

1 Anhang: Vertiefende Aufgabenstellung Robert Stocker

Protokolle zur Datenübertragung bei Bussystemen

Unterschrift:



Diese Diplomarbeit entspricht den Standards gemäß Leitfaden für Ingenieurprojekte des bm:ukk.

Klagenfurt, am 02.Mai 2011

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Klagenfurt, am 02.Mai 2011



Verfasser: Robert Stocker

Inhaltsverzeichnis

1 Anhang: Vertiefende Aufgabenstellung Robert Stocker.....	1
1.1 Aufgabenstellung.....	4
1.2 Zusammenfassung.....	4
1.3 Abstract.....	5
1.4 Theoretische Erörterungen.....	6
1.4.1 USB allgemeines.....	6
1.4.2 USB geschichtliches.....	6
1.4.3 USB Datenraten.....	7
1.4.4 USB Kabel.....	8
1.4.5 RS232 allgemein	9
1.4.6 Übliche Bitraten bei RS232.....	10
1.4.7 Leitungslängen und Übertragungsraten bei RS232	11
1.4.8 RS485 allgemein	12
1.4.9 Physikalisches Übertragungsverfahren bei RS485:.....	14
1.4.10 Leitungslängen bei RS485	14
1.5 Praktische Umsetzung.....	16
1.5.1 Maximale Datenrate für 100m CAT.5E Kabel bei RS485	16
1.5.2 Maximale Datenrate für ein 100m langes CAT.5e Kabel bei RS232.....	21
1.5.3 Maximale Datenrate vom HTL-PIC-Board mit dem PIC-18f4550.....	23
1.5.4 Elektrische Eigenschaften des CAT.5e Kabels.....	24
1.6 Ergebnisse.....	26
1.7 Schlussfolgerung.....	27
1.8 Arbeitsnachweis Diplomarbeit.....	28
2 Literaturverzeichnis.....	29
2.1 Literatur zu Anhang A: Protokolle zur Datenertragung bei Bussystemen	29

1.1 Aufgabenstellung

Im theoretischen Teil werden die seriellen Bussysteme USB, RS232 und RS485 analysiert und die Möglichkeiten der Datenkonvertierung von einem Übertragungssystem in das Andere beleuchtet.

Im praktischen Teil wird die Übertragungsrate bei verschiedenen Bussystemen, bzw. bei eingebautem Datenkonverter von einem Microcontroller zu einem PC gemessen. Im Besonderen wird gemessen, welche Länge ein handelsübliches CAT5-Kabel haben darf, um eine fehlerfreie Datenübertragung bei den verschiedenen Bussystemen sicher zu stellen.

1.2 Zusammenfassung

Die Entwicklung des Webservers für das LG500 Kompaktlüftungsgerät warf die Frage auf, wie man den Webserver mit dem LG500 verbinden könnte. Daher habe ich die verschiedenen Übertragungssysteme für Daten in der vertiefenden Aufgabenstellung näher beleuchtet.

Bei der Auswahl eines geeigneten Kabels fiel mir auf, dass das CAT.5e-Kabel im Vergleich zu anderen Kabeln kostengünstig verkauft wird. Des Weiteren kommen für die Anwendung einer Verkabelung zwischen Webserver und dem LG500 Leitungslängen von maximal 100m in Betracht. Zum Einen, weil man in den Gebäuden für die das LG500 entwickelt wurde mit großer Wahrscheinlichkeit keine längeren Strecken zu überwinden hat und zum Anderen weil auch der Hersteller der Steuerung für das LG500 Kabellängen bis maximal 100m und die Verwendung von geschirmten Kabeln empfiehlt.

So blieb nun die Frage offen, ob ich RS485 oder RS232 für die Datenübertragung verwenden sollte. Es stellte sich heraus, dass bei dem verwendeten Kabel zwar ähnlich hohe Datenraten bei beiden Übertragungsarten (RS232 und RS485) erreichen lassen. Da jedoch RS 232 im Vergleich zu RS485 sehr störanfällig ist wurde die Kommunikation zwischen dem LG500 und dem Webserver mittels RS485 realisiert.

Die ermittelten maximalen Datenraten sind bei der gegebenen Hardware und Software für RS232 von PC zu PC Maximal 115200 Bit/s, für RS232 von PIC-18f4550 zu PC Maximal 57600 Bit/s und für RS485 von PC zu PC maximal 57600 Bit/s

In der Praxis liegen die Kabel jedoch meist in Kabeltassen oder Kabelkanälen zusammen mit anderen Kabeln. Auf Grund der Nähe, der meist langen Parallelführung der Kabel und der unterschiedlichen Frequenzen, Spannungen und Ströme in den Kabeln kommt es meist zu

einer gegenseitigen elektrischen Beeinflussung. Diese Beeinflussung wird durch Abschirmung der Kabel zwar verringert, trotzdem sollte die Kabellänge und die Geschwindigkeit, mit der die Daten auf die Leitung geschickt werden auf ein Maximum begrenzt werden. Damit man auf der sicheren Seite ist, wird meist nicht mit an die maximal mögliche Kabellänge und Geschwindigkeit (Baudrate) verwendet.

Da bei RS485 nicht ein bestimmter Spannungspegel ausschlaggebend dafür ist, ob eine logische 0 oder eine logische 1 beim Empfänger erkannt wird, sondern der Spannungsunterschied zwischen zwei Leitungen dafür ausschlaggebend ist, können Störeinflüsse von außen praktisch ausgeschlossen werden. Wenn nämlich eine elektrische Beeinflussung auf das Kabel einwirkt, werden beide Leitungen auf die gleiche Weise beeinflusst. Der Spannungsunterschied zwischen den beiden Leitungen bleibt jedoch gleich. Im Unterschied zu RS232.

1.3 Abstract

The development of the webserver for the LG500 ventilation system brought up the question how to connect the two devices. Therefore I have had a closer look at the different possibilities of data transmission.

When I was looking for a suitable cable for the connection I found out that CAT.5e cables can be used in this case and that these cables are cheaper than other similar cables. For the length of the cable it was clear that 100 meters maximum were required. The first reason was simply because the LG500 ventilation system had been developed for a size of buildings that make no more than 100 meters necessary. The second reason was that the company that developed the control electronics for the LG500 recommends maximum cable lengths of 100 meters and shielded cables.

After some research two types of transmission were thinkable. RS232 transmission or RS485 transmission. The tests showed that both transmission types work perfectly under the given conditions with the given hardware.

With the 100 meter CAT.5e Cable the maximum data transfer rates were 115200 Bits/second for the communication between PC and PC via RS232, 57600 bits/second for the communication between the PIC-18f4550 breadboard and the PC and 57600 Bits/second for the RS485 Communication between two PC's.

Further research however showed that only RS485 works good for this application under real conditions. RS232 is quite vulnerable to electric interferences caused by other cables usually laid right next to the data cables in reality.

The RS485 communication is not so vulnerable because it uses the voltage difference between the two data wires and the troubles caused by other wires next to the data wire affect both wires in the same way so the difference of the voltage between the two data wires stays the same.

RS232 on the other hand only sends high and low signals that can be distorted by different kinds of electrical interfering on the way from one to the other device.

Despite the fact that I found out the maximum data rates for this communication between the two devices it is usual not to push totally to the limits. Data transmission is safer when it runs at fewer speed.

1.4 Theoretische Erörterungen

1.4.1 USB allgemeines

„Der Universal Serial Bus (USB) ist ein serielles Bussystem zur Verbindung eines Computers mit externen Geräten. Mit USB ausgestattete Geräte oder Speichermedien können im laufenden Betrieb miteinander verbunden (Hot-Plugging) und angeschlossene Geräte sowie deren Eigenschaften automatisch erkannt werden. [...]“

„USB ist ein serieller Bus, d. h. die einzelnen Bits eines Datenpaketes werden nacheinander übertragen. Die Datenübertragung erfolgt symmetrisch über zwei verdrillte Leitungen, die eine überträgt das Datensignal, die andere das dazu invertierte Signal. Der Signalempfänger bildet die Differenzspannung beider Signale; der Spannungsunterschied zwischen 1- und 0-Pegeln ist dadurch doppelt so groß, eingestrahlte Störungen werden weitgehend eliminiert. Das erhöht die Übertragungssicherheit, unterdrückt Gleichtaktstörungen und verbessert damit die elektromagnetische Verträglichkeit. Zwei weitere Leitungen dienen zur Stromversorgung der angeschlossenen Geräte. Durch die Verwendung von nur vier Adern in einer Leitung können diese dünner und billiger ausgeführt werden als bei parallelen Schnittstellen. Eine hohe Datenübertragungsrate ist mit relativ geringem Aufwand zu erreichen, da nicht mehrere Signale mit identischem elektrischen und zeitlichen Verhalten übertragen werden müssen.“

[wiki01 2011]

1.4.2 USB geschichtliches

„Der universelle serielle Bus (USB 1.0) wurde vom Hersteller Intel entwickelt und 1996 im Markt eingeführt. Er war zum Anschluss von Peripheriegeräten an PCs konzipiert und sollte die Nachfolge einer ganzen Reihe damals verwendeter PC-Schnittstellen antreten und diese vereinheitlichen. Deshalb war die USB-Spezifikation nicht auf Tastatur und Maus begrenzt, sondern schloss auch andere Peripheriegeräte wie Drucker und Scanner mit ein. Massenspeicher – wie etwa Festplatten – wurden zwar von USB 1.0 unterstützt, wegen der

maximalen Datenrate von 12 Mbit/s waren sie dafür aber nur sehr eingeschränkt zu gebrauchen.

Als einer der ersten Chipsätze unterstützte 1996 der ursprünglich für den Pentium Pro entwickelte und später für den Pentium II verwendete 440FX das USB-Protokoll, was vor Einführung der ATX-Mainboards jedoch kaum bis gar nicht beworben wurde. Die Hauptursache dafür dürfte zum einen in der mangelhaften beziehungsweise fehlenden Unterstützung von USB durch die damals verbreiteten Betriebssysteme Windows 95 und Windows NT 4.0 gelegen haben, zum anderen waren in der Anfangszeit auch kaum USB-Geräte verfügbar. Dieser zähe Start brachte ihm den Spitznamen *Useless Serial Bus* ein.

Ende 1998 folgte die überarbeitete Spezifikation USB 1.1, die in erster Linie Fehler und Unklarheiten in der 1.0-Spezifikation behob und den Interrupt Out Transfer hinzufügte. Die Geschwindigkeit erhöhte sich nicht. USB 1.x war deshalb keine Konkurrenz zu Apples FireWire-Standard (IEEE 1394), der von Anfang an (1995) eine Datenrate von bis zu 400 Mbit/s hatte und im April 2003 auf bis zu 800 Mbit/s beschleunigt wurde. Dennoch setzte Apple die Schnittstelle in der Revision USB 1.1 mit der Entwicklung des iMac ein. Mit diesem beginnend, ersetzte Apple damit den hauseigenen ADB.

Im Jahr 2000 wurde USB 2.0 spezifiziert, was vor allem eine weitere Datenrate von 480 Mbit/s hinzufügte und so den Anschluss von Festplatten oder Videogeräten ermöglichte. Produkte dafür erschienen jedoch erst ab 2002 am Markt.

2008 wurden die neuen Spezifikationen für USB 3.0 SuperSpeed vorgestellt, die Datentransferraten von mindestens 4,8 Gbit/s erreichen. Mit dieser Spezifikation werden auch neue Stecker, Kabel und Buchsen eingeführt, die größtenteils mit den alten kompatibel sein sollen.[...]

USB 3.0

[...] Im November 2008 stellte das USB Implementers Forum, dem unter anderem die Unternehmen HP, Microsoft und Intel angehören, die Spezifikation für USB 3.0 vor. Es sollen Datenraten von bis zu 5 Gbit/s (625 MB/s) im SuperSpeed-Modus erreicht werden.

Die höheren Datenraten werden durch eine Übertragungstechnik ähnlich PCI-Express beziehungsweise Serial ATA ermöglicht, die allerdings zusätzlich zum bisherigen Datenleitungspaar (D+/D-) im Kabel noch zwei weitere Adernpaare erfordert (plus einen weiteren Masseanschluss). Da in den Steckern somit fünf weitere Kontakte erforderlich sind, wurden mit USB 3.0 neue Steckverbinder und Kabel eingeführt.

[wiki01 2011]

1.4.3 USB Datenraten

„USB erlaubt es einem Gerät, Daten mit 1,5 Mbit/s, 12 Mbit/s oder mit 480 Mbit/s zu übertragen. Diese Raten basieren auf dem Systemtakt der jeweiligen USB-Geschwindigkeit und stellen die physikalische Datenübertragungsrate dar. Die Toleranzen werden für „USB 2.0“-Geräte und für die älteren USB-1.0-/1.1-Geräte getrennt behandelt. Der tatsächliche Datendurchsatz liegt – durch **Protokoll-Overhead** – darunter. Im USB-Standard ist eine

maximale theoretische Datenlast bei High-Speed unter idealen Bedingungen von 49.152.000 Byte/s (Isochronous Mode) beziehungsweise 53.248.000 Byte/s (Bulk-Mode) angegeben. Dazu kommt die Verwaltung der Geräte, so dass bei aktuellen Systemen eine nutzbare Datenrate in der Größenordnung von 320 Mbit/s (40 MB/s) bleibt. Bei älteren Systemen wurde diese durch eine unzureichende Anbindung des USB-Chips an den Systembus zusätzlich reduziert.[...]

Geschwindigkeit	Toleranz USB 3.0	Toleranz USB 2.0	Toleranz USB 1.0/1.1
Low-Speed, 1,5 Mbit/s (187,5 KB/s)	–	± 0,75 kbit/s	± 22,5 kbit/s
Full-Speed, 12 Mbit/s (1,5 MB/s)	–	± 6 kbit/s	± 30 kbit/s
High-Speed, 480 Mbit/s (60 MB/s)	–	± 240 kbit/s	–
SuperSpeed, 5 Gbit/s (625 MB/s)	–	–	–

[wiki01 2011]

1.4.4 USB Kabel

„In einem USB-Kabel werden vier Adern benötigt. Zwei Adern übertragen dabei die Daten, die anderen beiden versorgen das angeschlossene Gerät mit einer Spannung von 5 V. Der USB-Spezifikation entsprechende Geräte dürfen bis zu 100 mA oder 500 mA aus dem Bus beziehen, abhängig davon, wie viel der Port liefern kann, an den sie angeschlossen werden. Geräte mit einer Leistung von bis zu 2,5 W können also über den Bus versorgt werden. Je nach Kabellänge muss der Querschnitt der beiden Stromversorgungsadern angepasst sein, um den zulässigen Spannungsabfall einzuhalten; auch daher sind Verlängerungsleitungen nicht standardgemäß.“

Die Kabel müssen je nach Geschwindigkeit unterschiedlich abgeschirmt werden. Kabel, die lediglich der Spezifikation low speed entsprechen, dürfen über keinen B-Stecker verfügen, sondern müssen fix am Gerät montiert sein oder einen herstellerspezifischen Stecker verwenden. Sie sind weniger stark abgeschirmt, kommen ohne verdrillte Adern aus und sind dadurch flexibler als Full/High-Speed Kabel. Sie sind daher gut für zum Beispiel Mäuse und Tastaturen geeignet. Die geringe Abschirmung des Kabels kann zu Problemen bei Geräten mit höheren Geschwindigkeiten führen.

Die Längen von Full-/High-Speed- und Low-Speed-Kabeln vom Hub zum Gerät sind auf fünf beziehungsweise drei Meter begrenzt. Längere Strecken kann man überwinden, indem USB-Hubs zwischengeschaltet werden. Sogenannte USB-Repeaterkabel entsprechen in ihren Funktionen einem Bus-Powered Hub (s. u.) mit einem einzigen

Downstream-Port und einem fest angeschlossenen Kabel am Upstream-Port. Da die elektrischen Auswirkungen dieser Kabel im USB-Bus denen eines Bus-Powered-USB-Hubs mit fünf Meter Kabel entsprechen, sollten bei ihrer Verwendung zusätzlich die Beschränkungen beim Verschachteln von USB-Hubs beachtet werden.

USB arbeitet mit einem Wellenwiderstand von 90Ω , direkte Verbindungskabel sollten daher auch in diesem Wellenwiderstandswert ausgeführt sein.

Für die Überbrückung von **Längen über 30 Metern** werden **USB-Line-Extender** angeboten. Diese bestehen aus zwei Komponenten: Einem Base-Modul, das an den Computer angeschlossen wird, und einem Remote-Modul für den Anschluss des USB-Gerätes. Zur Distanzüberbrückung zwischen diesen beiden Komponenten werden meist **Ethernetkabel** oder **Lichtleiter eingesetzt**. Da sich diese Line-Extender jedoch immer auf bestimmte, nicht vom Standard vorgeschriebene Verhaltensdetails der angeschlossenen Geräte verlassen und zudem bei langen Kabelstrecken die **Signallaufzeit zu Protokollverletzungen führt, ist der Einsatz dieser Geräte oft mit Problemen verbunden.**“

[wiki01 2011]

Auf den Versuch, ein USB-Kabel mit dem zu testenden CAT.5e Kabel zu verlängern, wird auf Grund obiger Informationen verzichtet.

1.4.5 RS232 allgemein

„RS-232 ist ein Standard für eine bei Computern oft vorhandene serielle Schnittstelle, die in den frühen 1960ern von einem US-amerikanischen Standardisierungskomitee eingeführt wurde.“

[...]

Die aktuelle amerikanische Version heißt offiziell (ANSI EIA) TIA-232-F und ist aus dem Jahr 1997.[1] Die in den USA und Europa übliche Bezeichnung ist RS-232 (RS steht dabei für Radio Sector, womit die ursprünglich zuständige Abteilung der Behörde gemeint ist, wird aber heute als Recommended Standard gelesen).

[...]

Eine EIA-232-Verbindung arbeitet (bit-)seriell mit je einer Datenleitung für beide Übertragungsrichtungen. Das heißt, die Bits werden nacheinander auf einer Leitung übertragen, im Gegensatz zur parallelen Datenübertragung. Die dafür nötige Seriell-Parallel-Wandlung geschieht meistens in sog. UARTs (entweder als integriertes Modul in einem Mikrocontroller oder als Stand-Alone-Baustein).

Die EIA-232 wird deshalb häufig salopp „serielle Schnittstelle“ genannt, obwohl es zahllose andere serielle Schnittstellenarten gibt.

Die Datenübertragung erfolgt **asynchron**, es existiert also **kein gemeinsamer Takt**. Jeder Teilnehmer kann bei freier Leitung, zu jedem beliebigen Zeitpunkt, vollständige Datenwörter übertragen. Die Synchronisation in der Übertragung erfolgt durch den Empfänger als sogenannte **Wortsynchronisation, also am Anfang durch die Signalflanke des Startbits**.

Die Synchronisation des Empfängers geschieht mit dem Start der Übertragung auf der Datenleitung, da das Stopp-Bit bzw. der Ruhezustand auf der Leitung den inversen Pegel zum Start-Bit aufweist. Der Empfänger synchronisiert sich so in die Mitte der einzelnen Datenbits und tastet die folgenden Bits des Datenwortes mit seiner eigenen Bitrate ab.

Damit das funktioniert, dürfen die Bitraten von Sender und Empfänger nur einige Prozent voneinander abweichen. Jedes übertragene Wort muss somit von einem **Startbit (logischer Wert 0)** eingeleitet und mit mindestens einem **Stopp-Bit (logischer Wert 1)** abgeschlossen werden.

Das Stopp-Bit ist kein Bit im eigentlichen Sinne, sondern bezeichnet die Mindestlänge der Pause bzw. des Ruhezustands. Daher können zwischen zwei Wörtern beliebig viele Stopp-Bits vorliegen, auch nichtganzzahlige Werte wie 1,5 Stopp-Bits. Damit ist gemeint, dass die Mindestdauer der Pause der Zeitdauer von 1,5 Bitzellen entspricht. Der Grund liegt darin, dass manche UARTs zwischen den Empfang zweier Wörter eine etwas längere Pause von mehr als einer Bitdauer benötigen.

Zwischen Start- und Stopp-Bit(s) werden die eigentlichen Nutzdaten (Datenbits) über die Taktzeit unverändert (NRZ-codiert) übertragen.

EIA-232 ist eine Spannungsschnittstelle (im Gegensatz z. B. zu einer Stromschnittstelle). Die Information (Bit) wird durch eine elektrische Spannung kodiert.

Für die Datenleitungen (TxD und RxD) wird eine negative Logik verwendet, wobei eine Spannung zwischen -3 V und -15 V (ANSI/EIA/TIA-232-F-1997) eine logische Eins und eine Spannung zwischen +3 V und +15 V eine logische Null darstellt. Signalpegel zwischen -3 V und +3 V gelten als undefiniert.

[...]

[wiki02 2011]

1.4.6 Übliche Bitraten bei RS232

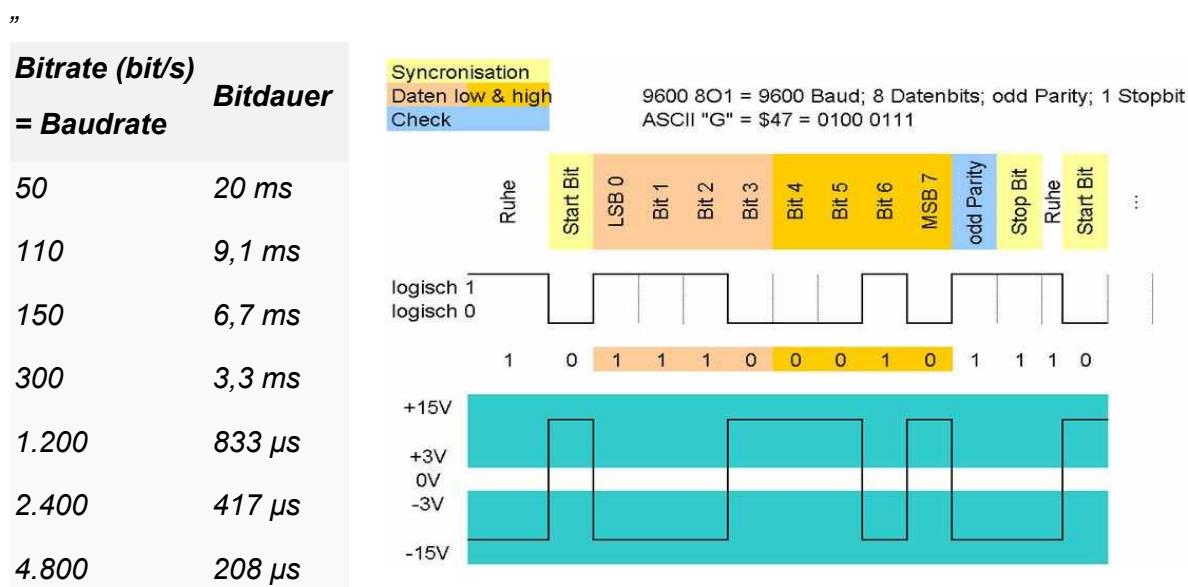


Abbildung 1: Timingdiagramm

9.600	104 μ s
19.200	52 μ s
38.400	26 μ s
57.600	17 μ s
115.200	8,68 μ s
230.400	4,34 μ s
460.800	2,17 μ s
500.000	2,00 μ s

Der Standard legt keine Geschwindigkeiten fest, obwohl erwähnt wird, dass er für Übertragungsraten bis 20.000 bit/s gedacht ist. Übliche Bausteine unterstützen aber Übertragungsraten von 115,2 kbit/s und mehr.

Das Timingdiagramm (Abbildung 1) zeigt ein Beispiel, wie ein Zeichen übertragen wird. Zunächst liegt der Ruhepegel an. Der Ruhezustand der Übertragungsleitung, der auch mit „Mark“ bezeichnet wird, entspricht dem Pegel einer „logischen 1“. Als Erstes wird das Startbit logisch „0“ („Space“) gesendet, um den Empfänger mit dem Sender synchronisieren zu lassen. Die (zeitliche) Dauer der jeweiligen Bits hängt von der eingestellten Bitrate ab, welche bei der EIA-232 gleich der Baudrate ist.

[...]

Von vielen Geräten werden folgende Einstellungen verwendet: 8 Datenbits, no Parity, 1 Stopbit, was oft als 8N1 abgekürzt wird. Damit sind für die Übertragung eines Bytes auf der Leitung mindestens $1 + 8 + 1$ „Bitdauern“ nötig, woraus sich bei 115.200 Bit/s für die Nutzdaten ein Maximaldurchsatz von 92.160 Bit/s ($=115.200 \times 8 / 10$ Bit/s) ergibt.“

[wiki02 2011]

1.4.7 Leitungslängen und Übertragungsraten bei RS232

„Da wegen der verwendeten Spannungsübertragung die Spannung am Empfänger mit zunehmender Leitungslänge (wegen des größer werdenden elektrischen Kabelwiderstandes und der Kabelkapazität) abnimmt, ist die Leitungslänge begrenzt.“

Ein weiterer begrenzender Faktor ist die Laufzeit des Signals. Da eine EIA-232-Schnittstelle am Leitungsende nicht mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen werden kann (zu große Verlustleistung), gibt es unweigerlich Leitungsreflexionen. Mit zunehmender Übertragungsr率e und Kabellänge stören die Reflexionen immer mehr die Datenübertragung. Die Norm verlangt, dass die Flankensteilheit am Sender den Wert 30 V/ μ s nicht überschreiten darf, womit die Auswirkung der Reflexionen begrenzt werden. Empfängerseitig wird durch einen Schmitt-Trigger wieder ein Rechtecksignal mit sehr hoher Flankensteilheit hergestellt.“

Ein weiterer Aspekt ist, dass die Signalübertragung nicht differentiell, sondern asymmetrisch (single-ended bzw. unbalanced) erfolgt. Das zu übertragende Signal beinhaltet einen Gleichspannungsanteil und ist deshalb relativ empfindlich auf Gleichtaktstörungen. Solche Störungen können z. B. durch induktive Einkopplung in die Schleife RxD-Gnd entstehen. Weil sich alle Signale auf das gleiche Gnd-Signal beziehen, kann ein Strom auf der TxD-Leitung einen Spannungsabfall auf der Gnd-Leitung erzeugen, welcher zu einer Potentialverschiebung zwischen den beiden Kommunikationspartnern führt und beispielsweise auf der RxD-Leitung gesehen wird und Störungen verursacht.

Laut ursprünglichem Standard ist eine Kabelkapazität von max. 2500 pF zulässig, was bei Standardkabeln einer Kabellänge von max. 15 m (50 Fuß) entspricht. Mit Kabeln, welche eine besonders niedrige Kapazität aufweisen (beispielsweise UTP CAT-5 Kabel mit 55 pF/m), lassen sich konform zur Definition 45 m erreichen. Die untenstehende Tabelle gibt Erfahrungswerte von Texas Instruments wieder.

Maximalwerte

max. Baud	max. Länge
2.400	900 m
4.800	300 m
9.600	152 m
19.200	15 m
57.600	5 m
115.200	<2 m

Die Probleme der gegenseitigen Beeinflussung über Gnd, fehlender Abschlusswiderstand etc. lassen sich durch eine differentielle Übertragung wie bei RS-485, LVDS etc. beheben.“

[wiki02 2011]

1.4.8 RS485 allgemein

„EIA-485, auch als RS-485 bezeichnet, ist ein Schnittstellen-Standard für digitale leitungsgebundene, differentielle, serielle Datenübertragung. Aufgrund der **symmetrischen Signalübertragung ist EIA-485 durch eine hohe Toleranz gegenüber elektromagnetischen Störungen gekennzeichnet**.“

[...]

EIA-485 benutzt ein Leitungspaar, um den invertierten und einen nichtinvertierten Pegel eines 1-Bit Datensignals zu übertragen. Am Empfänger wird aus der Differenz der beiden

Spannungspegel das ursprüngliche Datensignal rekonstruiert. Das hat den Vorteil, dass sich Gleichtaktstörungen nicht auf die Übertragung auswirken und somit die Störsicherheit vergrößert wird. Im Gegensatz zu EIA-232 sind so wesentlich längere Übertragungsstrecken und höhere Taktraten möglich. Gegenüber dem EIA-422-Standard besitzen die Sender durch einen integrierten Widerstand kurzschlussfeste Ausgangsstufen, so dass auch ein Gegensenden zweier Sender nicht zu Defekten führt. An einem Adernpaar dürfen außerdem mehrere Sender und mehrere Empfänger angeschlossen sein ('Multipoint').

Im Gegensatz zu anderen Bussen sind bei EIA-485 nur die elektrischen Schnittstellenbedingungen definiert. Das Protokoll kann anwendungsspezifisch gewählt werden. Deshalb werden sich EIA-485-Geräte unterschiedlicher Applikationen oder Hersteller i.a. nicht verstehen. Sollen Daten transportiert werden, bedient man sich zur Zeichenübertragung oft des Universal Asynchronous Receiver Transmitter-Protokolls (UART), bekannt von RS-232-Schnittstellen. Meist werden hier acht gleichwertige Bits pro Rahmen übertragen.

[...]

Die beiden symmetrischen Leitungen der EIA-485/Schnittstelle arbeiten mit einem Differenz-Spannungspegel von mindestens +/-200 mV. Der Sender eines typischen 485-Bausteins verwendet eine Brückenschaltung, somit entspricht der Signalpegel beim Sender der Betriebsspannung des Treibers, z.B. +/- 5 V. Im Gegensatz zur massebezogenen EIA-232-Schnittstelle oder zur alten TTY-Stromschnittstelle der Fernschreiber ist durch den symmetrischen Aufbau der Signalleiter ein 485-Empfänger gegenüber Gleichtaktstörung weitgehend unempfindlich.

Sie benutzt in der Regel nur ein Adernpaar und wird halbduplex betrieben, mit zwei Adernpaaren ist aber auch Vollduplexbetrieb möglich. Die Verbindung ist multipointfähig, das heißt es können bis zu 32 Teilnehmer (oder Unit Loads, eine hypothetische Lastgröße) an den EIA-485-Bus angeschlossen werden. Es existieren Transceiverbausteine, die 1/2, 1/4 oder sogar nur 1/8 Unit Load darstellen. Diese Bausteine haben dann gegenüber einem normalen Transceiver einen doppelten, vierfachen oder achtfachen Eingangswiderstand. Damit können Netzwerke mit bis zu 256 Teilnehmern (1/8 Unit Load) aufgebaut werden. **Üblicherweise werden Kabellängen bis zu 1,2 km und Übertragungsraten bis 10 MBit/s unterstützt, wobei die maximale Übertragungsrate nur bei Leitungslängen bis zu 12 m erreicht wird.** Die tatsächlich möglichen maximalen Netzwerkgröße und die maximalen Übertragungsraten sind außerdem stark vom Aufbau des Netzwerks abhängig. Insbesondere Stern topologien sollten aufgrund der dabei entstehenden langen Stichleitungen vermieden werden, vorteilhaft ist der Aufbau in Kettenform (Daisy Chain).

Da die EIA-485-Schnittstelle ein Bussystem (im Gegensatz zur Punkt-zu-Punkt-Verbindung bei EIA-232) darstellt, sollten die Leitungsenden (zumindest bei größeren Leitungslängen bzw. größeren Übertragungsraten) abgeschlossen werden. In der Regel wird ein passiver Abschluss durch Verbinden der Signalleitungen über jeweils einen 120-Ω-Widerstand an den beiden Busenden verwendet.

Bei großen Leitungslängen kann es durch den Spannungsabfall zu größeren Potentialdifferenzen zwischen den Busteilnehmern kommen, die die Kommunikation behindern. Das kann durch Mitführen der Masseleitung verbessert oder durch galvanische Trennung (Optokoppler) vermieden werden.

EIA-485 spezifiziert nur die elektrischen Eigenschaften des Interfaces, es definiert kein Protokoll und auch keine Steckerbelegung. Deshalb existiert keine einheitliche Pinbelegung eines EIA-485-Steckers, so dass bei Verwendung verschiedener EIA-485-Geräte immer die Dokumentation des Gerätes beachtet werden muss. Beim Profibus, der auf der EIA-485-Norm basiert, werden beispielsweise die Pins 3 und 8 von 9-poligen D-Sub-Steckern und -Buchsen für die Datenleitung benutzt.

Weite Verbreitung hat EIA-485 auch im Kassenbereich, wo von IBM Drucker und andere Peripheriegeräte über proprietäre Steckverbindungen verbunden werden.“

[wiki03 2011]

1.4.9 Physikalisches Übertragungsverfahren bei RS485:

„Die seriellen Daten werden, wie bei RS422-Schnittstellen, ohne Massebezug als Spannungsdifferenz zwischen zwei korrespondierenden Leitungen übertragen. Für jedes zu übertragende Signal existiert ein Aderpaar, das aus einer invertierten und einer nicht invertierten Signalleitung besteht.

Die invertierte Leitung wird in der Regel durch den Index "A" oder "-" gekennzeichnet, während die nicht invertierte Leitung mit "B" oder "+" bezeichnet wird.

Der Empfänger wertet lediglich die Differenz zwischen beiden Leitungen aus, so dass Gleichtakt-Störungen auf der Übertragungsleitung nicht zu einer Verfälschung des Nutzsignals führen.

RS485-Sender stellen unter Last Ausgangspegel von $\pm 2V$ zwischen den beiden Ausgängen zur Verfügung; die Empfängerbausteine erkennen Pegel von $\pm 200mV$ noch als gültiges Signal.

Die Zuordnung von Differenzspannungs-Pegel zu logischem Zustand ist wie folgt definiert:

A - B < -0,3V = MARK = OFF = Logisch 1

A - B > +0,3V = SPACE = ON = Logisch 0

"

[W&T01 2011]

1.4.10 Leitungslängen bei RS485

„Durch die Verwendung eines symmetrischen Übertragungsverfahrens in Kombination mit kapazitäts- und dämpfungsarmem, paarig verseiltem (twisted pair)-Kabel lassen sich extrem zuverlässige Verbindungen über eine Distanz von bis zu 500m bei gleichzeitig hohen

Übertragungsraten realisieren. Der Einsatz von hochwertigem TP-Kabel vermeidet auf der einen Seite das Übersprechen zwischen den übertragenen Signalen und mindert auf der anderen Seite, zusätzlich zur Wirkung der Abschirmung, die Empfindlichkeit der Übertragungseinrichtung gegen eingestreute Störsignale.

Ein Abschluss des Kabels mit Terminierungs-Netzwerken ist bei RS485-Verbindungen grundsätzlich erforderlich, um in den Zeiten, in denen kein Datensender aktiv ist, auf dem Bussystem den Ruhepegel zu erzwingen.

[...]

Galvanische Trennung

Obwohl für große Entfernungen in industrieller Umgebung bestimmt, zwischen denen Potentialverschiebungen unvermeidbar sind, schreibt die RS485-Norm direkt keine galvanische Trennung vor. Da jedoch die Empfängerbausteine empfindlich auf eine Verschiebung der Massepotentiale reagieren, ist für zuverlässige Installationen eine galvanische Trennung, wie sie von der ISO9549 definiert wird, unbedingt empfehlenswert.

[...]

Polarität der Aderpaare

Bei der Installation muss auf korrekte Polung der Aderpaare geachtet werden, da eine falsche Polung zur Invertierung der Datensignale führt. Besonders bei Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Installation neuer Endgeräte sollte jede Fehlersuche mit der Überprüfung der Buspolarität begonnen werden.

[...]

Messungen an Bussystemen

Differenzmessungen (Messung Bus A gegen B), besonders mit einem Oszilloskop, können nur mit einem vom Massepotential galvanisch getrennten Messgerät durchgeführt werden. Viele Hersteller legen den Bezugspunkt des Messeinganges auf Masse, was bei Messungen an einem RS485-Bus zum Kurzschluss führen kann.“

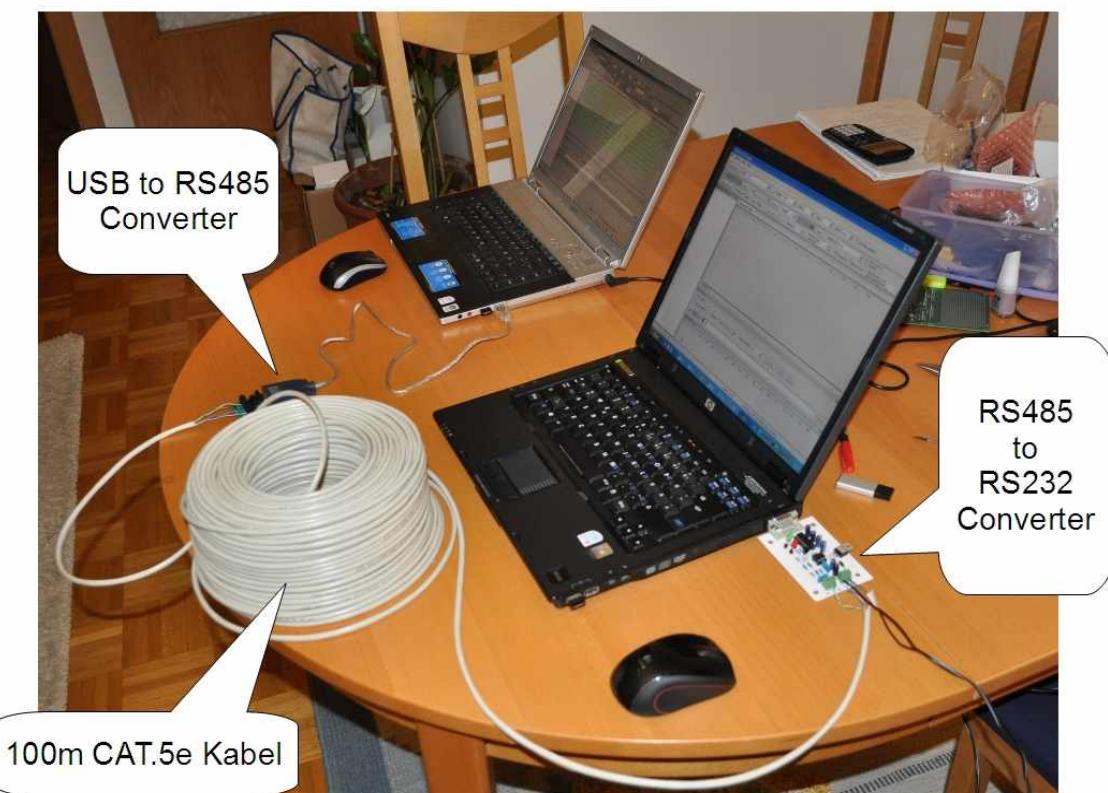
[W&T01 2011]

1.5 Praktische Umsetzung

1.5.1 Maximale Datenrate für 100m CAT.5E Kabel bei RS485

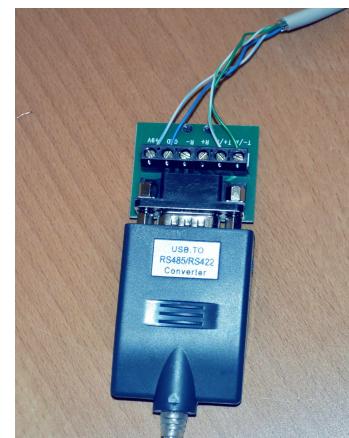
Für die praktische Umsetzung wurde ein handelsübliches 100m langes CAT5-Kabel angeschafft. Des weiteren ein Konverter von USB auf RS485 um zu sehen, ob die Datenübertragung bei dieser Kabellänge noch einwandfrei funktioniert.

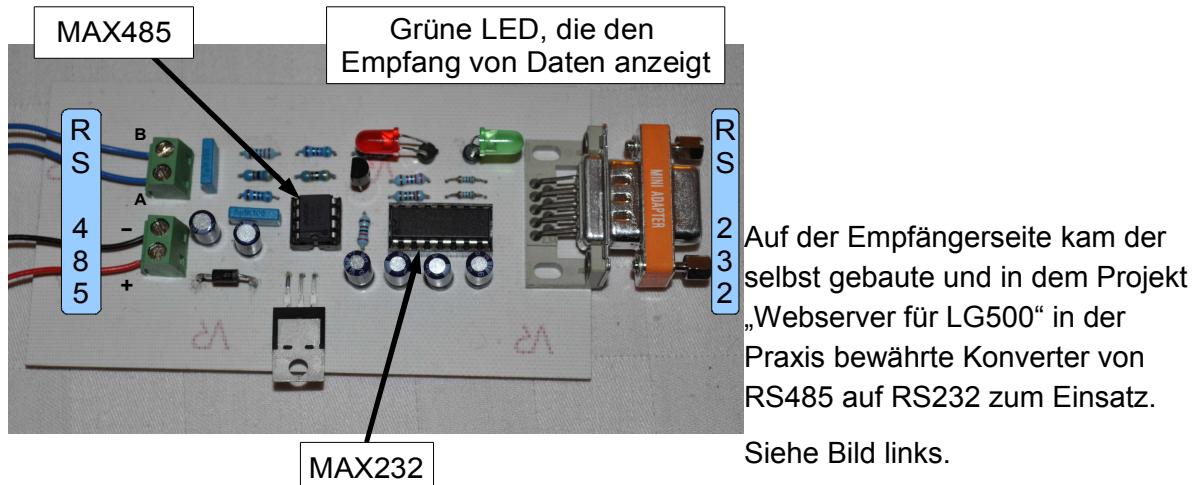
Versuchsaufbau für RS485:



Auf der Senderseite wurde ein Konverter von USB auf RS485 verwendet, da nur auf Empfängerseite eine RS232 Schnittstelle vorhanden war.

Siehe Bild rechts.





Dabei wandelt ein MAX485 Baustein zuerst die RS485-Signale vom differentiellen Signal auf ein TTL-Signal (0V,+5V) um und der MAX232 Baustein hebt das TTL-Signal dann auf RS232-Niveau an und invertiert es, weil bei RS232 eine negative Logik verwendet wird.

Mit dem Programm „Hterm“ wurde die Bitfolge 01001111 hundert mal hintereinander gesendet und das Ergebnis überprüft. Zunächst wurde die Baudrate dabei auf 300 gesetzt und schrittweise erhöht, bis am Bitmuster auf der Seite des Empfängers Fehler auftraten.

Bis zu einer Baudrate von 57600 funktionierte die Übertragung fehlerfrei.

Siehe untenstehendes Bild:

Hterm 0.8.1beta

File Options View Help

Disconnect Port COM18 Baud 57600 Data 8 Stop 1 Parity None CTS Flow control

Rx 1652 Reset Tx 0 Reset Count 0 103 Reset Newline at None Show newline characters

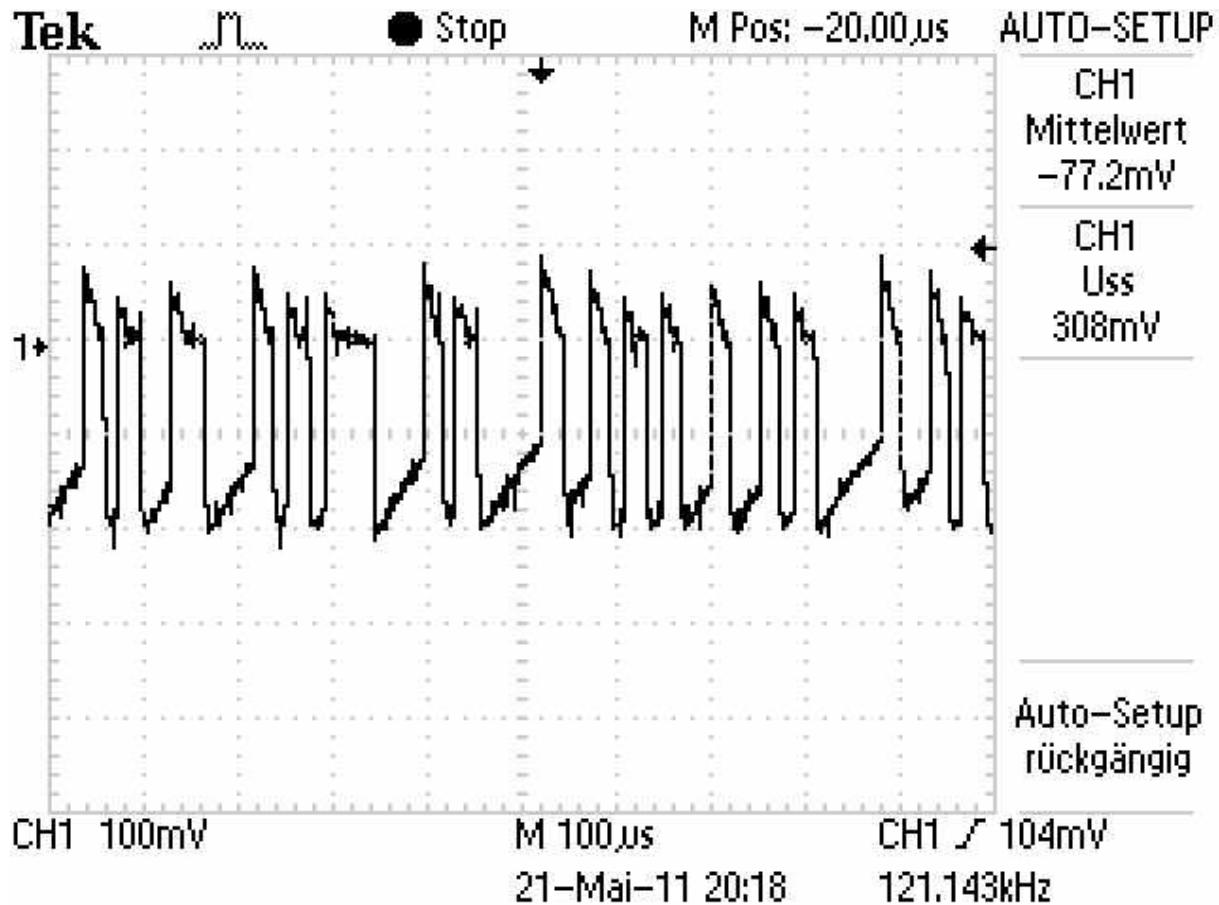
Clear received Ascii Hex Dec Bin Save output Clear at 0 Newline every ... characters Autoscroll Show errors Newline after ... ms receive pause (0=off) 0 CTS DSR RI DCD

Sequence Overview x Received Data

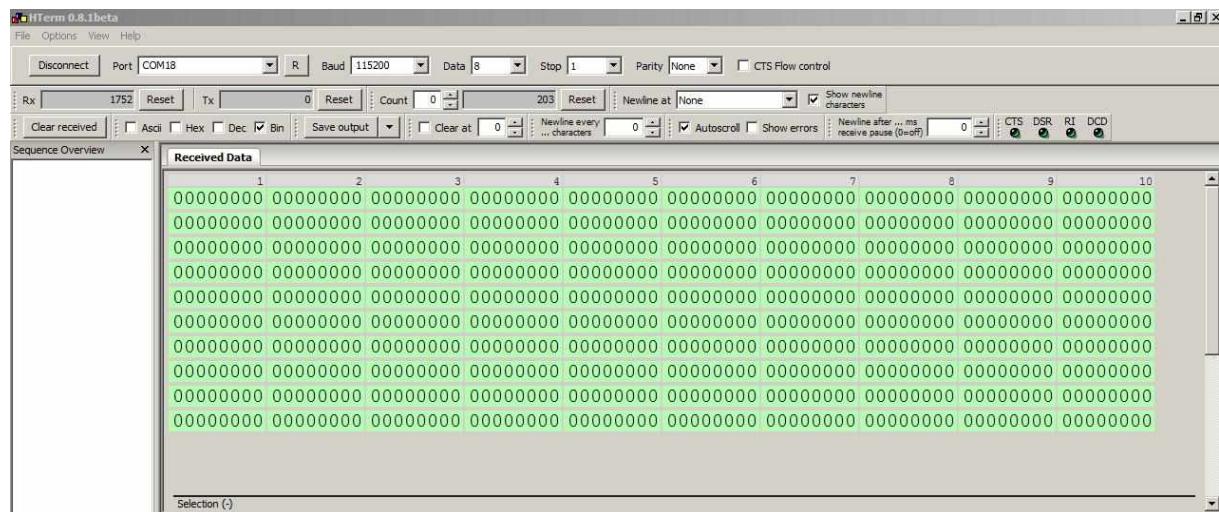
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111
01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111	01001111

Selection < >

Bei der Baudrate von 57600 sieht das Signal empfängerseitig am Oszilloskop folgendermassen aus:

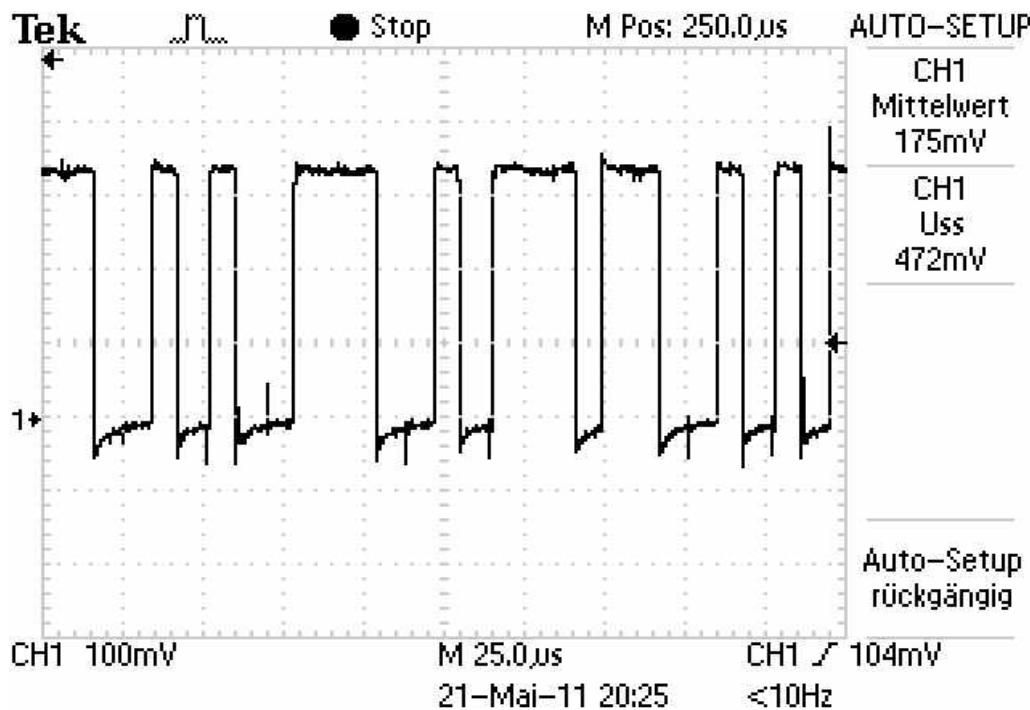


Nach neuerlicher Erhöhung der Datenrate auf 115200 Baud ergab sich folgendes Bild:



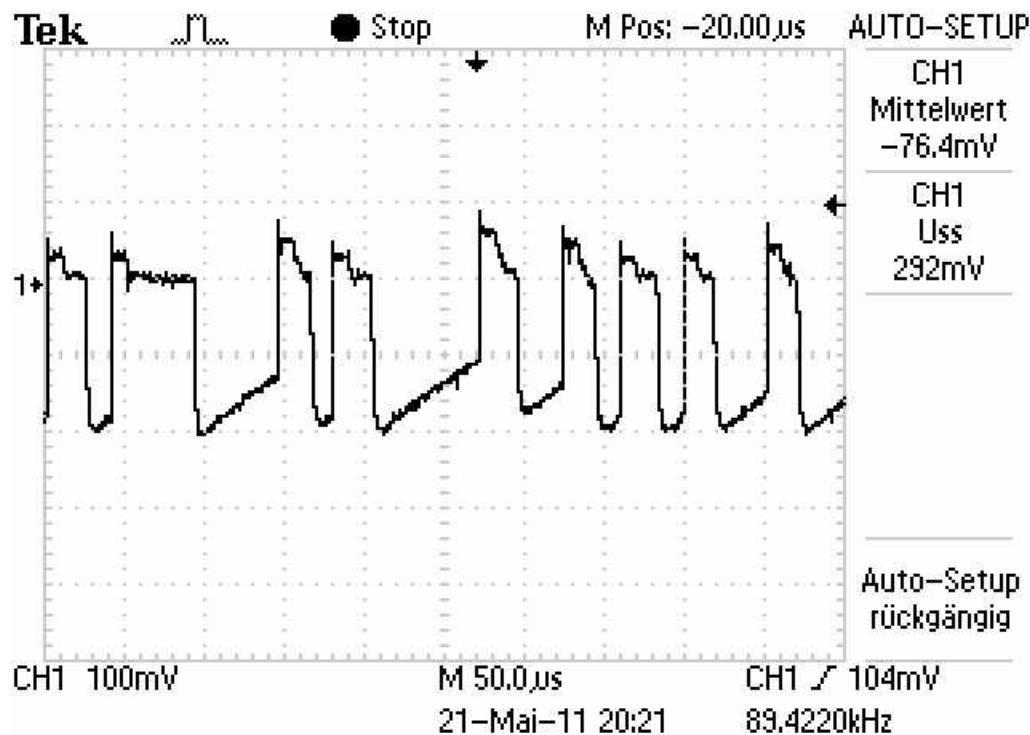
Die gesendete Bitfolge 01001111 wurde nicht mehr richtig erkannt.

Das Oszilloskop zeigt auf der Senderseite folgendes Bild bei der Baudrate von 115200:



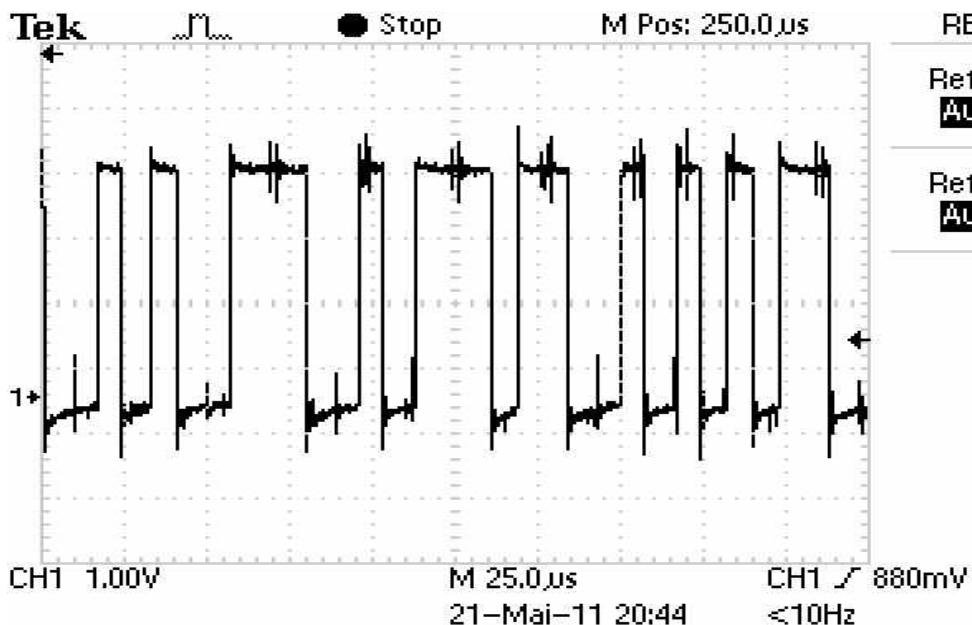
Das Signal ist noch einigermaßen gut erkennbar und wird noch relativ sauber generiert.

Nach Durchlaufen des 100m langen CAT.5e Kabels sieht das Bild wie folgt aus:

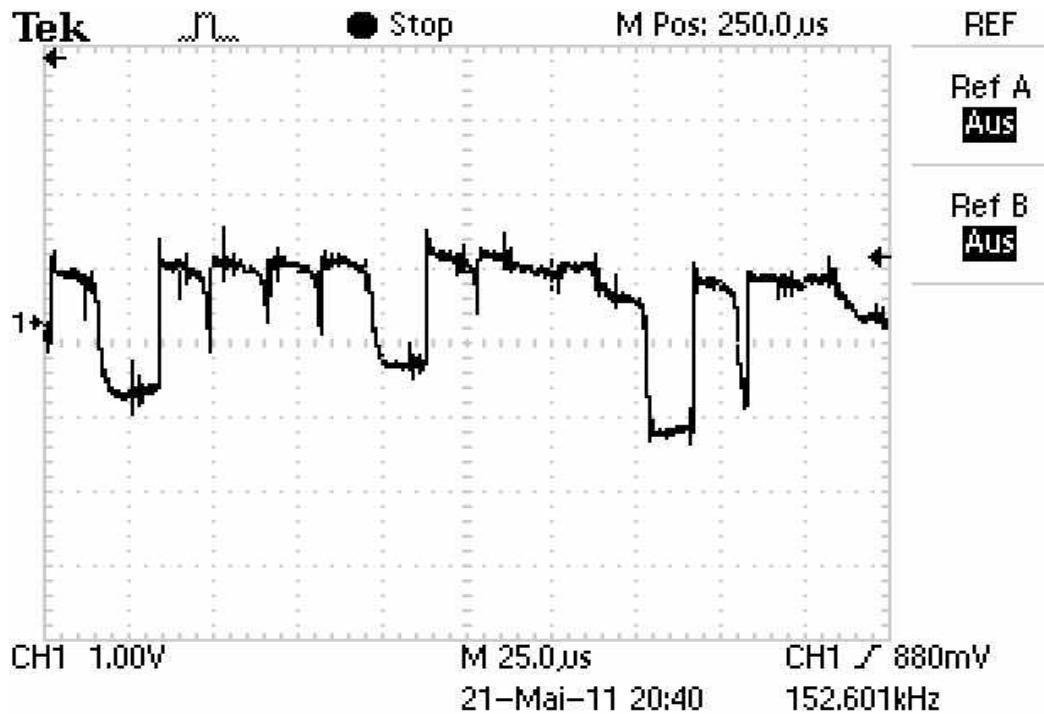


Es ist deutlich zu sehen, dass das Signal merklich abgeschwächt und verzerrt wurde. Für eine Umwandlung auf ein RS232-Signal und anschließende eindeutige Erkennung ist dieses Signal nicht mehr brauchbar.

Bei der Baudrate von 128000 Baud zeichnete sich schon senderseitig ein nicht mehr sauberes Signal ab:



Auf der Empfängerseite nach Durchlaufen des 100m CAT.5e Kabels zeigte sich folgendes Bild:

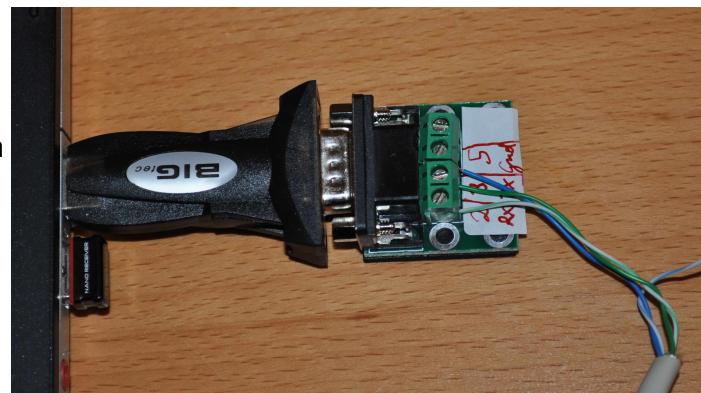


Die maximale Datenrate für fehlerfreie Übertragung bei Verwendung eines 100m langen CAT.5e Kabel bei RS485 Datenübertragung beträgt also bei diesem Versuchsaufbau 57600 Baud.

1.5.2 Maximale Datenrate für ein 100m langes CAT.5e Kabel bei RS232

Eines der verdrillten Leitungspaare wurde an einem 9-Poligen SUB-D-Stecker an Pin 2 (Rx) und Pin 3 (Tx) und eine weitere beliebige Leitung an Pin 5 (Masse) angeklemmt. Auf der Empfängerseite kam mangels RS232-Schnittstelle ein USB-Konverter von BIG-Tec zum Einsatz.

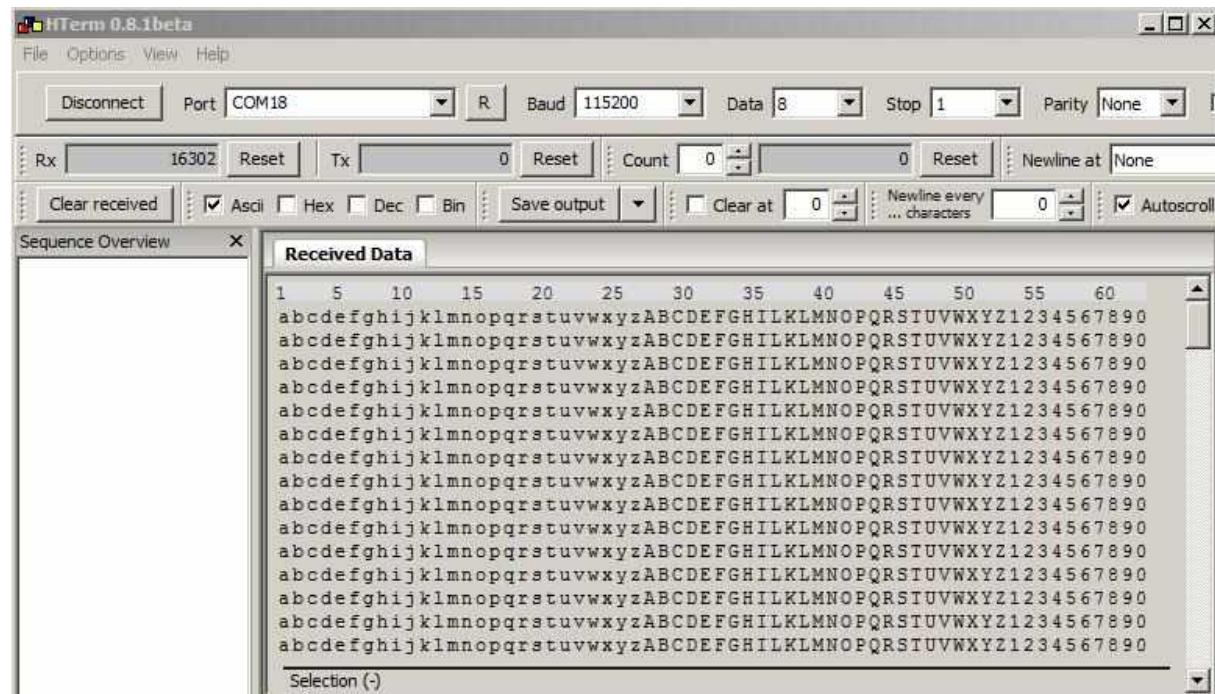
Siehe Bild rechts:



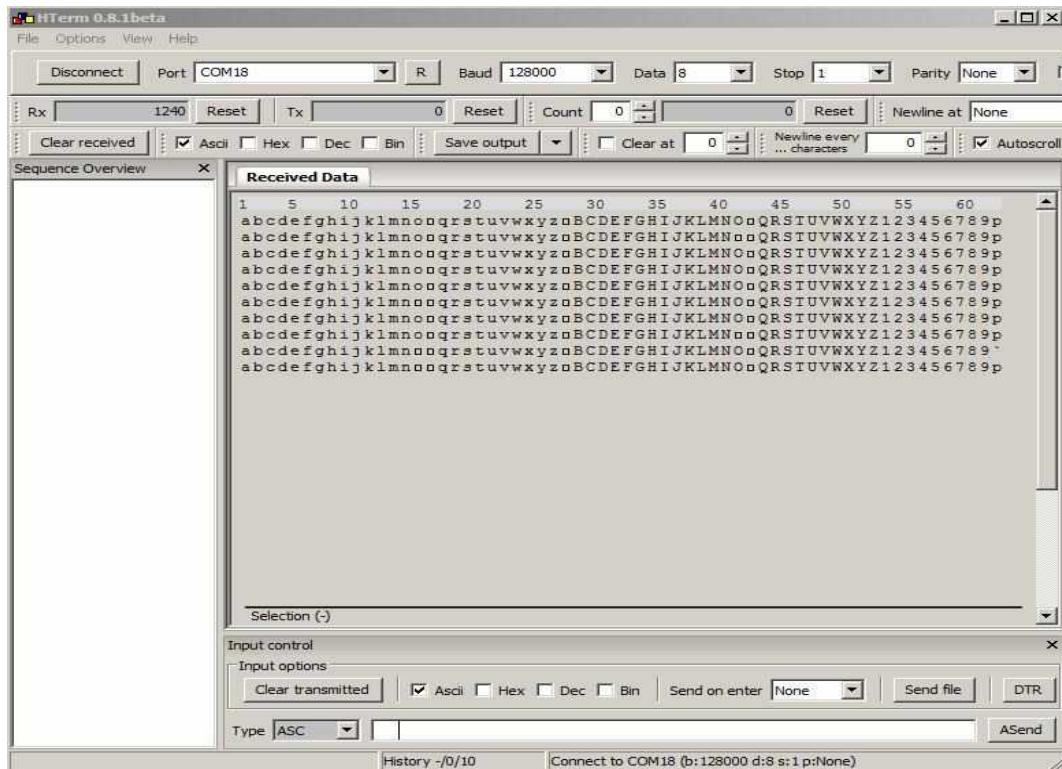
Wieder wurde mit dem Programm „Hterm“ gearbeitet. Diesmal wurden 62 ASCII Zeichen 10 mal hintereinander gesendet. Wieder wurde die Datenrate schrittweise erhöht und das Ergebnis auf Empfängerseite begutachtet.

Bei einer Baudrate von 115200 Bits/s funktionierte die Übertragung noch fehlerfrei.

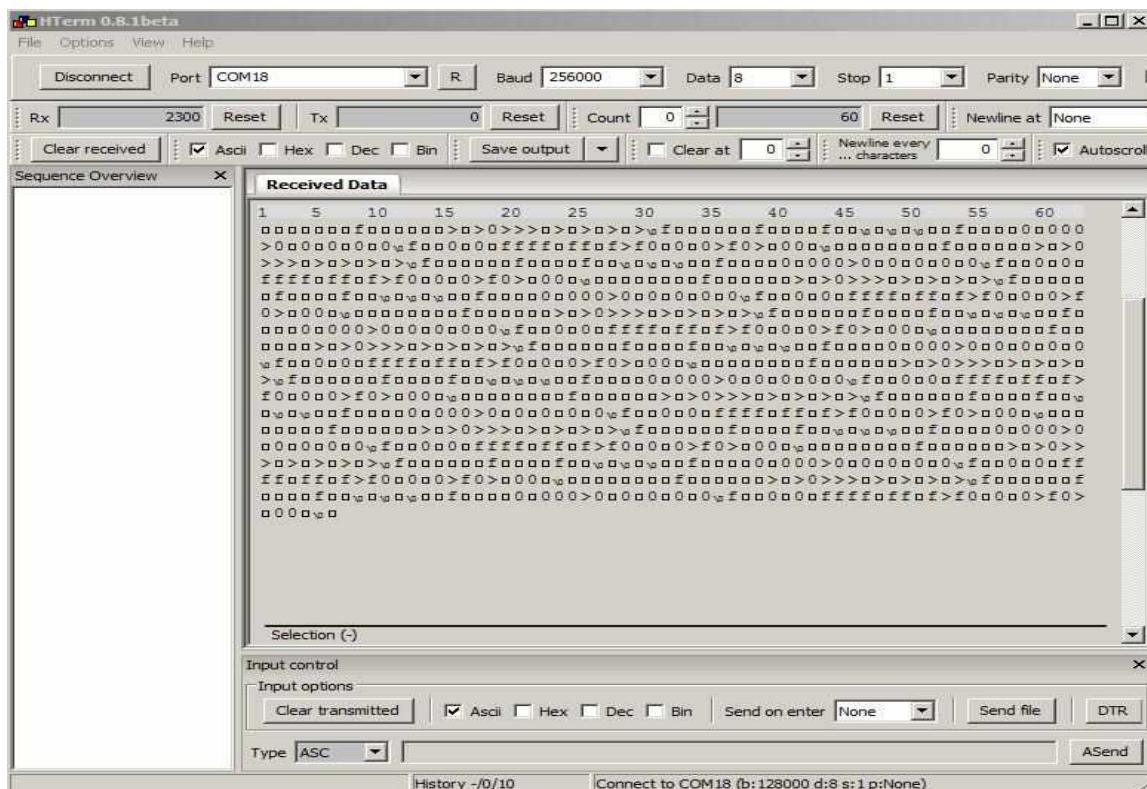
Siehe untenstehendes Bild:



Bei einer Baudrate von 128000 traten bei bestimmten Bit-Kombinationen Fehler in der Erkennung auf Empfängerseite auf, sodass man nicht mehr von einer fehlerfreien Datenübertragung sprechen konnte. (Bild nächste Seite)



Bei der nächsthöheren Baudrate von 256000 wurde dann kein Zeichen mehr richtig erkannt.
Siehe untenstehendes Bild:

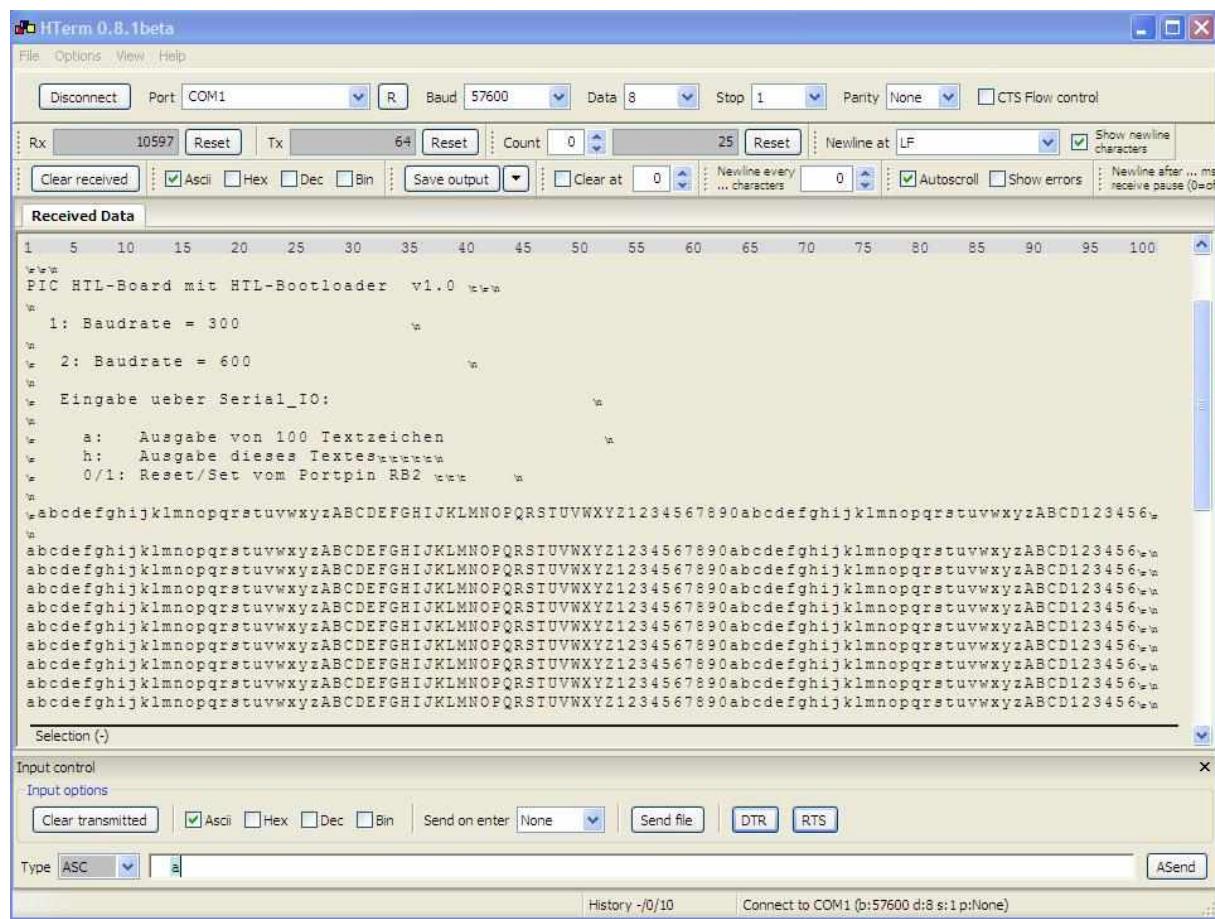


1.5.3 Maximale Datenrate vom HTL-PIC-Board mit dem PIC-18f4550

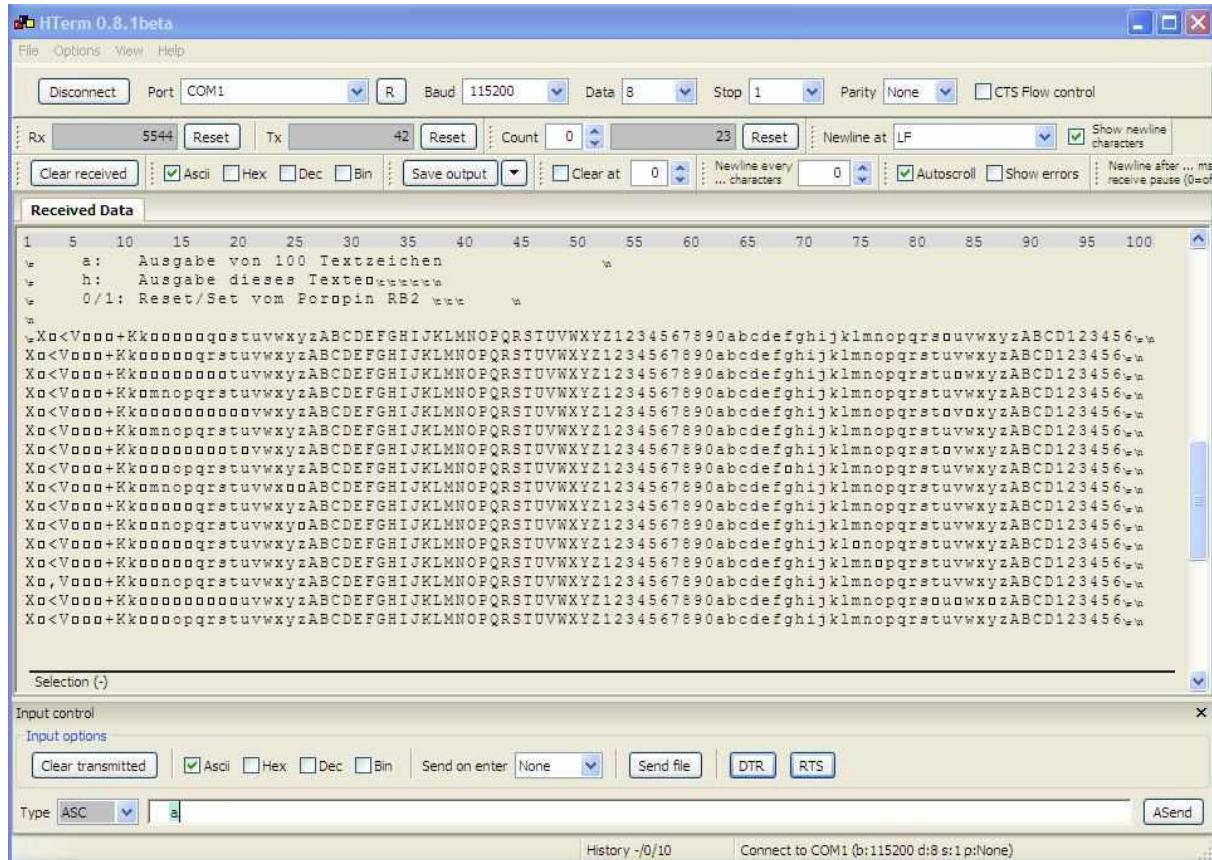
Hierzu wurde das 100m lange CAT.5e Kabel wieder an 9-Polige Sub-D-Stecker angeklemmt. Dabei wurden Pin3 und Pin4 ausgekreuzt.

Dann habe ich ein Programm geschrieben, mit dem man durch senden eines Zeichens an das PIC-Board einen Sendevorgang vom PIC-Board zurück an den Laptop auslösen konnte. Ein Sendevorgang zurück an den Laptop beinhaltete dabei 100 Zeichen. Diesen Rücksendeauftrag habe ich dann 10 mal in Folge auslösen lassen, sodass 1000 Zeichen für eine Beurteilung übertragen wurden. Wieder habe ich schrittweise die Baudrate erhöht und das jeweilige Ergebnis begutachtet.

Bei einer Baudrate von 57600 funktionierte die Übertragung noch fehlerfrei. Siehe Bild unten.



Bei einer Baudrate von 115200 traten wieder bei bestimmten Zeichen Fehler auf der Empfängerseite auf. Siehe nachfolgendes Bild.



Eine weitere Erhöhung der Datenrate erbrachte kein verwertbares Ergebnis mehr.

Da jedoch auch der Austausch des Kabels durch ein herkömmliches 3m langes RS232-Kabel keine Verbesserung der Situation brachte, liegt die Vermutung nahe, dass das Kabel nicht die Ursache der Übertragungsprobleme war.

Da das Senden und Empfangen von Daten von einem Laptop zum Anderen mit „Hterm“ jedoch auch mit 115200 Baud noch fehlerfrei funktioniert hatte, liegt die Vermutung nahe, dass das HTL-PIC-Board mit dem PIC-18f4550 bei dieser Datenrate Probleme hat.

1.5.4 Elektrische Eigenschaften des CAT.5e Kabels.

Zunächst wurde der Ohmsche Widerstand der Messleitungen und Kontakte des Messgerätes mit ca. $3,4 \Omega$ gemessen. Anschließend wurden 2 der verdrillten Leitungen des 100m langen CAT.5e-Kabels an einem Ende kurz geschlossen. Dann wurde durch Messen der Gesamtwiderstand mit $29,5 \Omega$ bestimmt. Nach Abzug des Widerstandes der Messleitungen und Kontakte ergab das ein Widerstand für 200m von $26,1\Omega$ für die Leitung.

Bzw. $13,05\Omega$ für 100m CAT.5e Leitung. Die Kapazitätsmessung ergab mit dem BM857 Messgerät einen nicht mehr messbar geringen Wert.

Aus dem Datenblatt eines Cat.5e Kabels wurden folgende Werte entnommen:

Elektrische Eigenschaften		Bei 20°C
Ohmscher Kurzschluss Widerstand		$\leq 188 \Omega/\text{km}$
Widerstands Ungleichgewicht		< 2%
Charakteristische impedanz		1 - 100MHz $100 \pm 15 \Omega$
Isolationswiderstand	(500V)	$\geq 5000 \text{ M}\Omega\text{xkm}$
Kapazität	bei 800 Hz	Nominal 52 nF/km
Kapazitäts-Ungleichgewicht	Adernpaar gegenüber Masse	Nominal < 300 pF/km
Nominal charakteristische Impedanz	bei 100 MHz	$100 \pm 5 \Omega$
Nominale Ausbreitungsgeschwindigkeit		0,64 c
Ausbreitungsverzögerung	bei 100MHz	Nominal 530 ns/100m
Verzögerungs- Asymmetrie	< 100 MHz	Nominal < 20 ns/100 m
Einkopplungsdämpfung		$\geq 40 \text{ dB}$

[Draka 2009]

Aus dem Datenblatt für ein CAT.5E Kabel wurden folgende Werte übernommen:

Nominal Transmission characteristics at 20°C									
F (MHZ)	Attenuation (dB/100m)	NEXT (dB)	ACR (dB/100m)	Returnloss (dB)	PS-NEXT (dB)	PS-ACR (dB/100m)	ELFEXT (dB/100m)	PS-ELFEXT (dB/100m)	
1	1,8	77	75	-	74	72	75	72	
4	3,6	70	66	27	67	63	62	59	
10	6,0	65	59	30	62	56	56	53	
16	7,6	64	56	30	61	53	52	49	
20	8,6	62	53	30	59	50	50	47	
31,25	11,0	59	48	30	56	45	47	44	
62,50	16,0	55	39	30	52	36	43	40	
100	20,7	48	27	25	45	24	38	35	
125	23,8	48	24	25	45	21	36	33	
175	28,8	45	16	24	42	13	30	27	
200	31,2	40	9	23	37	6	25	22	

[Draka 2009]

"

Dämpfung	Verringerung der Amplitude
Länge	Länge der Übertragungsstrecke
DC-Widerstand	Ohmscher Widerstand
NEXT	(near end crosstalk) Nahübersprechen
FEXT	(far end crosstalk) Fernübersprechen
ELFEXT	(equal level far end crosstalk) Verhältnis des übersprechenden Ausgangspegels zum eigentlichen Ausgangspegel
ACR	(Attenuation To Crosstalk Ratio) Dämpfung-Übersprech-Verhältnis
powersum NEXT	Leistungssumme des Nahübersprechens
powersum ELFEXT	Leistungssumme der elektromagnetische Koppelung am entfernten Kabelende
powersum ACR	Leistungssumme des Dämpfung-Übersprech-Verhältnis
Return Loss	Rückflussdämpfung
NVP	(nominal velocity of propagation) verzögerte Signallaufzeit gegenüber der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
Propagation Delay	Signallaufzeit
Delay Skew	Signallaufzeitunterschied auf verschiedenen Aderpaaren

"

[wiki04 2011]

1.6 Ergebnisse

Durch die Kombination von Konvertern auf die jeweiligen Datenübertragungsarten und EDV-Geräten (Laptops) ergeben sich für ein 100m langes CAT.5e Kabel für die getesteten Arten der Datenübertragung folgende maximale Baudraten für noch fehlerfreie Übertragung:

	RS232	RS 232 mit HTL-PIC Board	RS 485
100m	Max. 115200 Baud	Max. 57600 Baud	Max. 57600 Baud
1m	Max. 115200 Baud	Max. 57600 Baud	Max. 115200 Baud

1.7 Schlussfolgerung

Das im Vergleich zu anderen Verkabelungsvarianten für die Übertragung von RS232, sowie für RS485 preislich günstige CAT.5e-Kabel ist für Übertragungsstrecken bis 100m bestens geeignet. Sofern die maximalen ermittelten Datenraten aus dem Kapitel 1.6 eingehalten werden.

In der Praxis ist es jedoch auf Grund der Störanfälligkeit der RS232-Datenübertragung nicht empfehlenswert, diese für Übertragungsstrecken über 5 m einzusetzen.

Da beim Webserver für das LG500 eine Baudrate von 19200 und eine RS485 Datenübertragung eingesetzt wird, ist die Verwendung dieses Kabels für Übertragungsstrecken bis 100m somit für den Praxiseinsatz zu empfehlen.

Dies deckt sich auch mit der Auskunft von Herrn Dipl.Ing. Senicar von der Firma Hermes Electronic, der die Steuerung des LG 500 entwickelt hat.

1.8 Arbeitsnachweis Diplomarbeit

Robert Stocker			
Datum	Uhrzeit	Beschreibung	Außerhalb des Unterrichts
25.09.2010	14:00-20.00	Recherche USB	06:00
02.10.2010	15:00-21.00	Nachforschung USB-Geräte	06:00
09.10.2010	14:00-20.00	Recherche RS232	06:00
16.10.2010	14:00-20.00	Studium RS485	06:00
23.10.2010	15:00-21.00	Recherche Konvertierung USB, RS232	06:00
30.10.2010	14:00-20.00	Studium Konvertierung RS232 USB	06:00
06.11.2010	14:00-20.00	Recherche Konvertierung USB, RS485	06:00
13.11.2010	14:00-20.00	Nachforschung Konvertierung RS485, USB	06:00
20.11.2010	15:00-21.00	Internetrecherche Konvertierung RS232, RS485	06:00
27.11.2010	14:00-20.00	Recherche Konvertierung RS485, RS232,	06:00
04.12.2010	14:00-20.00	Auswahl und Kauf diverser Konverter (USB, RS232, RS485)	06:00
22.01.2011	14:00-20.00	Recherche geeignete Übertragungsmedien	06:00
29.01.2011	15:00-21.00	Auswahl und Bestellung geeigneter Kabel	06:00
05.02.2011	14:00-20.00	Studium diverser Konverterbausteine für RS232 nach RS485	06:00
26.02.2011	14:00-20.00	Nachforschung diverser Konverterbausteine für RS485 nach RS232	06:00
05.03.2011	14:00-20.00	Versuchsaufbau für RS485 Messungen	06:00
12.03.2011	14:00-20.00	Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse	06:00
19.03.2011	14:00-20.00	Versuchsaufbau für RS232 Messungen	06:00
26.03.2011	14:00-20.00	Auswertung und Dokumentation der Messergebnisse	06:00
02.04.2011	15:00-21.00	Programmierung PIC-18f4550 für Versuchsaufbau	06:00
16.04.2011	14:00-20.00	Versuchsaufbau für RS232 Messung mit HTL-PIC-Board	06:00
30.04.2011	15:00-21.00	Dokumentation der Messungen	06:00
01.05.2011	14:00-20.00	Verifizierung der Ergebnisse durch Recherche	06:00
07.05.2011	15:00-21.00	Dokumentation	06:00
SUMME			144:00:00

Gesamtaufwand außerhalb der Unterrichtszeit für Stocker Robert: 144 Stunden

2 Literaturverzeichnis

2.1 Literatur zu Anhang A: Protokolle zur Datenübertragung bei Bussystemen

[wiki01 2011] http://de.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus

[wiki02 2011] <http://de.wikipedia.org/wiki/RS-232>

[wiki03 2011] <http://de.wikipedia.org/wiki/EIA-485>

[W&T01 2011]<http://www.wut.de/e-6www-11-apde-000.php>

[wiki04 2011] <http://de.wikipedia.org/wiki/Twisted-Pair-Kabel>

[Draka 2009]

http://communications.draka.com/sites/eu/Datasheets/SuperCat5_24_U_UTP_Install.pdf