem Implementierungsfehler des Mikroprozessors begründet werden.

3.4 Zusammenfassung der Messergebnisse

Bei den einzelnen Messungen zur ersten Messreihe wurde das hauptsächliche Augenmerk auf die unterschiedlichen Impulsbreiten beim Übergang vom Rauschen zum Datenempfang auf der Empfängerseite gelegt. Diese These zur Übertragungsstörung konnte jedoch wegen nicht zur Verfügung stehenden Messmitteln nicht weiter verfolgt werden.

Die zweite Messreihe sollte mögliche Codierungsfehler in den Funkmodulen nachweisen. Durch zahlreiche Messungen hierzu konnte dies jedoch ausgeschlossen werden.

Während der dritten Messreihe wurde die Unterschiede zwischen den gesendeten (und richtig empfangenen) und den (als Quittierung) zurückgesendeten Bitmustern beleuchtet. Da es hier zu merklichen Abweichungen kam, wurde letztendlich mit dieser Messreihe nachgewiesen, dass es sich um Implementierungsfehler in den auf den Funkmodulen befindlichen Mikroprozessor handelt.

Über diese gesammelten Erfahrungen mit den Funkmodulen, deren Fehlerwahrscheinlichkeit und deren Ursache hinaus bleiben jedoch noch offene Fragen:

- Tritt die, durch Implementierungsfehler verursachte, fehlerhafte Übertragung bei sämtlichen Modulen auf?
- Unterscheiden sich die Fehler im Quittierungsbitmuster je nach Funkmodul?
- Wird die Prüfsumme beim empfangenden Funkmodul richtig gebildet?

4 Schlussfolgerung

Aufgrund der Versuche lässt sich der Schluss ziehen, dass mit gewisser Wahrscheinlichkeit ein Implementierungsfehler in den Funkmodulen vorliegt. Bei einer Zuverlässigkeitsquote von ca. 85% ist fraglich, ob somit ein reibungsloser Spielbetrieb gewährleistet werden kann. Da an den Modulen und deren Mikroprozessor-Software keine Fehler behoben werden können, sollte im Fall eines Übertragungsfehlers die Ansteuer-Hardware entsprechend darauf reagieren. Dazu könnte zum Beispiel das Signal für den Fehlerfall (rote LED) ausgewertet werden.

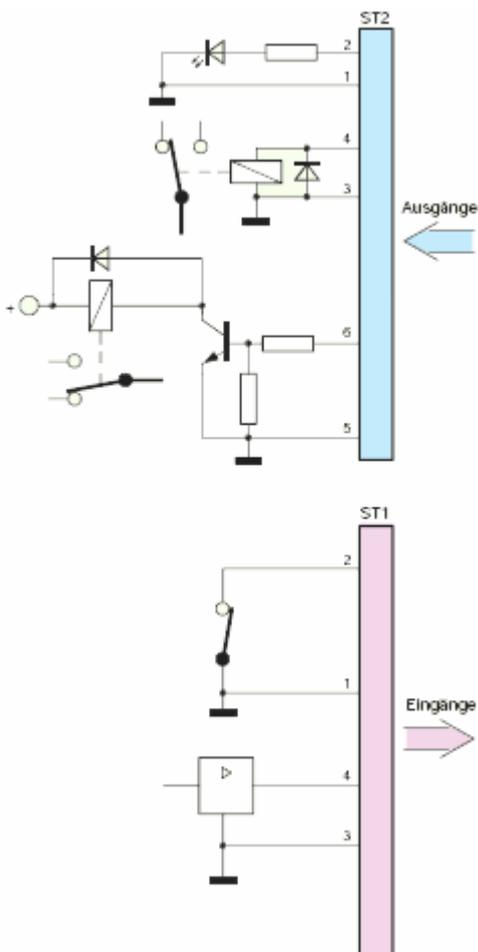
Vielleicht wäre es sogar sinnvoller auf eine bidirektionale Verbindung zu verzichten und gänzlich andere Funkmodule zu verwenden. Stattdessen könnte ein Verfahren wie bei Infrarotfernbedienungen verwendet werden, bei denen der entsprechende Code solange gesendet wird, wie eine Taste gedrückt ist. Kollisionen können dabei vermieden werden, wenn jeder Sender auf unterschiedlichen Kanälen im 433-MHz-Band arbeitet. An dieser Stelle soll noch angemerkt werden, dass im Praktikum Mikrocomputertechnik (NT7) an der Entwicklung von Funkfernbedienungen gearbeitet wird, die sich vielleicht auch für das Projekt „Spielbrett“ als nützlich erweisen könnten.

5 Anhang

5.1 Technische Daten der Funkmodule

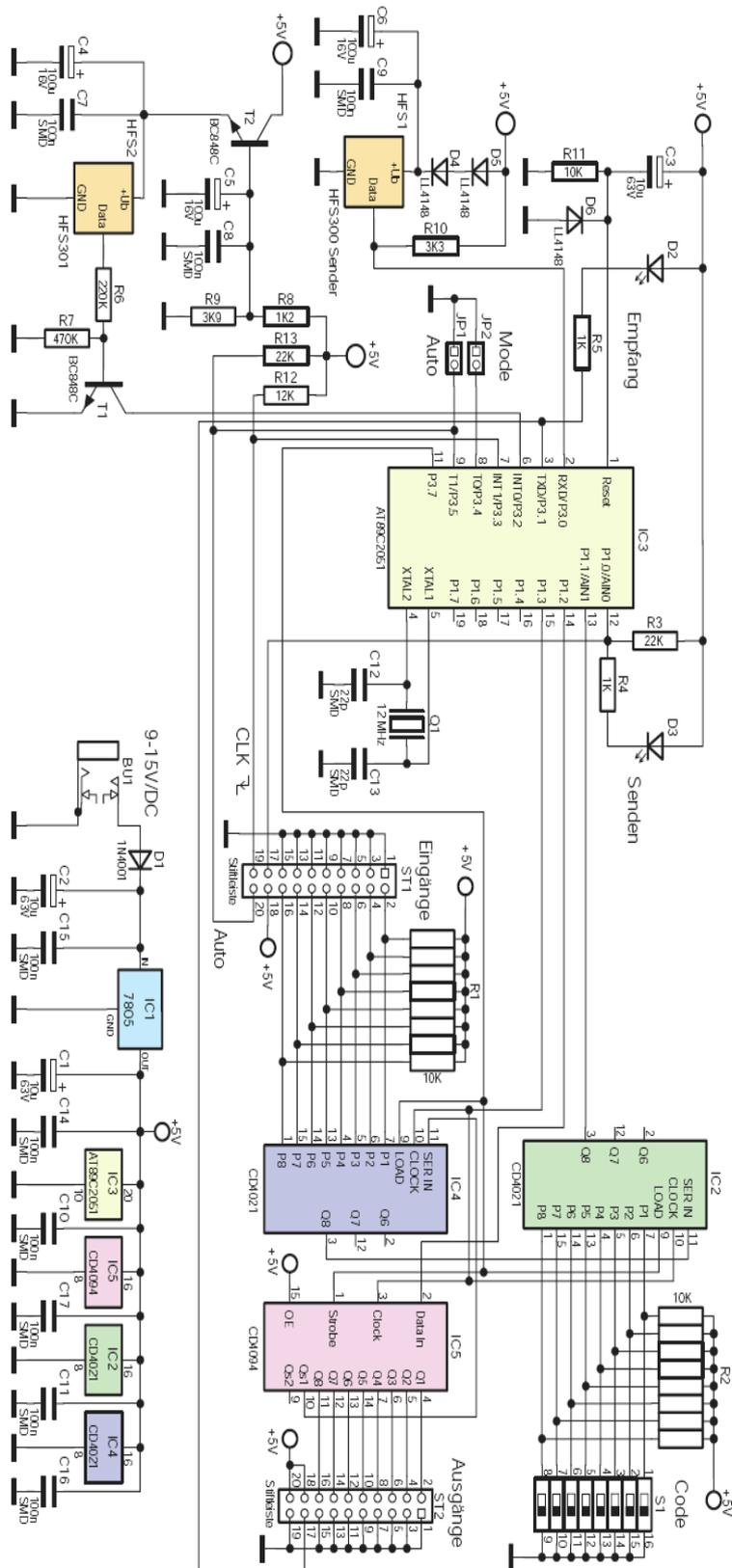
Betriebsspannung:	9 – 15V, DC
Stromaufnahme:	20 mA
Schalteingänge:	8 (Schalter nach GND oder TTL-Pegel)
Schaltausgänge:	8 (0 V oder 5 V, jeweils 5 mA)
Dauer der Signalübertragung:	ca. 1,5 s (inkl. Bestätigung)
Belastbarkeit der 5 V an den Stiftleisten:	max. 300 mA
Frequenz:	433,92 MHz
Freifeldreichweite:	max. 150 m

5.2 Beschaltung der Ein- und Ausgänge



- Abbildung 12: Beschaltung der Ein- und Ausgänge -

5.3 Schaltbild der HF-Schaltsignalübertragung



- Abbildung 13: Schaltbild -