

8. Serielle Schnittstelle

8.1. Grundlagen

Die serielle Schnittstelle (RS-232- bzw. V.24-Schnittstelle, COM-Port) ist ein bitserielles asynchrones Interface für Ein- und Ausgabezwecke. Je Richtung ist eine Datenleitung vorgesehen. Beide Datenleitungen werden durch einige Steuerleitungen ergänzt. Es werden einzelne Zeichen übertragen (Start-Stop-Verfahren).

8.1.1. Zweckbestimmung

Über serielle Schnittstellen ist eine Vielzahl von Geräten anschließbar. Das betrifft vorzugsweise Modems, Drucker, Bildschirmterminals, Digitalisiertabletts, Mäuse usw., aber auch andere Computer. Als Geräte-Interface hat RS-232 einige bedeutsame Vorteile:

- Robustheit (Störsicherheit, Kurzschlußsicherheit),
- Einfachheit der Signalprotokolle. Es geht nur darum, einzelne Zeichen hin- und herzuschicken. Auf dieser Grundlage kann man beliebige Übertragungsprotokolle selbst definieren (vgl. demgegenüber die vielen Software-Schichten z. B. beim USB).
- Unterstützung durch alle gängigen Systemplattformen (DOS, Windows, Unix/Linux usw.),
- Unterstützung durch praktisch alle Systemarchitekturen außerhalb des PC-Bereichs (vom Mikrocontroller bis zum Mainframe),
- die typischen Anwendungsprogrammschnittstellen erlauben Durchgriff bis auf die Hardware - es gibt Funktionsaufrufe, deren Wirkung dem direkten E-A-Zugriff auf den Steuerschaltkreis entspricht^{*)}. Anwendungsprogrammschnittstellen gibt es in nahezu allen Entwicklungsumgebungen^{**)}.
- vergleichsweise wenige Leitungen. Im PC-Bereich umfaßt die typische RS-232-Verbindung maximal neun Leitungen. Im Extremfall genügt ein Kabel mit nur drei Leitungen.
- vergleichsweise große zulässige Leitungslängen (typischerweise 15..30 m, ggf. mehr).

^{*)}: Gegenbeispiel: einem Windows-Anwendungsprogrammierer ist es nicht möglich, die ATA-Schnittstelle direkt zu beeinflussen.

^{**)}: sie fehlen gelegentlich in manchen Einstiegsversionen (Beispiel: Microsoft Visual Basic).

Typische Einsatzfälle:

- das Anschließen von Modems (dafür wurde RS-232 ursprünglich entwickelt),
- das Anschließen von x-beliebigen Geräten an PCs (Bildschirm-Terminals, Digitalisiertabletts, Drucker, Digitalkameras, Meßgeräte usw.),
- die direkte Kopplung zweier PCs zwecks Datenaustausch (PC-Direktverbindung).

8.1.2. Zur Entwicklungsgeschichte

Schnittstellen gemäß RS-232 bzw. V.24 sind seit vielen Jahren bekannt. Die Standards wurden ursprünglich für die Datenfernübertragung (vor allem über das Telefonnetz) geschaffen. Abbildung 8.1 veranschaulicht diesen Einsatzfall.

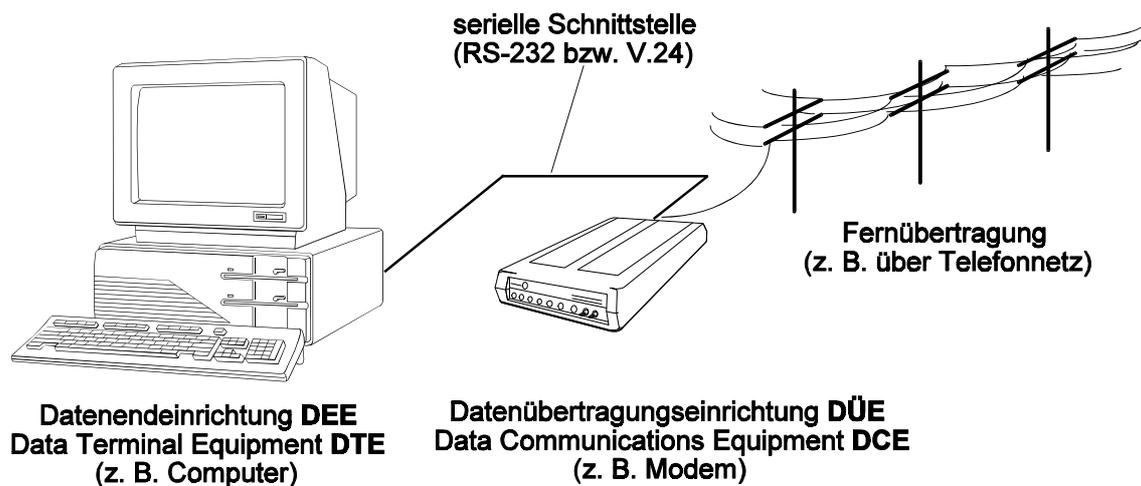


Abbildung 8.1 RS-232 als Interface zwischen DTE und DCE

Erklärung:

Es geht um die Datenübertragung über Fernleitungen, beispielsweise zwischen einem Computer und einem entfernt aufgestellten Bildschirm-Terminal oder auch zwischen zwei Computern. Diese Einrichtungen heißen allgemein Datenendeinrichtungen (DEE) oder Data Terminal Equipment (DTE). Das Anschalten an Fernleitungen (zumeist im Rahmen öffentlicher Kommunikationsnetze) erfordert entsprechende Hardware. Derartige Einrichtungen (z. B. Modems) bezeichnet man allgemein als Datenübertragungseinrichtungen (DÜE) oder Data Communication Equipment (DCE). Die serielle Schnittstelle gemäß RS-232 ist seinerzeit entwickelt worden, um die Datenübertragungseinrichtung mit der Datenendeinrichtung zu verbinden. Die Signalbezeichnungen weisen heute noch auf diesen Verwendungszweck hin.

Standards

Die serielle Schnittstelle ist in verschiedenen Standards dokumentiert. Im PC-Bereich wird lediglich eine Untermenge der standardgemäßen Schnittstellendefinitionen genutzt^{*)}. In der Praxis sind nicht alle Standards gleichermaßen wichtig. Wir brauchen an sich nur den Standard *RS-232*, *nicht* den Standard *V.24*. *RS-232* ist für die elektrische Seite zuständig, *V.24* für die funktionelle. Die elektrische Spezifikation gemäß ITU steht im Standard *V.28*. Tabelle 8.1 gibt einen Überblick über den Entwicklungsweg des Standards *RS-232*. In der Servicepraxis können wir uns auf *EIA/TIA-232E/F* beschränken.

^{*)}: maximal 8 von insgesamt 24 Signalleitungen (Abschnitt 8.3.6.).

Bezeichnung	erste Ausgabe	zum Inhalt
EIA RS-232	1962	der erste Standard
EIA-232C	1969	maximale Kabellänge: 15 m. Gleichartig: DIN 66 020
EIA-232D	1986	Kabellänge abhängig von Kabelkapazität, Treiberstrom und Datenrate
EIA/TIA-232E	1992	Angleichung an ITU V.24 und V.28 sowie an ISO IS2110
TIA-232F	1997	Änderungen in Einzelheiten der Kennwerte und Signalprotokolle

Erklärung der Abkürzungen: RS = Recommended Standard, EIA = Electronic Industries Association, TIA = Telecommunication Industry Association, ITU =International Telecommunication Union

Tabelle 8.1 RS-232-Standards im Überblick

Weitere Standards:

EIA-562

Dieser Standard betrifft stromsparende Geräte und sieht serielle Schnittstellen vor, die sendeseitig typischerweise ± 5 V abgeben. Maximalstrom: 5 mA. Dabei sind Datenraten bis zu 64 kBits/s möglich.

EIA/TIA-574

Dieser Standard beschreibt die PC-typische Ausführung der Schnittstelle mit ihren 9 Leitungen und den 9-poligen Steckverbindern.

RS-422, RS-485

Diese Standards betreffen die differentielle Signalübertragung über paarweise verdrehte Leitungen (beträchtlich höhere Störsicherheit, Kabellängen bis zu 1,2 km). Näheres in Abschnitt 8.6.5. Einsatzbeispiel: die seriellen Schnittstellen der älteren Macintosh-Computer waren gemäß RS-422 ausgelegt.

8.1.3. Betriebsarten

Gerätetypen und deren Zusammenschaltung

PCs sind üblicherweise als Dateneneinrichtung (DTE) konfiguriert, Modems als Datenübertragungseinrichtung (DCE). Drucker und andere periphere Geräte sind hingegen zumeist wiederum Dateneneinrichtungen (DTE). Manche Geräte sind zwischen beiden Betriebsweisen (DTE/DCE) umschaltbar.

Direktverbindungen (Nullmodemverbindungen)

Es ist möglich, zwei Dateneneinrichtungen über die serielle Schnittstelle direkt - also ohne zwischengeschaltete Modems - miteinander zu verbinden. Das erfordert eine besondere Verschaltung der Signalleitungen (Nullmodemkabel; Abschnitt 8.3.1.3.).

Typische Anschlußbeispiele:

- Modem: Modems sind Datenübertragungseinrichtungen (DCEs). Wir brauchen also ein 1:1- bzw. DTE-DCE-Kabel (Gerätekabel; Abschnitt 8.3.1.2.).
- andere Geräte: Die meisten Geräte (z. B. Drucker) sind Datenendeinrichtungen. Weshalb? - um sie auf einfachste Weise an ein Modem anschließen zu können. Hierdurch lassen sich die Gerätefunktionen aus der Ferne ansprechen (Beispiel: Drucken über Fernzugriff). Hierzu brauchen wir ein Gerätekabel (DTE-DCE). Zum Anschluß an den PC ist hingegen ein Nullmodemkabel erforderlich (DTE-DTE).

8.1.4. Aufbau und Wirkungsweise

Programmschnittstelle und Interface

Wirklich standardisiert ist nur das Interface. Die Programmschnittstellen hingegen entsprechen Industriestandards, die durch die typischen Steuerschaltkreise (UARTs) festgelegt sind (Abbildungen 8.2, 8.3). Zum Fachbegriff: UART = Universal Asynchronous Receiver/Transmitter. Eine gelegentlich verwendete andere Bezeichnung: ACE = Asynchronous Communications Element. Abschnitt 8.4. enthält einen Überblick über typische UART-Schaltkreise.

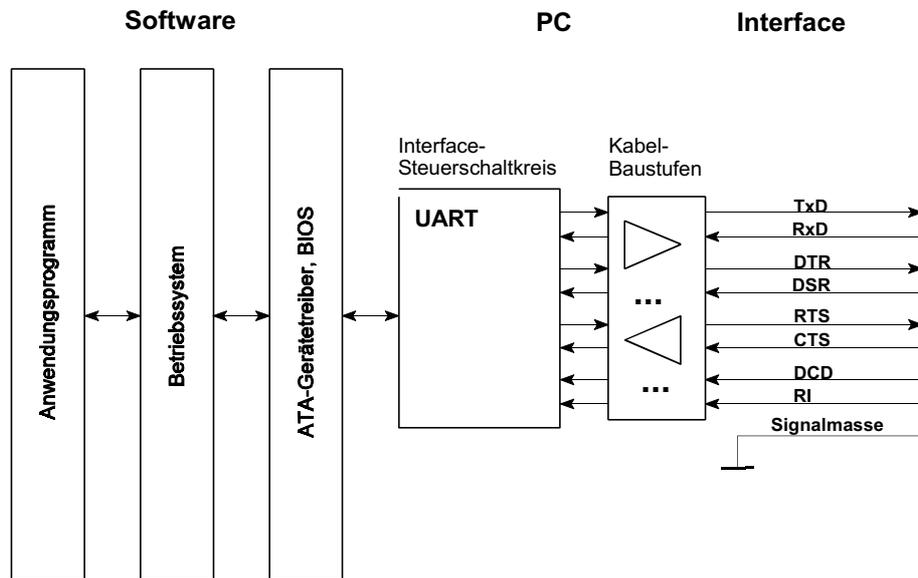


Abbildung 8.2 Programmschnittstelle und Interface

Erklärung:

Um die Schnittstelle anzusprechen, ruft das Anwendungsprogramm das Betriebssystem. Dieses greift seinerseits auf entsprechende Gerätetreiber (und erforderlichenfalls auf das BIOS) zurück. Die eigentliche Schnittstelle zwischen Soft- und Hardware ist ein Registersatz, der über den E-A-Adreßraum zugänglich ist. Zudem kann die Schnittstellensteuerung Interrupts auslösen. Die zeichenweise Informationsübertragung muß vom Prozessor mittels Software organisiert werden, das Übertragen der einzelnen Bits übernimmt hingegen der Steuerschaltkreis.

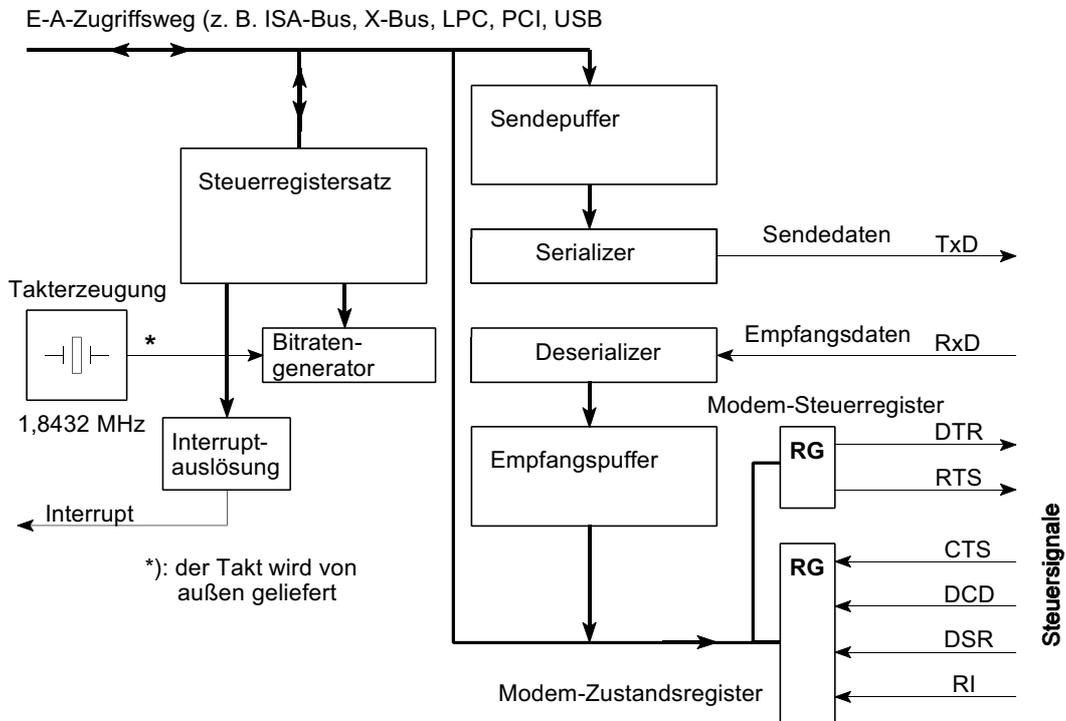


Abbildung 8.3 Ein Schnittstellensteuerschaltkreis (UART) im Überblick

Moderne PCs haben hochintegrierte Motherboard-Steuerschaltkreise mit eingebauten UARTs (Super-I/O-Schaltkreise). Wegen der Signalpegel des Interfaces sind besondere Kabelbaustufen (Treiber und Empfänger) erforderlich (sie sind heutzutage typischerweise in einem einzigen Schaltkreis zusammengefaßt).

Serielle asynchrone Informationsübertragung nach dem Start-Stop-Verfahren

„Asynchron“ bedeutet, daß jedes Zeichen für sich übertragen wird. Bezogen auf die Folge der einzelnen Bits ist die Übertragung aber keineswegs asynchron. Vielmehr muß der Übertragung ein festes Zeitraster (Übertragungsrates) zugrunde liegen. Die einzelnen zu übertragenden Zeichen werden durch zusätzliche Start- und Stopbits voneinander abgegrenzt. Erkennt der Empfänger ein Startbit, so beginnt er, den ankommenden Datenstrom mit seinem Takt abzutasten. Das Abtasten endet mit dem Empfang des (bzw. der) Stopbits. Danach wartet der Empfänger auf das nächste Startbit. Codierung der Bitfolgen: NRZ. Übertragungsreihenfolge: von der niedrigstwertigen zur höchstwertigen Bitposition (LSB => MSB). Die Abbildungen 8.3 und 8.4 veranschaulichen das Übertragungsverfahren. Tabelle 8.2 nennt wichtige standardgemäße Übertragungsrates.

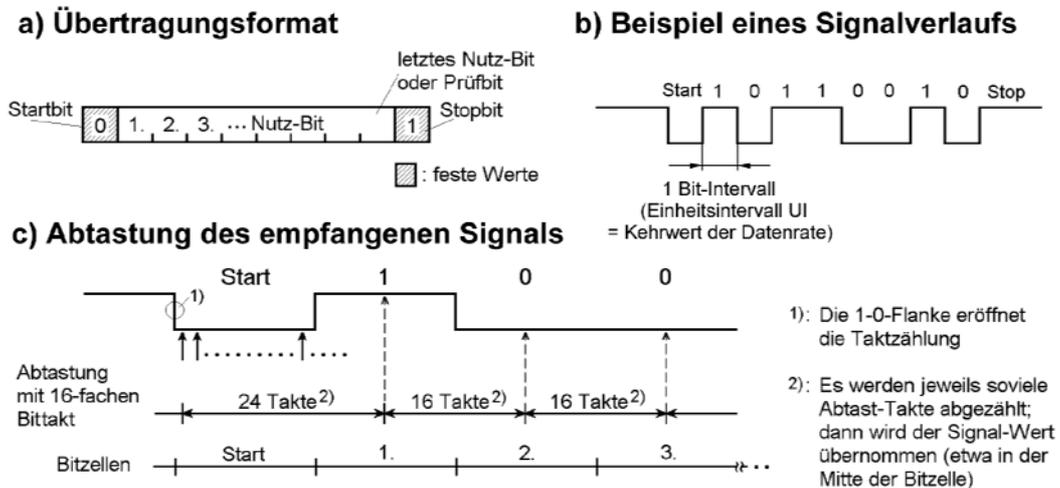


Abbildung 8.4 Signalübertragung nach dem Start-Stop-Verfahren (1). Grundlagen

Erklärung:

Der Ruhezustand wird durch einen Eins-Pegel signalisiert. Die Übertragung eines Zeichens beginnt mit einem Nullbit (Startbit)*). Der erste Eins-Null-Übergang - aus dem Ruhezustand heraus - veranlaßt den Empfänger, mit dem Abtasten des ankommenden Signals zu beginnen. Jede Bitzelle wird mehrmals abgetastet, beispielsweise mit einem Takt, der die 16-fache Frequenz des Bittaktes hat. Trifft der erste Abtastimpuls auf den Eins-Null-Übergang, so hat man nach weiteren 24 solchen Impulsen ziemlich sicher die Mitte der nachfolgenden Bitzelle getroffen (diese enthält das erste Nutz-Bit des übertragenen Zeichens). Mit jeweils 16 Abtastimpulsen Abstand werden dann die weiteren Bitzellen näherungsweise in der Mitte abgetastet. Sind alle Zeichen-Bits (und ggf. ein zusätzliches Paritätsbit) übertragen worden, wird ein Einsbit als Endekennung (Stopbit) erwartet (kommt keine 1, liegt ein Fehler vor**). Daraufhin gelangt der Empfänger in den Ruhezustand und erwartet das nächste Startbit. Es gibt auch Übertragungsformate mit 2 oder mit 1½ Stopbits („1½ Bits“ bedeutet, daß wenigstens 1½ Bitzellen mit High-Pegel belegt werden).

*) diese Signalbelegung (Ruhe = Eins, Start mit Null) stammt aus der Telegraphen- und Fernschreibtechnik.

**): Fachbegriff: Framing Error (vgl. Abschnitt 8.5.).

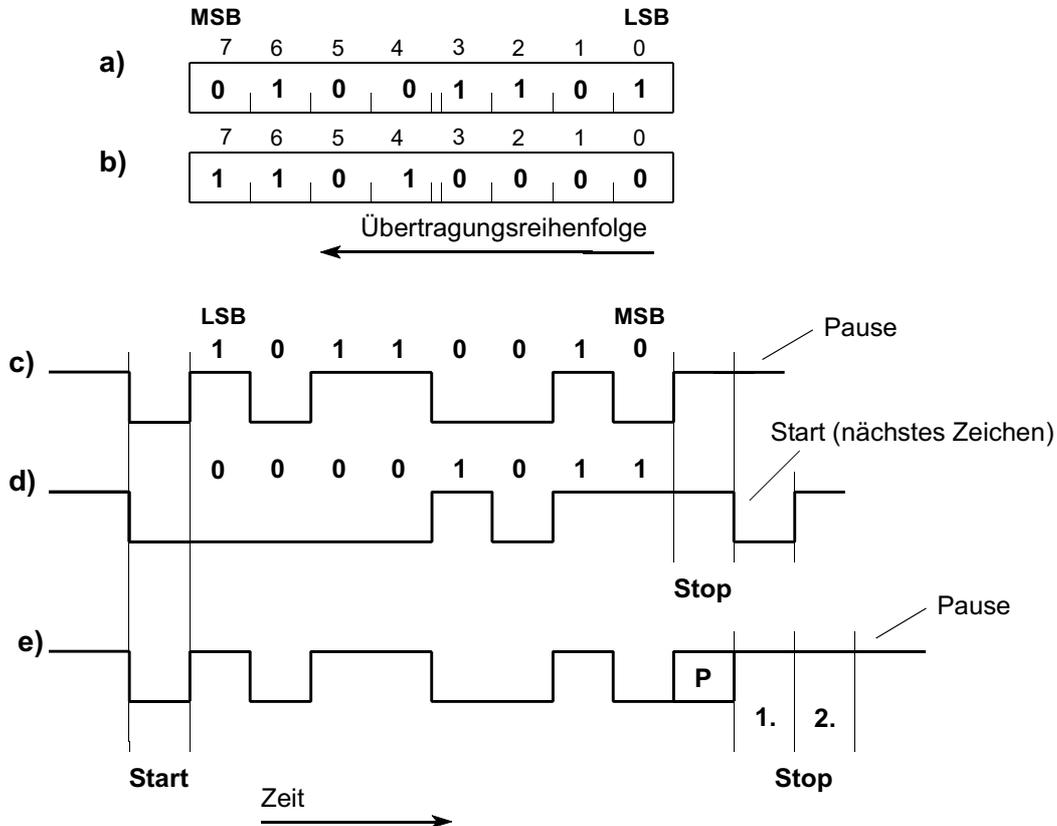


Abbildung 8.5 Signalübertragung nach dem Start-Stop-Verfahren (2). Übertragungsbeispiele

Erklärung:

- a), b) zwei zu übertragende Bytes (Beispiele). Die Übertragung beginnt stets mit dem niedrigstwertigen Bit (LSB).
- c) Übertragung von Byte a). 10-Bit-Format. Keine Parität, 1 Stopbit. Pause nach Übertragung des Zeichens.
- d) Übertragung von Byte b). 10-Bit-Format. Keine Parität, 1 Stopbit. Nach dem Stopbit folgt sofort das Startbit des nächsten Zeichens (schnellste Übertragungsfolge).
- e) Übertragung von Byte a). 12-Bit-Format. Paritätsbit (P), 2 Stopbits. Pause nach Übertragung des Zeichens. Wert des Paritätsbits P hängt von programmseitiger Einstellung im UART ab. Im Beispiel werden 4 Einsen übertragen. Deshalb ist P bei gerader Parität = 0, bei ungerader = 1. (Zur Paritätsprüfung vgl. Abschnitt 8.3.7.1.).

50	75	<u>110</u>	134,5	<u>150</u>	200	<u>300</u>
<u>600</u>	<u>1200</u>	1800	2000	<u>2400</u>	3600	<u>4800</u>
7200	<u>9600</u>	14400	<u>19200</u>	38400	57600	115200

Tabelle 8.2 Gängige Übertragungsraten (in Bits/s). Die unterstrichenen Werte werden vom

DOS-Kommando MODE COM unterstützt

Übertragungsrate, Bitrate, Baudrate

Wenn es um die serielle Schnittstelle an sich geht^{*)}, bedeuten alle drei Begriffe üblicherweise das gleiche (da es sich um eine zweiwertige Übertragung handelt, gilt hier 1 Bit/s = 1 Baud). Sowohl die sendende als auch die empfangende Einrichtung müssen auf die gleiche Übertragungsrate eingestellt sein. Der Kehrwert der Bitrate ergibt das Einheitsintervall (Unit Interval UI), d. h. die Dauer der einzelnen Bitzelle.

*) zur Fernübertragung über Modem vgl. Kapitel 14.

Manchmal bezeichnet man die Anzahl der übertragenen *Nutzbits* (oder Zeichen bzw. Bytes) je Sekunde als Übertragungsrate. Beispiel: eine Bitrate von 14400 Bits/s entspricht bei 10 Bits/Zeichen (Startbit, 8 Datenbits, 1 Stopbit) einer Übertragungsrate von 1440 Bytes/s.

Hinweis:

Die Datenrate wird oft als Baudrate bezeichnet. Diese Gleichsetzung ist hier zulässig (weil es sich um eine zweiwertige Übertragung handelt, gilt 1 Bit/s = 1 Baud).

Worüber müssen sich Sender und Empfänger einig sein?

- über die Übertragungsrate,
- über die Länge des Zeichens (typisch sind 5...9 Bits),
- über das Anwenden oder Weglassen der Paritätsprüfung,
- über die Anzahl der Stopbits,
- über das Handshaking-Verfahren.

Wie einigen sich Sender und Empfänger?

Üblicherweise sind die genannten Schnittstellenparameter einstellbar (im PC programmseitig, in Geräten manchmal über DIL-Schalter oder Steckbrücken; es gibt auch Geräte, in denen die Parameter am Bedienfeld eingestellt und in einem Speicher, z. B. einem EEPROM, gehalten werden). Beide Einrichtungen am Interface müssen auf gleiche Parameter eingestellt werden.

Automatische Einstellung (Autoconfiguration, Autobaud)

Diese Funktion ist beispielsweise in modernen Modems vorgesehen. Das bedeutet aber nicht eine fliegende Anpassung an ständig wechselnde Parameter. Vielmehr werden verschiedene Einstellungen solange durchprobiert, bis endlich eine fehlerfreie Übertragung zustande kommt. Diese Vorgänge spielen sich auf höheren Protokollebenen ab:

- das eine Gerät (z. B. die DTE) gibt die Bitrate vor, das andere (z. B. die DCD) stellt sich darauf ein,
- das Gerät, das die Bitrate bestimmt, sendet bestimmte Zeichenfolgen. Das andere Gerät ändert seine Einstellungen solange, bis die Zeichen fehlerfrei empfangen werden.
- eine Alternative: der Empfänger erwartet bestimmte Zeichen und mißt die Dauer der empfangenen Impulse. Daraus wird die Bitrate errechnet.

8.2. Steckverbinder und Kabel

8.2.1. Anschlüsse an PCs und Geräten

Die Interface-Anschlüsse sind üblicherweise als 25-polige und 9-polige D-Sub-Steckverbinder ausgeführt (Abbildungen 8.6 bis 8.8). Beim 25-poligen Anschluß sind nicht alle Kontakte belegt (zur vollständigen Belegung vgl. Tabelle 8.3). Eine weitere standardisierte Steckverbindung (EIA-561): der sog. Westernstecker RJ-45 (Abbildung 8.9).

Vorzugsweise Bestückung:

- DTEs (PCs, Drucker usw.): „männliche“ Steckverbinder (Stifte),
- DCEs (Modems usw.): „weibliche“ Steckverbinder (Buchsen). Modems haben typischerweise einen 25-poligen Steckverbinder.
- alte PCs (AT-Formfaktor): 2 Schnittstellen (COM 1, COM 2). Typischerweise eine mit 9-poligem und eine mit 25-poligem Steckverbinder. Es ist nach und nach üblich geworden, die PCs nur mit 9-poligen Steckverbindern zu bestücken.
- ältere PCs im ATX-Formfaktor: 2 Schnittstellen (COM 1, COM 2) mit 9-poligen Steckverbindern,
- neuere PCs: oft nur eine Schnittstelle (COM 1) mit 9-poligem Steckverbinder,
- ganz neumodische PCs gar keine (Legacy Free). Auswege: (1) Interfacewandler über USB, (2) Kommunikationsserver über Netzwerk.

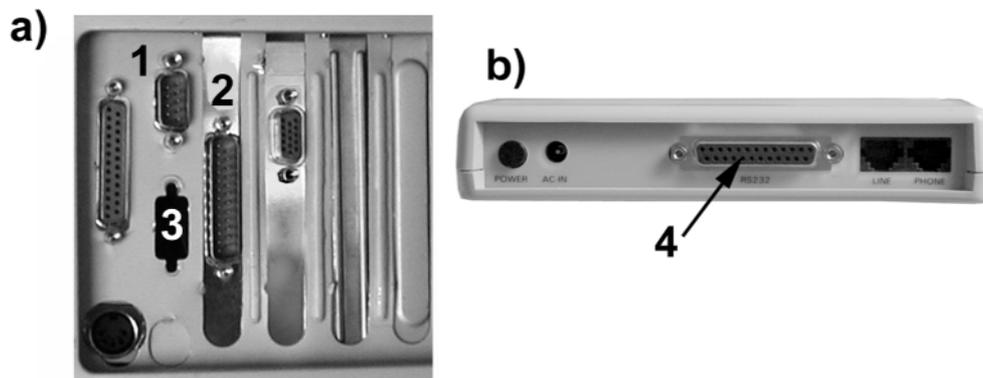


Abbildung 8.6 Herkömmliche Schnittstellenanschlüsse. a) an einem älteren PC; b) an einem Modem

Erklärung:

1 - DTE-Anschluß (9-polig) an PC-Rückwand; 2 - DTE-Anschluß (25-polig) an Slot-Abdeckblech;
3 - Aussparung zum Einbauen eines weiteren 9-poligen D-Sub-Steckverbinders; 4 - DCD-Anschluß, 25-polig. Zu den Schnittstellen des PCs siehe weiterhin Abbildung 8.10.

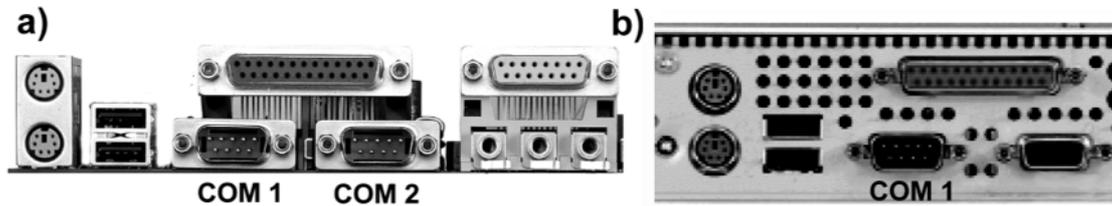


Abbildung 8.7 Schnittstellenanschlüsse an neueren PCs. Farbe (des Isoliermaterials im Steckverbinder): typischerweise hellblau

Erklärung:

- a) der rückseitige E-A-Anschlußblock eines ATX-Motherboards. Im Beispiel sind zwei Schnittstellen vorgesehen. Gibt es nur eine Schnittstelle, so befindet sich anstelle des COM-2-Steckverbinders typischerweise der Videoanschluß.
- b) Anschlüsse an der Rückseite eines Servers in 19"-Einschubbauweise (1 U).

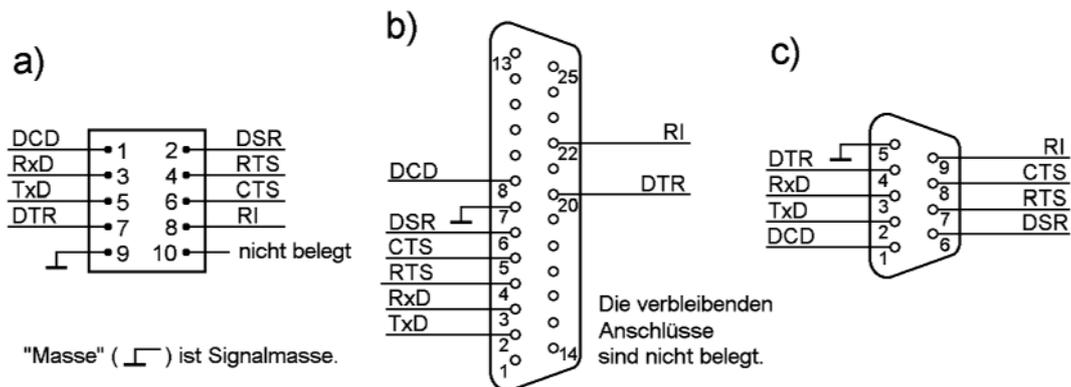


Abbildung 8.8 Steckverbinder der seriellen Schnittstelle (Blick jeweils auf die Steckseite).
a) Pfostenleiste im PC; b) 25-poliger Steckverbinder; c) 9-poliger Steckverbinder

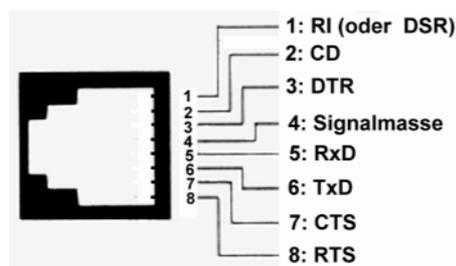


Abbildung 8.9 Steckverbinder RJ-45 gemäß EIA-561

Erklärung:

Ein kleiner, aber standardisierter und kostengünstiger Steckverbinder vorzugsweise für portable Geräte. Da es nur 8 Kontakte gibt, muß ein Signal entfallen. Das ist üblicherweise DSR. Manchmal wird aber

Kontakt 1 statt mit RI mit DSR beschaltet.

Hinweis:

Gelegentlich verwendet man den gleich aussehenden, aber nur sechspoligen Steckverbinder RJ-11. Hierfür gibt es keine standardisierte Kontaktbelegung.

Pfosten-Steckverbinder auf PC-Leiterplatten

Manche Schnittstellen-Steckverbinder sind über Flachbandkabel an die jeweilige Leiterplatte (Motherboard oder Steckkarte) angeschlossen (Abbildung 8.10). Abbildung 8.8a zeigt ein typisches Anschlußbild.

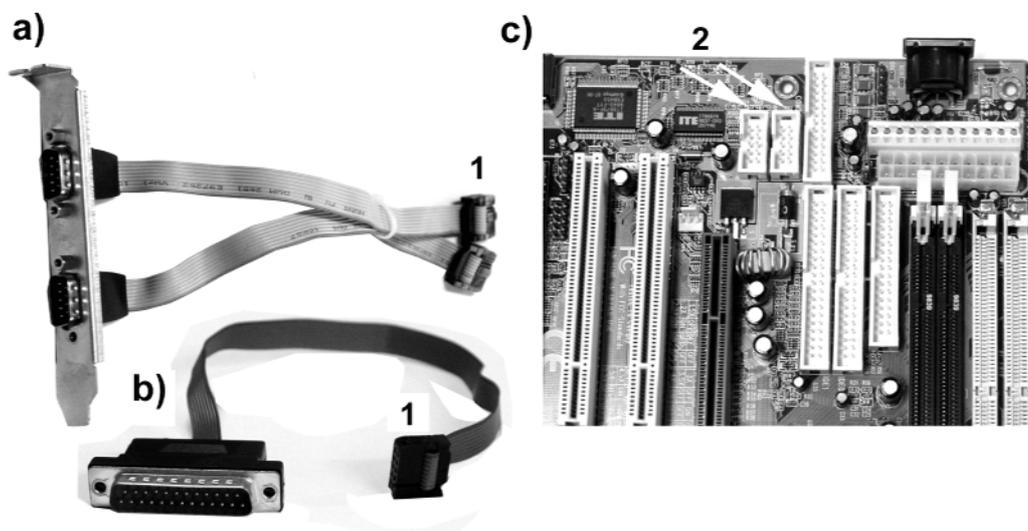


Abbildung 8.10 Interfaceanschlüsse mit Zwischenkabel

Erklärung:

a) - Zwischenkabel mit Steckverbindern. Die D-Sub-Stecker sind hier in einem Slot-Abdeckblech befestigt (können aber auch in entsprechenden Aussparungen der PC-Rückwand montiert werden; vgl. Abbildung 8.6a). b) - 25-poliger D-Sub-Steckverbinder mit angearbeitetem 10-adrigem Flachbandkabel. c) - Motherboard. 1 - Steckverbinder am Kabel (Anschlußbild gemäß Abbildung 8.8a); 2 - Steckverbinder auf dem Motherboard.

8.2.2. Interfacekabel

Es gibt grundsätzlich zwei Ausführungen von Interfacekabeln, die sich darin unterscheiden, welche Einrichtungen sie miteinander verbinden:

1. Dateneneinrichtung mit Datenübertragungseinrichtung (DTE-DCE-Verbindung, Gerätekabel; Abbildung 8.11),
2. Dateneneinrichtung mit Dateneneinrichtung (DTE-DTE-Verbindung, Nullmodemkabel; Abbildung 8.12).

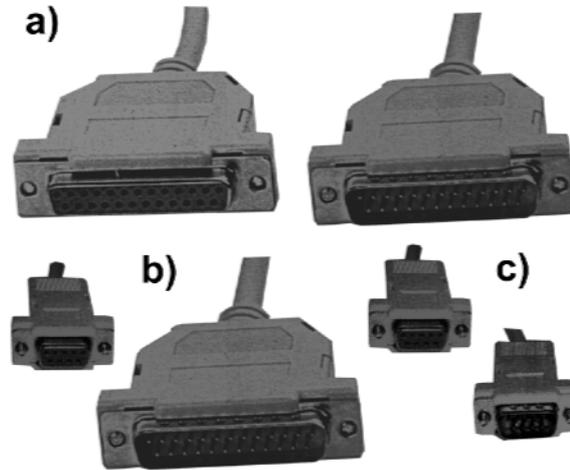


Abbildung 8.11 Geräte- und Nullmodemkabel (Modemanschlußkabel)

Erklärung:

Geräte- und Nullmodemkabel sind 1:1-Verbindungen zwischen DTE (Computer) und DCE (Modem oder anderes Gerät). Näheres in Abschnitt 8.3.1.2. Die Anschlüsse:

- auf PC-Seite: Buchse (Female Connector (f)). 9- oder 25-polig.
- auf Geräteseite: Stift (Male Connector (m)). 9- oder 25-polig.

Es werden Kabel mit allen Steckerkombinationen angeboten:

- 25f - 25m. Erforderlich, wenn die Schnittstelle gemäß RS-232C/V.24 in vollem Umfang ausgenutzt werden soll (im PC-Bereich über spezielle Steckkarten). Erfordert Kabel, in denen alle 25 Leitungen vorhanden sind.
- 9f - 25m. Das typische Modemanschlußkabel im PC-Bereich.
- 9f - 9m.

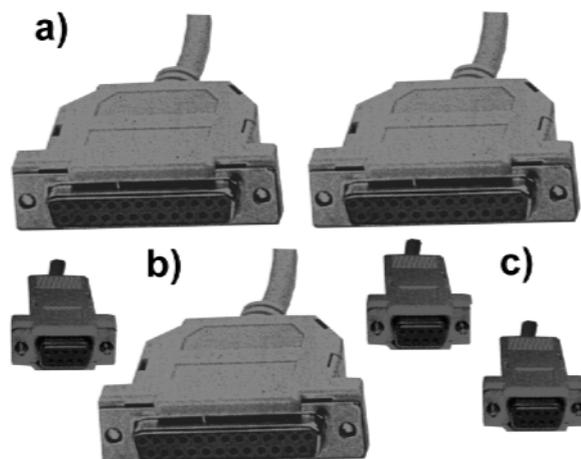


Abbildung 8.12 Nullmodemkabel (Linkkabel)

Erklärung zu Abb. 8.12:

Nullmodemkabel sind Überkreuz-Verbindungen zwischen zwei DTE-Einrichtungen, z. B. zwischen zwei PCs. Näheres in Abschnitt 8.3.1.3. Die Anschlüsse: auf beiden Seiten Buchsen (f), 9- oder 25-polig. Auch hier werden alle Kombinationen angeboten:

- a) 25f - 25f,
- b) 9f - 25f,
- c) 9f - 9f. Das typische Nullmodemkabel im PC-Bereich.

Sonderkabel

Manche Geräte haben Anschlußkabel, die einerseits einen „weiblichen“ D-Sub-Steckverbinder (f) und andererseits einen speziellen Steckverbinder tragen (Abbildung 8.13).

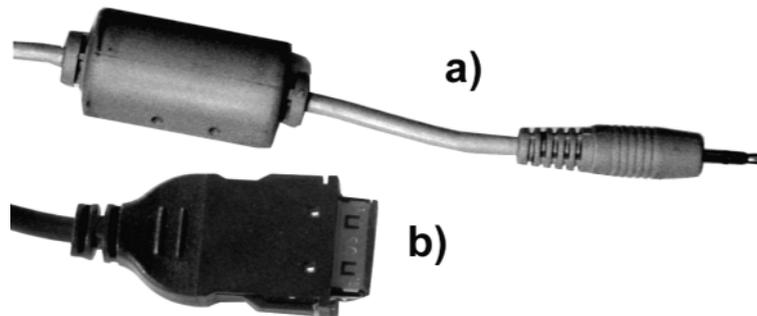


Abbildung 8.13 Sonderkabel zum Anschließen an serielle Schnittstellen (Beispiele)

Erklärung:

a) - Klinkenstecker (3-polig) für Digitalkamera; b) - spezieller Miniaturstecker für einen portablen Computer. Auf den ersten Blick hält der Steckverbinder a) mehr aus - und es ist offensichtlich nicht allzu schwierig, ggf. so ein Kabel selbst anzufertigen (vgl. demgegenüber den Fall, daß ein Kabel ähnlich b) kaputtgeht und kein Ersatz zu erhalten ist...).

8.2.3. Kabellänge

Die ursprüngliche Festlegung (EIA-232C): höchstens 15 m.

Die aktuellen Standards (EIA-232D...F) legen keine Leitungslänge mehr fest, sondern die *zulässige Leitungskapazität*: höchstens 2500 pF einschließlich der Eingangskapazität des Empfängers.

Die Leitungslänge ist somit eine Funktion der Datenrate. Das heißt: man muß entweder (1) die Datenrate vorgeben und erhält rechnerisch die höchstzulässige Leitungslänge oder es liegt (2) die Leitungslänge fest (Aufstell-Entfernung, Verkabelungsplan), und die nutzbare Datenrate ergibt sich dementsprechend. Einzelheiten in Abschnitt 8.3.3.

Die Praxis

Bei Datenraten bis zu etwa 20 kBits/s ergeben sich - je nach Kabelmaterial und Treibfähigkeit - zwischen 15 und 20 m. Bei höheren Datenraten (wie sie vor allem moderne Modems erfordern) beträgt die maximale Kabellänge mit üblichen Leitungstreibern nur ca. 3...4 m.

Sehr lange Kabel

Oft lassen sich wesentlich größere Entfernungen überbrücken, allerdings auf Kosten der Datenrate (und bei verminderter Störsicherheit). Seit Jahrzehnten haben Praktiker beträchtlich längere Kabel verlegt (zwischen 30 und ca. 150 m) - und es hat durchaus funktioniert (allerdings nur bei Datenraten von höchstens 1200...2400 Bits/s)*. Es ist allerdings ein hohes Risiko (vor allem unter dem Gesichtspunkt der Produkthaftung...). Der grundsätzliche Ausweg: Interfacewandler (Abschnitt 8.6.).

*) eine typische Lösung zum Anschließen von Waagen, Kassen-Terminals, Kennkartenlesern usw. (vgl. Abbildung 8.49).

Hinweise:

1. Eine praxisübliche Obergrenze: 50...60 m bei ca. 1200...2400 Bits/s. Voraussetzung: hochwertiges Kabelmaterial.
2. Es liegt nahe, eine Konfiguration mit längerem Kabel zunächst provisorisch aufzubauen (Aufstellung in einem Raum, Kabel auf Trommel o. dergl.). Wenn es so funktioniert, heißt das aber noch lange nicht, daß die endgültige Installation auch funktionieren wird (eingekoppelte Störungen, unterschiedliche Erdpotentiale)*).

*) werden beide Einrichtungen vom gleichen Netzstromkreis gespeist (womöglich über eine einzige Steckdosenleiste), so gibt es keine Erdpotentialdifferenzen und somit auch keine Erdschleifen. Zudem fehlen meist die typischen Störeinstrahlungen der jeweiligen Anwendungsumgebung.

8.2.4. Kabelmaterial

Beim Auswählen des Kabelmaterials hat man eine beachtliche Narrenfreiheit - nur sollte am Schluß alles zuverlässig funktionieren.

Geschirmtes oder ungeschirmtes Kabel?

Ungeschirmtes (unshielded) Kabel erscheint rechnerisch günstiger (infolge der geringeren Streukapazität ergeben sich größere Leitungslängen). Geschirmtes (shielded) Kabel hat aber eine höhere Störsicherheit. In „elektrisch rauher“ Umgebung (Kabelführung durch Werkhallen usw.) ist ungeschirmtes Kabel problematisch.

Leiterquerschnitt

Richtwert (vor allem bei längerem Kabel): 24...20 AWG (0,2...0,5 mm²; Durchmesser 0,5...0,8 mm).

Billiges Kabelmaterial ist typischerweise zu dünn. Das betrifft sowohl die Leiter als auch die Isolation (zu hoher Widerstand bei größeren Längen, hält kaum mechanische Beanspruchung aus, Bruchgefahr vor allem am Eintritt in den Steckverbinder oder an den Kontaktstellen im Steckverbinder).

Steckverbinder

Auch hierbei gibt es Qualitätsunterschiede, die sich vor allem in der Stärke der Goldauflage auf den Kontakten und in der zulässigen Anzahl der Steckzyklen äußern:

- höchste Qualität (für militärische o. ä. Anwendungen): 50 µm Goldauflage, wenigstens 500 Steckzyklen,
- „industrielle“ Qualität: 30 µm Goldauflage, typischerweise bis zu 500 Steckzyklen,
- „kommerzielle“ Qualität: fast keine Goldauflage (Hauchvergoldung, Gold Flash), höchstens 50...100 Steckzyklen,
- ausgesprochene Billigausführungen. keinerlei Goldauflage (auch dann nicht, wenn - im Neuzustand - die Kontakte wie vergoldet aussehen), höchstens 20..50 Steckzyklen. Beim Aufbauen und Erproben einer Installation kommen schnell mehr als 20 Zyklen (Stecken -Trennen - Stecken usw.) zusammen...

Verdrilltes Kabel?

Übliches Schnittstellenkabel ist nicht paarweise verdrillt und hat eine Kapazität von etwa 60 pF/m. Geschirmtes Schnittstellenkabel: um 120...150 pF/m. Verdrilltes Datenkabel (Twisted Pair) liegt in der gleichen Größenordnung. Paarweise verdrilltes Kabel nützt aber nur dann etwas, wenn jede Signalleitung mit einer Masseleitung verdrillt ist. Im Fall des Falles (stark gestörte Übertragung) wäre es auszuprobieren. Anschlußmöglichkeiten:

- Kabel entsprechend konfektionieren (die einzelnen Masseleitungen im Steckverbinder zur Signalmasse zusammenführen),
- über entsprechende Zwischenstecker.

Insgesamt besser: Übergang auf differentielle Übertragung (RS422 oder RS485; Abschnitt 8.6.5.).

Wieviele Interfacesignale?

Die Antwort entscheidet maßgeblich über die Kabelkosten. In PCs werden höchstens 8 der Signale des Standards verwendet. Im Extremfall kommt man mit einer Signalleitung je Übertragungsrichtung aus. Näheres in Abschnitt 8.3. Manchmal sind Kabelkosten und Datenraten gegeneinander abzuwägen (Stichwort: Entscheidung für Software- oder Hardware-Handshaking). RS-232 erfordert neben den Signalleitungen wenigstens eine Masseleitung. Bei RS-422 bzw. RS-485 braucht jedes Signal ein verdrilltes Leitungspaar. Zur Masseleitung vgl. Abschnitt 8.6.5.

8.2.5. Erdung

Bei RS-232 werden die Signalpegel auf ein gemeinsames Nullpotential (Massepotential, Signal Ground) bezogen (Single Ended Transmission). Der Idealfall:

- beide Einrichtungen liegen auf dem gleichen Massepotential (keine Erdpotentialdifferenz),
- das Massepotential entspricht dem Erdpotential.

In der Praxis sieht es aber kaum so ideal aus (Abbildung 8.14).

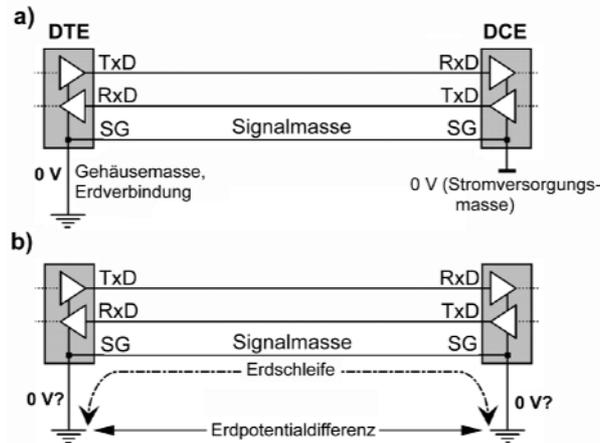


Abbildung 8.14 Die Erdung in RS-232-Verbindungen

Erklärung:

- a) Annäherung an den Idealfall. Die Signalmasse bildet sowohl das gemeinsame Bezugspotential (0 V) als auch den Rückleiter für die Signalströme. Gemäß Standard gibt es nur in der DTE eine Verbindung zwischen Signalmasse und Gehäusemasse^{*)}. Die Gerätegehäuse sind geerdet. Die Treiber und Empfänger in beiden Geräten sehen somit über die Signalmasseverbindung praktisch den gleichen Bezugspegel (0 V)^{**)}.
- b) die Praxis. In beiden Geräten sind Signalmasse, Stromversorgungsmasse und Gerätemasse zusammengeführt. Die Erdverbindung wird über den Schutzleiteranschluß hergestellt. Da die Schutzleiter unterschiedlicher Netzstromkreise nie auf gleichem Potential liegen, ergeben sich Spannungsunterschiede zwischen den Masseanschlüssen und somit Erdschleifen.

^{*)}: in der DCE sollte eine lösbare Erdverbindung vorhanden sein. Das ist aber in der Praxis kaum der Fall).

^{**)}: die über die SG-Leitung fließenden Rückströme bewirken zwar Spannungsdifferenzen, diese können aber vernachlässigt werden (es sind schlimmstenfalls wenige hundert mV, während der Störspannungsabstand der Empfänger wenigstens ± 2 V beträgt).

Geschirmte Kabel

Im Standard ist Anschluß Nr. 1 (des 25-poligen Steckverbinders) vorgesehen, um die Abschirmung des Kabels mit der Masse zu verbinden (und zwar nur an der DTE, nicht an der DCE). In der Praxis dient aber typischerweise der metallische Kragen des Steckverbinders als Massekontakt der Abschirmung, so daß der Schirm stets beidseitig mit der Gehäusemasse und somit - über den Schutzleiter - mit dem jeweiligen Erdpotential verbunden ist.

Der Schutzleiter als Erdverbindung

Das ist die allgemein übliche Lösung, aber im Grunde eine Sparlösung^{*)} - die gelegentlich gefährlich werden kann (Abbildung 8.15).

- *) die korrekte - aber teure - Lösung: gesonderte Erdungskabel, die den Potentialausgleich zwischen den angeschlossenen Einrichtungen gewährleisten (sie nützen aber nur dann etwas, wenn sie mit einem gemeinsamen Betriebsender verbunden sind).

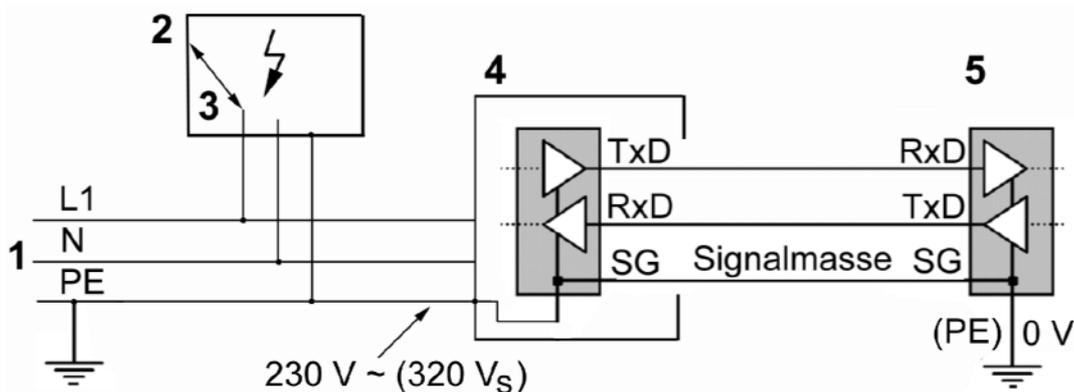


Abbildung 8.15 Hier raucht's...

Erklärung:

1 - ein 230-V-Netzanschluß; 2 - eine weitere angeschlossene Einrichtung; 3 - hier passiert was; 4, 5 - miteinander verbundene RS-232-Geräte. Die Geräte 4, 5 sind an verschiedene Netzstromkreise angeschlossen. Die Gehäuse aller Einrichtungen 2, 4, 5 sind mit dem jeweiligen Schutzleiter (PE) verbunden. Nun geschieht das, wofür der Schutzleiter an sich vorgesehen ist: der spannungsführende Leiter (L1) bekommt Kontakt mit dem Gehäuse (3). Infolgedessen fließt ein Kurzschlußstrom über den Schutzleiter (PE), der die Sicherung des Stromkreises zum Ansprechen bringt. Bis die Sicherung aber den Stromkreis trennt, führt PE kurzzeitig die volle Netzspannung (320 V Spitzenwert). Da Einrichtung 5 von einem anderen Netzstromkreis gespeist wird, verbleibt deren Massepotential auf 0 V. Somit ergibt sich eine maximale Potentialdifferenz von 320 V. Die Spannungsspitze erreicht über die Signalmasseleitung auch die Einrichtung 5...

Ähnliche Gefahren ergeben sich, wenn Überspannungsspitzen in ein RS-232-Kabel eingekoppelt werden (Abschnitt 8.6.2.).

Wann sind RS-232-Verkabelungen in Hinsicht auf die Erdung unproblematisch?

- wenn alle angeschlossenen Geräte von einem einzigen Netzstromkreis gespeist werden,
- wenn der Potentialausgleich über besondere Erdverbindungen (also nicht über den Schutzleiter) erfolgt (Stern- oder Flächenerder, z. B. in Rechenzentren).

Praxistips:

1. Bei kurzen Aufstellentfernungen alle verbundenen Einrichtungen an den selben Netzstromkreis anschließen.
2. Grundsätzlich alle verbundenen Einrichtungen an Netzstromkreise anschließen, die vom selben Verteiler- bzw. Zählerkasten (Stromkreisverteiler) ausgehen.

- Läßt sich Punkt 2. nicht verwirklichen (z. B. dann, wenn Einrichtungen in verschiedenen Stockwerken, Gebäuden usw. aufgestellt sind), Optokoppler zwischenschalten oder ein grundsätzlich anderes Übertragungsverfahren wählen (Abschnitte 8.6.2. bis 8.6.5.).

8.3. Signale und Signalfolgen

8.3.1. Das Interface aus funktioneller Sicht

8.3.1.1. Überblick

Abbildung 8.16 zeigt das Interface zwischen DTE und DCE aus funktioneller Sicht. In Tabelle 8.3 sind - zu Vergleichszwecken - sämtliche standardgemäßen Signale angegeben.

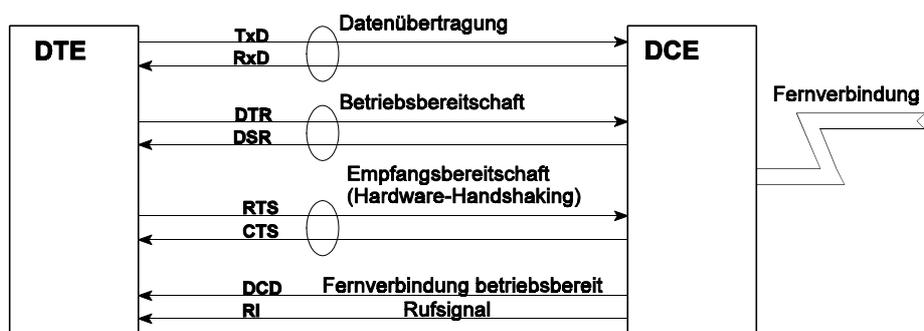


Abbildung 8.16 Die im PC-Bereich übliche RS-232-Schnittstelle aus funktioneller Sicht

Anschluß ^{*)}	Kurzbezeichnung ^{**)}	Wirkung	Richtung	
			DTE	DCE
1		Abschirmung		
2 (3)	BA (TxD)	Sendedaten	→	
3 (2)	BB (RxD)	Empfangsdaten	←	
4 (7)	CA/CJ (RTS)	Sendeteil einschalten	→	
5 (8)	CB (CTS)	Sendebereitschaft	←	
6 (6)	CC (DSR)	Betriebsbereitschaft	←	
7 (5)	AB (SG)	Signalmasse (Betriebserde)		
8 (1)	CF (DCD)	Empfangssignalpegel	←	
9		reserviert		
10		reserviert		
11		nicht belegt		
12	SCF/CI	Hilfskanal: Empfangssignalpegel	←	

Anschluß ^{*)}	Kurzbezeichnung ^{**)}	Wirkung	Richtung	
			DTE	DCE
13	SCB (SCTS)	Hilfskanal: Sendebereitschaft		←
14	SBA (STxD)	Hilfskanal: Sendedaten	→	
15	DB (TC)	Sendeschrifttakt		←
16	SBB (SRxD)	Hilfskanal: Empfangsdaten		←
17	DD (RC)	Empfangsschrittakt		←
18	LL	lokale Prüfschleife	→	
19	SCA (SRTS)	Hilfskanal: Sendeteil einschalten	→	
20 (4)	CD (DTR)	DCE betriebsbereit	→	
21	RL/CG (SQ)	Signalgüte		←
22 (9)	CE/CK (RI)	ankommender Ruf		←
23	CH/CI	hohe Übertragungsgeschwindigkeit	→	
24	DA (ETC)	externer Sendeschrittakt	→	
25	TM	Testbetrieb		←

*) in Klammern: Anschlüsse am 9-poligen Steckverbinder. **): gemäß TIA-232F. In Klammern: gängige Allgemeinbezeichnungen

Tabelle 8.3 Anschlußbelegung gemäß RS-232. Im PC-Bereich sind nur die hervorgehobene Signale von Bedeutung

8.3.1.2. DTE-DCE-Verbindungen (Gerätekabel)

Die Abbildungen 8.17 und 8.18 zeigen einige typische DTE-DCE- Verbindungen. Es sind jeweils die Anschlußnummern des 25-poligen und (in Klammern) des 9-poligen Steckverbinders angegeben.

Hinweis:

Wenn im folgenden von Siebendrahtverbindungen, Sechsdrahtverbindungen usw. die Rede ist, wird die Signalmasse (GND) nicht mitgezählt.

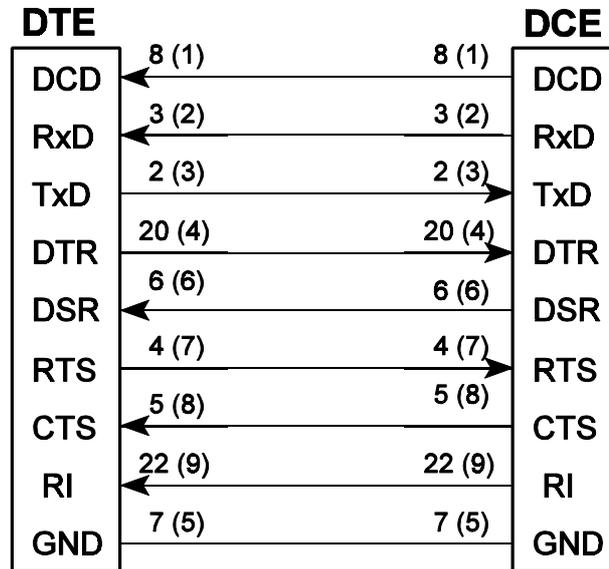


Abbildung 8.17 DTE-DCE-Verbindungen (1). Das voll ausgebaute Interface. Alle gleichnamigen Signale sind jeweils 1:1 miteinander verbunden

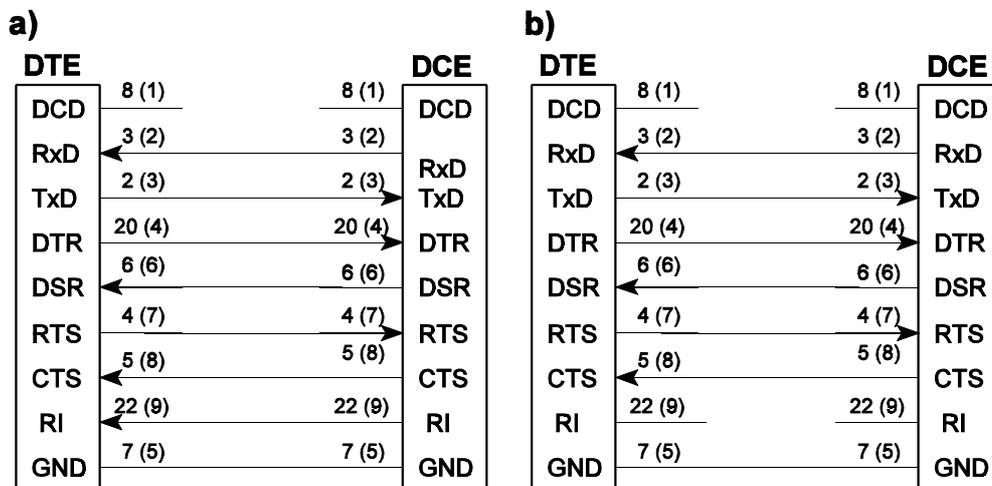


Abbildung 8.18 DTE-DCE-Verbindungen (2). Typische Sieben- und Sechsdrahtverbindungen

Erklärung:

- a) Siebendrahtverbindung mit RI, aber ohne DCD. Entspricht der Steckerbelegung gemäß EIA-561 (vgl. Abbildung 8.9). Alternative: Siebendrahtverbindung mit DCD anstelle von RI.
- b) Sechsdrahtverbindung. Die Signale DCD und RI (typischerweise nur bei Modems von Bedeutung) werden nicht genutzt.

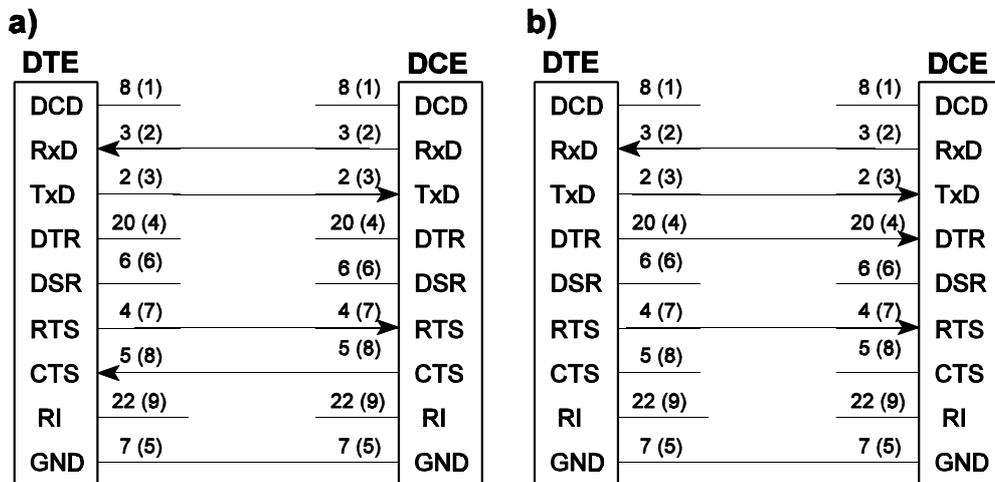


Abbildung 8.19 DTE-DCE-Verbindungen (3). Typische Vierdrahtverbindungen

Erklärung:

- a) RTS-CTS-Handshaking. Es sind lediglich die Sende- und Empfangsdatenleitungen sowie CTS und RTS jeweils untereinander verbunden.
- b) diese Signale sind typischerweise unbedingt erforderliche, um (einfache) Modems, Akustikkoppler o. dergl. anzuschließen. Steuerung der DCE über DTR und RTS. Keine Zustands- und Meldesignale von der DCE.

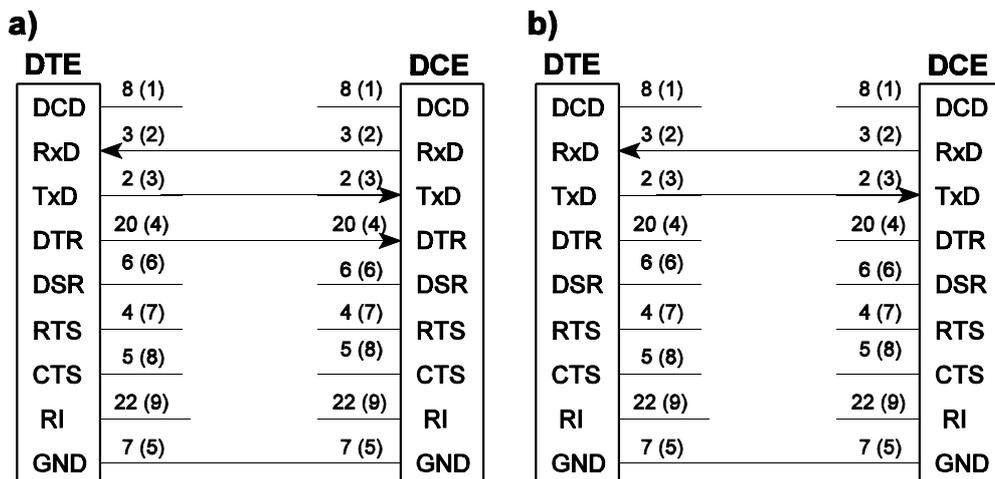


Abbildung 8.20 DTE-DCE-Verbindungen (4). Typische Zweidrahtverbindungen

Erklärung:

- a) DTR-Signalisierung. Die DTE zeigt über die DTR-Leitung die Betriebsbereitschaft an.
- b) einfachste Zweidrahtverbindung. Nur Datenübertragung. Keine Zustandssignalisierung, kein Hardware-Handshaking. Der Vorteil: man kommt mit einem dreiadrigen Kabel (2 Signalleiter + Masse) aus.

Verkabelungskosten sparen

Fertige Gerätekabel sind typischerweise gemäß Abbildung 8.17 konfektioniert. Bei ortsfester Installation (beim Aufbau von Mehrplatzsystemen, beim Anschließen von Waagen, Zugangskontrollsystemen, Produktionsdatenerfassungsanlagen usw.) ist das Kabelmaterial ein erheblicher Kostenfaktor. Deshalb werden beispielsweise Terminals oft über einfache Zweidrahtverbindungen (Abbildung 8.20b) angeschlossen.

Hinweis:

Zweidrahtverbindungen ermöglichen nur ein Software-Handshaking (z. B. XON/XOFF; vgl. Abschnitt 8.3.7.4.). Das kann bei größeren Kabellängen gelegentlich unzuverlässig sein (Verfälschung von Synchronisationszeichen durch eingekoppelte Störungen). Zudem wird die jeweilige Rückleitung zum Übertragen der Synchronisationszeichen benötigt (Beschränkung auf Halbduplexbetrieb, gelegentlich Durchsatzminderung).

8.3.1.3. DTE-DTE-Verbindungen (Nullmodemkabel)

Die Abbildungen 8.21 bis 8.23 zeigen einige typische DTE-DTE-Verbindungen. Es sind jeweils die Anschlußnummern des 25-poligen und (in Klammern) des 9-poligen Steckverbinders angegeben.

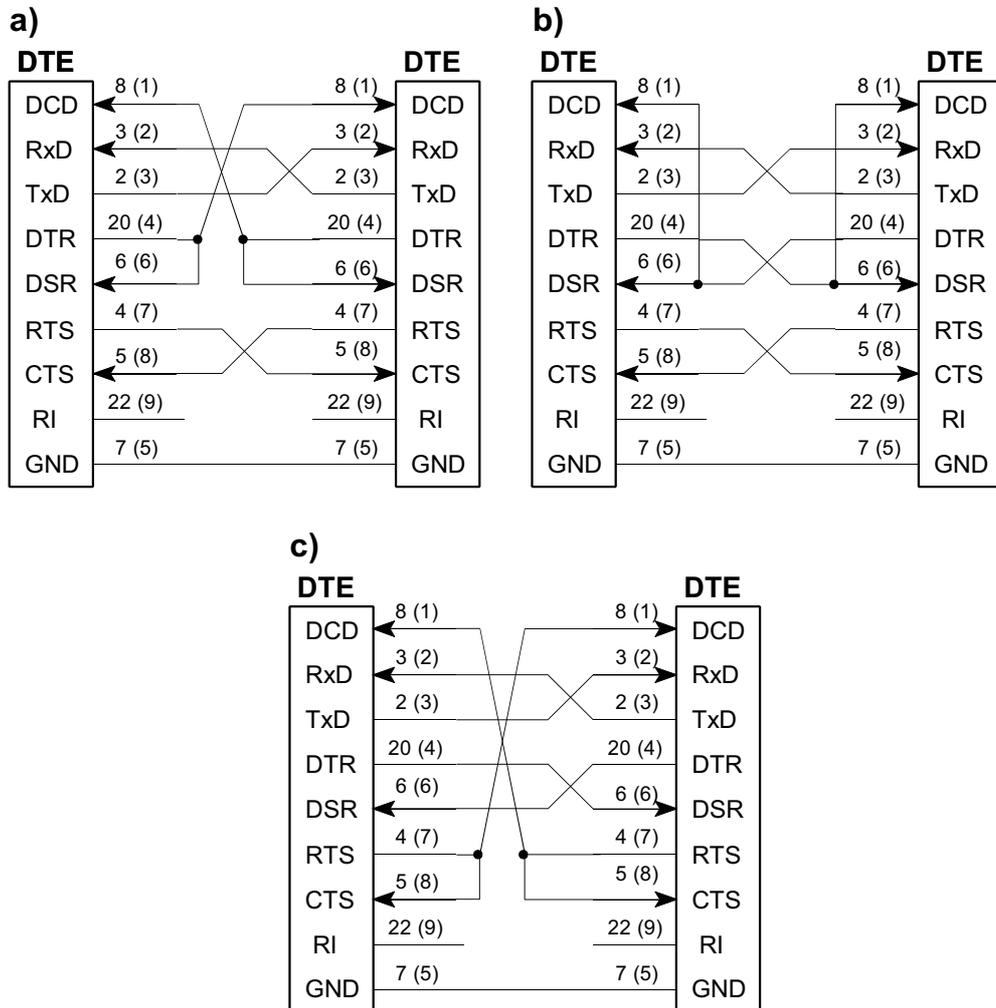


Abbildung 8.21 DTE-DTE-Verbindungen (1). Typische Siebendrahtverbindungen

Erklärung:

- DTR-DCD-Signalisierung. Die Daten-, Melde- und Steuerleitungen sind jeweils über Kreuz miteinander verbunden (die Steuerausgänge der einen Seite erregen die Meldeeingänge der anderen). DTR aktiviert sowohl das eigene DSR als auch das DCD der Gegenseite.
- DTR-DSR-Signalisierung. DTR aktiviert sowohl das eigene DCD als auch das DSR der Gegenseite.
- RTS-DCD-Signalisierung. RTS aktiviert sowohl das eigene CTS als auch das DCD der Gegenseite. Das typische sog. Linkkabel zum Verbinden zweier PCs (Standard: ISO/IEC DIS 8481).

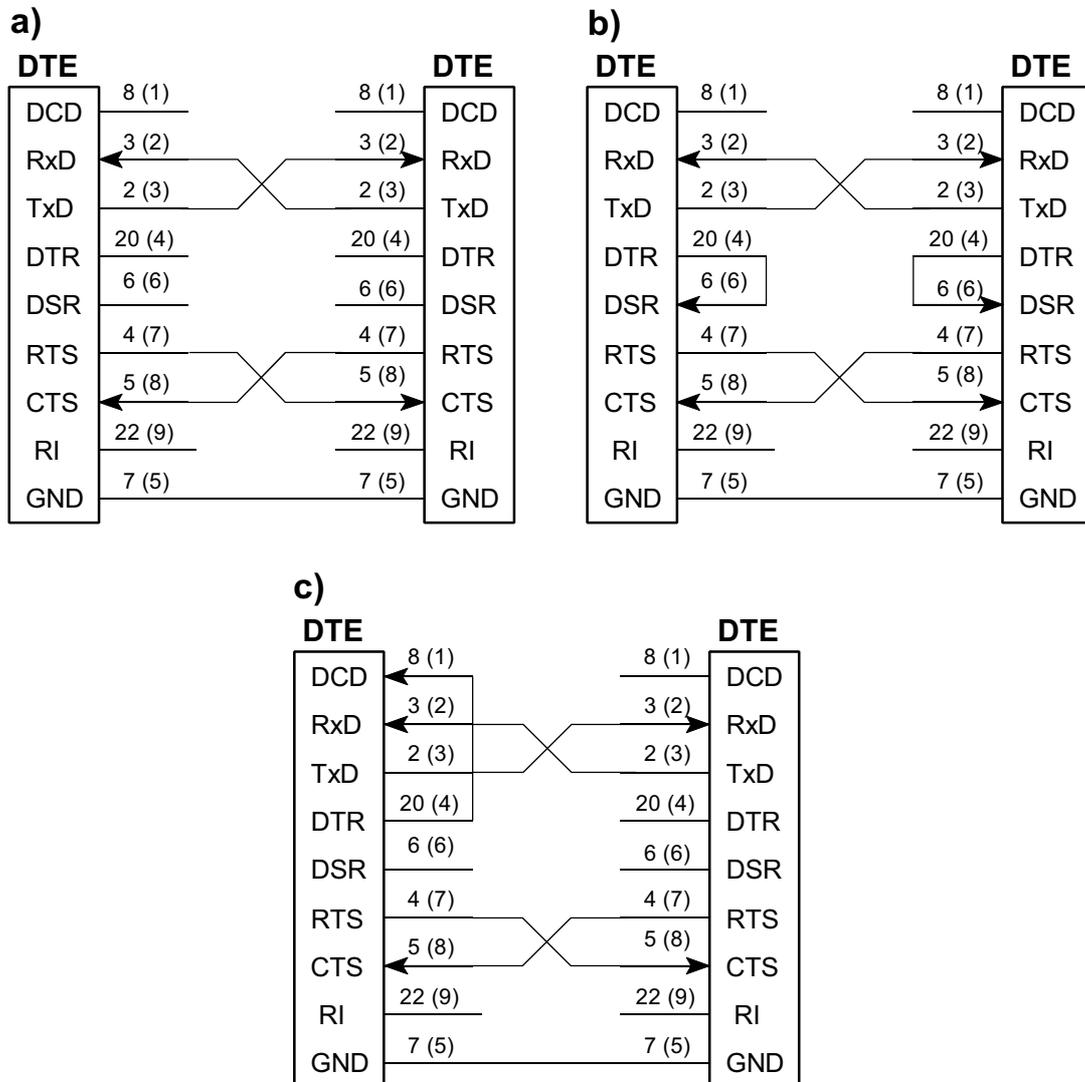


Abbildung 8.22 DTE-DTE-Verbindungen (2). Typische Vierdrahtverbindungen

Erklärung:

- Vierdrahtverbindung (CTS-RTS-Signalisierung). Es sind die Sende- und Empfangsdatenleitungen sowie CTS und RTS jeweils gekreuzt untereinander verbunden. Einsatzbeispiel: Terminalverbindungen mit Hardware-Handshaking. Die folgenden beiden Schaltungen zeigen (im Sinne von Beispielen), wie bestimmte Signale auf bestimmten Pegeln gehalten werden können:
- DSR wird von DTR auf dem erforderlichen Pegel gehalten (hier: auf beiden Seiten),
- DCD wird von DTR auf dem erforderlichen Pegel gehalten.

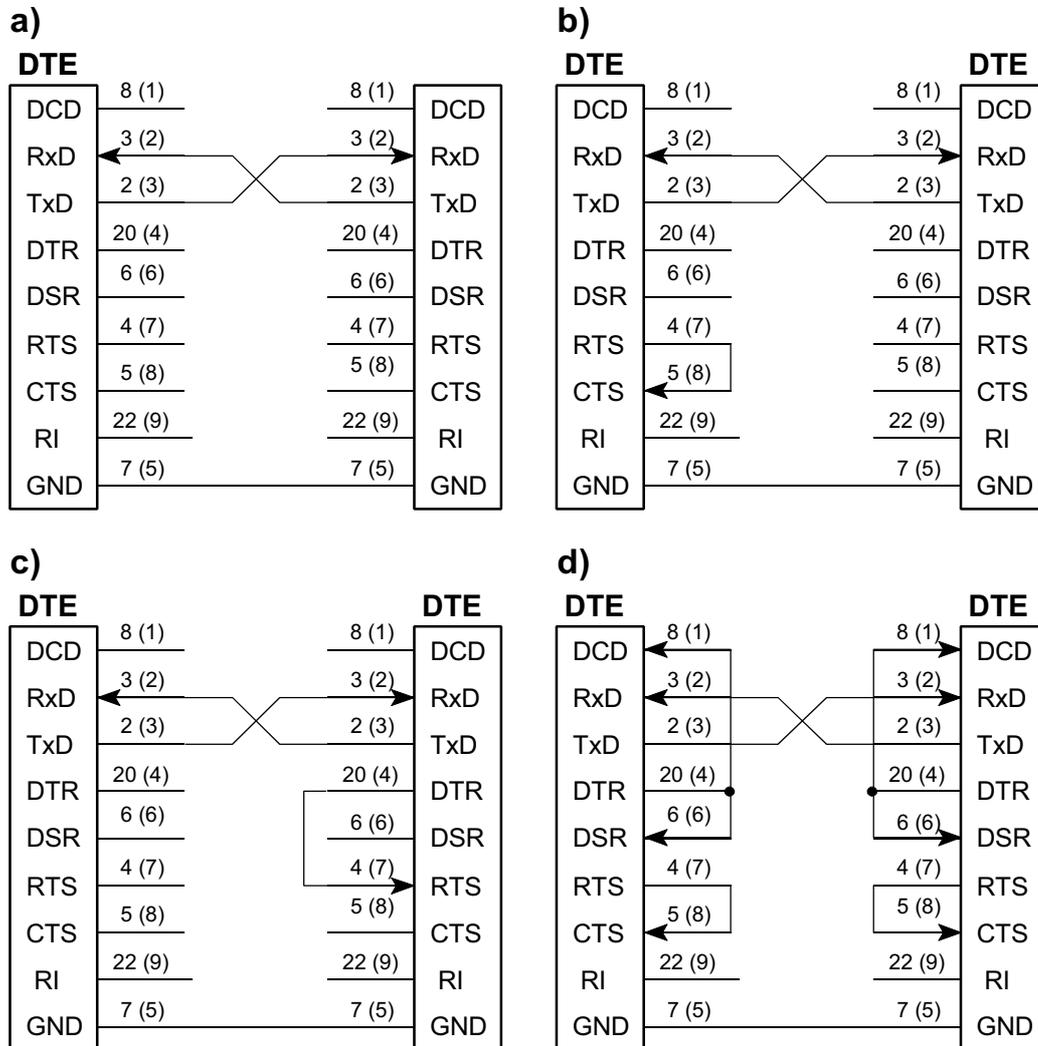


Abbildung 8.23 DTE-DTE-Verbindungen (3). Typische Zweidrahtverbindungen

Erklärung:

- einfachste Zweidrahtverbindung. Die folgenden Schaltungen zeigen (im Sinne von Beispielen), wie bestimmte Signale auf bestimmten Pegeln gehalten werden können:
- CTS wird von RTS auf dem erforderlichen Pegel gehalten,
- DTR wird von RTS auf dem erforderlichen Pegel gehalten,
- eine Art Universalschaltung, in der alle Meldeleitungen (DCD, DSR, CTS) von den Steuerleitungen der jeweiligen Seite (DTR, RT) auf den erforderlichen Pegeln gehalten werden.

8.3.2. Signalkennwerte

Signalpegel gemäß RS-232

Es werden (bezogen auf Masse) positive und negative Spannungen verwendet (Abbildungen 8.24 und 8.25, Tabelle 8.4). RS-232 hat ungewöhnliche Pegelzuordnungen und Bezeichnungen*):

- Signalwert Null (0): ein *positives* Signal zwischen +3 und +15 V. Bezeichnung: Space (Zwischenraum).
- Signalwert Eins (1): ein *negatives* Signal zwischen -3 und -15 V. Bezeichnung: Mark (Markierung).

*) diese Bezeichnungen stammen aus der traditionellen Telegraphen- und Fernschreibtechnik.

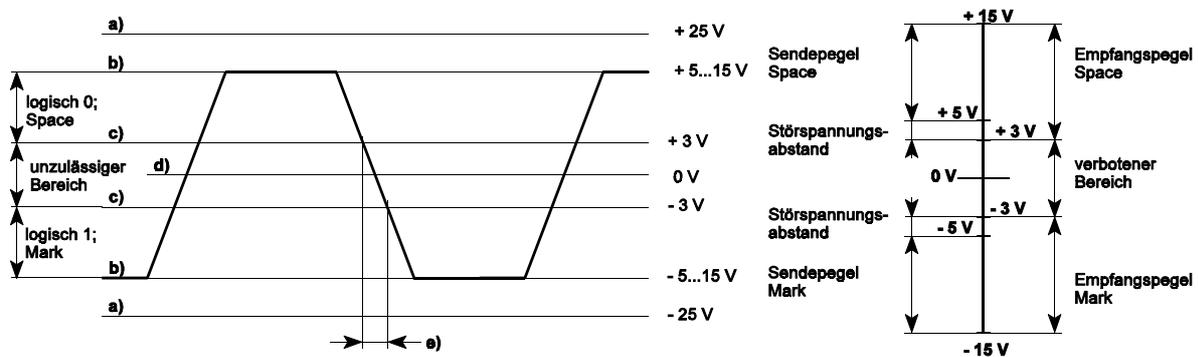


Abbildung 8.24 Signalpegel nach TIA-232F

Erklärung:

- a) die höchste zulässige Spannung an einem Treiberausgang: $\pm 25 \text{ V}$,
- b) Bereich der Sendepegel (bei Belastung mit einem Empfänger): $\pm 5 \dots \pm 15 \text{ V}$,
- c) minimale Empfangspegel (muß der Empfänger noch als Space oder Mark erkennen): $\pm 3 \text{ V}$,
- d) Bezugspegel (0 V, Signalmasse),
- e) Meßpunkte (zwischen + 3 V und -3 V) für Anstiegszeit bzw. Anstiegsgeschwindigkeit (Slew Rate).

Signalpegel in PCs

Schnittstellentreiber werden mit vorhandenen Versorgungsspannungen oder über eingebaute Ladungspumpen gespeist. Übliche Versorgungsspannungen:

- in ortsfesten (netzbetriebenen) PCs: $\pm 12 \text{ V}$,
- in manchen portablen PCs: $\pm 9 \text{ V}$.

Die Signalpegel sind typischerweise geringer als die jeweilige Versorgungsspannung (das ist kein Fehler, sofern sie im zulässigen Wertebereich bleiben).

Der Standard EIA-562

Dieser Standard sieht verringerte Signalpegel vor. Näheres in Tabelle 8.4.

	RS-232	EIA-562
maximale Sendepiegel	± 15 V	± 13,2 V
typische Sendepiegel	± 12 V	± 5 V
minimale Sendepiegel	± 5 V	± 3,7 V
minimale Empfangspegel	± 3 V	± 3 V
Empfängereingangswiderstand	3...7 kΩ	3...7 kΩ
Störabstand	2 V	0,7 V
maximale kapazitive Last	2500 pF	1000 pF
Treiber-Impedanz im ausgeschalteten Zustand	> 300 Ohm	> 300 Ohm
Treiberstrom	typisch 10...20 mA	typisch 3 mA, max. 5 mA
Treiberkurzschlußstrom	≤ 100 mA	≤ 60 mA
maximale Datenrate	20 kBits/s ^{*)}	64 kBits/s
maximale Kabellänge (ungeschirmt) ^{*)}	≈ 15 m (bei 116 kBits/s)	≈ 5 m (bei 64 kBits/s)
maximale Anstiegsgeschwindigkeit	30 V/μs	30 V/μs

*) : lt. ursprünglichem Standard bzw. Faustregel. Zur Praxis siehe Abschnitt 8.3.3.

Tabelle 8.4 Wichtige Signalkennwerte serieller Schnittstellen

Grenzwerte:

- keine Spannung darf ± 25 V überschreiten,
- alle Anschlüsse müssen beliebige Kurzschlüsse gegeneinander oder gegen Masse beliebiger Dauer aushalten. (Also keine Angst vor Experimenten. So schnell geht nichts kaputt.)
- maximaler Kurzschlußstrom (eines Treiberausgangs): 100 mA.

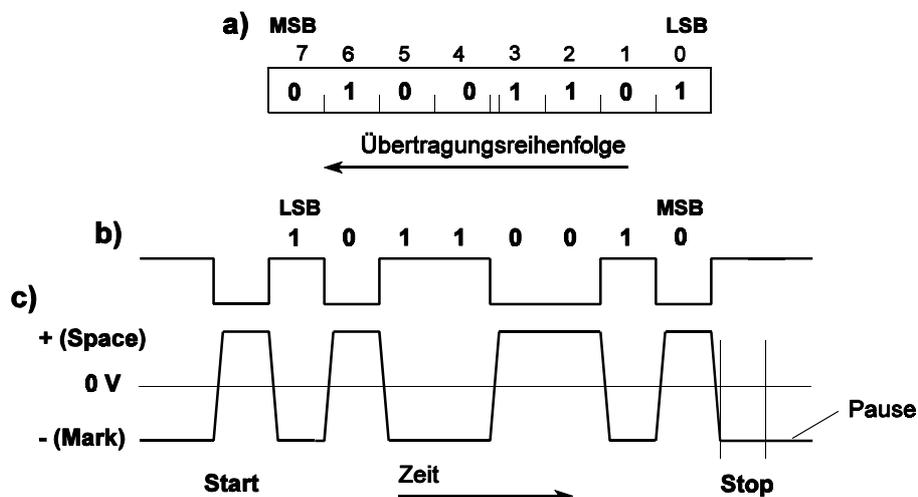


Abbildung 8.25 Datenübertragung über die serielle Schnittstelle

Erklärung zu Abb. 8.25:

a) - zu übertragendes Byte; b) - Signalfolge am Treibereingang bzw. Empfängerausgang (Logikpegel);
c) - Signalfolge am Interface. Am Interface sehen wir den inversen Signalverlauf (Einsen unten, Nullen oben). Vgl. auch Abbildung 8.5.

Maximale Anstiegsgeschwindigkeit (Slew Rate)

Diese ist auf $30 \text{ V}/\mu\text{s}$ beschränkt^{*)}. Zwischen + 3 und - 3 V (vgl. Abbildung 8.24e) entspricht dies einer Mindest-Anstiegszeit t_{Tmin} von 6 V: $30 \text{ V}/\mu\text{s} = 0,2 \mu\text{s} = 200 \text{ ns}$.

*) : um das Übersprechen im Kabel und die Störabstrahlung in Grenzen zu halten.

EIA-232D

Bis 8 kBits/s ist t_{Tmax} auf 4% des Einheitsintervalls^{*)} festgelegt: $t_{\text{Tmax}} = 0,04 \text{ UI}$. Für höhere Datenraten gilt ein Maximalwert von 5 μs .

EIA-TIA-232E/F

Es gibt zwei Bereiche:

- bis zu 40 Bits/s (Fernschreiber usw.): $t_{\text{T}} \geq 1 \text{ ms}$.
- von 40 Bits/s bis zu 20 kBits/s: $t_{\text{T}} \geq 4\%$ von UI. Diese Spezifikation kann auch höheren Datenraten zugrunde gelegt werden.

*) : das Einheitsintervall UI ergibt sich als Kehrwert der Datenrate D: $\text{UI} = \frac{1}{D}$

8.3.3. Datenraten- und Kabellängenberechnung

Die absolut höchste Datenrate

Wir gehen von zwei Festlegungen des Standards aus:

- $t_{\text{Tmax}} = 0,04 \text{ UI}$,
- $t_{\text{Tmin}} = 0,2 \mu\text{s}$.

Die maximale Datenrate ergibt sich offensichtlich, wenn die erlaubten $0,2 \mu\text{s}$ voll ausgenutzt, also als 4% von UI angesetzt werden.

Aus $0,04 \text{ UI} = 0,2 \mu\text{s}$ ergibt sich $\text{UI} = \frac{0,2 \mu\text{s}}{0,04} = 5 \mu\text{s}$.

Demzufolge wird die maximale Datenrate $D_{\text{max}} = \frac{1}{\text{UI}_{\text{max}}} = 200 \text{ kBits/s}$.

Praktisch erreichbare Datenraten liegen bei 120 kBits/s, genutzt werden bis zu 116 kBits/s.

Kabellängenberechnung

Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Kabelkapazität C_K , der Treibfähigkeit (= dem Treiberkurzschlußstrom) I_0 und der Anstiegszeit t_T :

$$t_T = C_K \cdot 3 \cdot \ln \left(\frac{I_0 + 1}{I_0 - 1} \right) \quad (t_T \text{ in } \mu\text{s}, C_K \text{ in nF}, I_0 \text{ in mA.})$$

t_T entspricht $4\% = 1/25$ des Einheitsintervalls (also der Bitzeit), folglich ergibt sich $UI = 25 t_T$

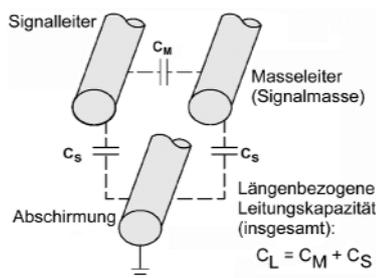
Die Datenrate D ist der Kehrwert des Einheitsintervalls. $D = \frac{1}{25 t_T}$; $t_T = \frac{1}{25 D}$

Die Kabelkapazität C_K ergibt sich aus der längenbezogenen Leitungskapazität C_L (Abbildung 8.26) und der Kabellänge l : $C_K = C_L \cdot l$.

Aus diesen Formeln kann man - durch Einsetzen und Umstellen - folgendes berechnen: (1) die Kabellänge, (2) die Anforderungen an das Kabelmateriel (geschirmt/ungeschirmt, zulässige Leitungskapazität), (3) die maximale Datenrate, (4) den erforderlichen Treiberstrom (Rechenpraxis: mit Software).

Die maximale Kabellänge ergibt sich allein aus den Kabeleigenschaften und aus der Begrenzung auf 2500 pF*) kapazitive Last. Die maximale Datenrate ergibt sich aus der zu treibenden Kapazität und dem Treiberkurzschlußstrom.

*) EIA-562: 1000 pF.



Erklärung:

C_M - wechselseitige Leitungskapazität;
 C_S - Streukapazität;
 C_L = gesamte längenbezogene Leitungskapazität
 ($C_L = C_M + C_S$). Maßeinheit: pF/m.

Abbildung 8.26 Die Leitungskapazität (nach: Texas Instruments)

Faustformeln und Richtwerte:

- $C_M \approx 40 \text{ pF/m}$,
- ungeschirmtes Kabel: $C_S \approx 0,5 C_M$; $C_L \approx 1,5 C_M$; $C_L \approx 60 \text{ pF/m}$. Handelsüblich: $\approx 40 \dots 90 \text{ pF/m}^*$.
- geschirmtes Kabel: $C_S \approx 2 C_M$; $C_L \approx 3 C_M$; $C_L \approx 120 \text{ pF/m}$. Handelsüblich: $\approx 90 \dots 150 \text{ pF/m}^*$.

- maximale kapazitive Last (laut Standard): 2500 pF. Davon ist die Eingangskapazität des Empfängers abzuziehen. Richtwerte:
 - ohne Zusatzbeschaltung: 20 pF,
 - mit Zusatzbeschaltung (Kondensatoren gegen Masse): 400...500 pF.
 Hiermit ergeben sich Kabelkapazitäten von 2000...2480 pF.
- maximale Kabellänge = zulässige Kabelkapazität (C_K) : C_L (Tabelle 8.5)
- Treiberkurzschlußstrom RS-232: typisch 5...20 mA (Tabelle 8.6). Low-Power-Hardware liefert oft nur 5...10 mA.
- Treiberkurzschlußstrom EIA-562: maximal 5 mA, typisch 3 mA (Tabelle 8.7).

*) : wenn es darauf ankommt: nachsehen (Kataloge, Internet). Kapazität/m = Kapazität/ft · 3. Fachbegriff für Kabel mit besonders geringer Kapazität (z. B. ungeschirmt 40 pF/m): Low Capacitance Cable.

ungeschirmt		geschirmt	
<i>Zusatzbeschaltung am Empfänger^{*)}</i>		<i>Zusatzbeschaltung am Empfänger^{*)}</i>	
mit	ohne	mit	ohne
30 m	40 m	15 m	20 m
Zusatzbeschaltung entspricht 6...10 m Kabel		Zusatzbeschaltung entspricht 3...5 m Kabel	

*) : typischerweise 330..470 pF nach Masse (Überschlagsrechnung mit 400...500 pF)

Tabelle 8.5 Maximale Kabellängen für 2500 pF zu treibende Kapazität

Hinweis: Jede Zusatzbeschaltung erhöht die Kapazität des Signalweges. Das betrifft vor allem Schaltmittel zum Ableiten von Überspannungsspitzen. Schutzdioden haben typischerweise 500...1000 pF, Varistoren bis zu 15 nF (Abschnitt 8.6.2.).

	Treiberkurzschlußstrom				
	5 mA	10 mA	12 mA	15 mA	20 mA
Datenrate	ungeschirmt				
115,2 kBits/s	4,5 m	9,5 m	11,5 m	14 m	19 m
57,6 kBits/s	9,5 m	19 m	23 m	29 m	38,5 m
38,4 kBits/s	14 m	32 m	34,5 m	40 m	40 m
19,6 kBits/s und langsamer	28 m	40 m	40 m	40 m	40 m
	geschirmt				
115,2 kBits/s	2 m	4,5 m	5,5 m	7 m	9,5 m
57,6 kBits/s	4,5 m	9,5 m	11,5 m	14 m	19 m
38,4 kBits/s	7 m	14 m	17 m	20 m	20 m
19,6 kBits/s und langsamer	14 m	20 m	20 m	20 m	20 m

Tabelle 8.6 Kabellängen im Überblick (1)

Erklärung zu Tabelle 8.6:

Angaben gerundet. Maximale Länge: 40 m (ungeschirmt) bzw. 20 m (geschirmt). Grau hinterlegte Einträge: Rechnerisch ergeben sich größere Längen. Dabei wird aber die zulässige Kabelkapazität (2500 pF) überschritten

Datenrate	ungeschirmt		geschirmt	
	3 mA	5 mA	3 mA	5 mA
64 kBits/s	5 m	8 m	2,5 m	4 m
57,6 kBits/s	5,5 m	9 m	2,5 m	5 m
38,4 kBits/s	8 m	14 m	4 m	7 m
19,6 kBits/s und langsamer	16 m	28 m	8,5 m	14 m

Tabelle 8.7 Kabellängen im Überblick (2). EIA-562 bei 3 und 5 mA Treiberkurzschlußstrom. Angaben gerundet. Grau hinterlegte Einträge: Rechnerisch ergeben sich größere Längen. Dabei wird aber die zulässige Kabelkapazität (1000 pF) überschritten

8.3.4. Treiber und Empfänger

Die Pegelwandlung zwischen Logik und Interface erfordert Kabeltreiber (Drivers) und -empfänger (Receivers). Herkömmlicherweise werden solche Baustufen mit Speisespannungen versorgt, die den jeweiligen Signalpegeln entsprechen (z. B. ± 12 V).

Die meisten Typen sind Industriestandards. Sie werden - teils mit abweichenden Bezeichnungen - von verschiedenen Firmen gefertigt. Die Schnittstellenschaltkreise sind vergleichsweise häufig von Ausfällen betroffen (grobe Fehler beim Anschließen, über den Schutzleiter oder durch Blitzschlag eingekoppelte Überspannungen usw.). Sie gehören deshalb zu jenen Bauelementen, bei denen sich auch heutzutage Reparaturversuche noch lohnen (das Auswechseln ist nicht allzu schwierig, und es können beträchtlich größere Werte (Motherboards, ganze portable Computer usw.) am Leben erhalten werden). Die Abbildungen 8.27 bis 8.38 sollen das Einarbeiten in diesen Problemkreis unterstützen (im Fall des Falles ist das jeweilige Originaldatenblatt schnell aus dem Internet heruntergeladen).

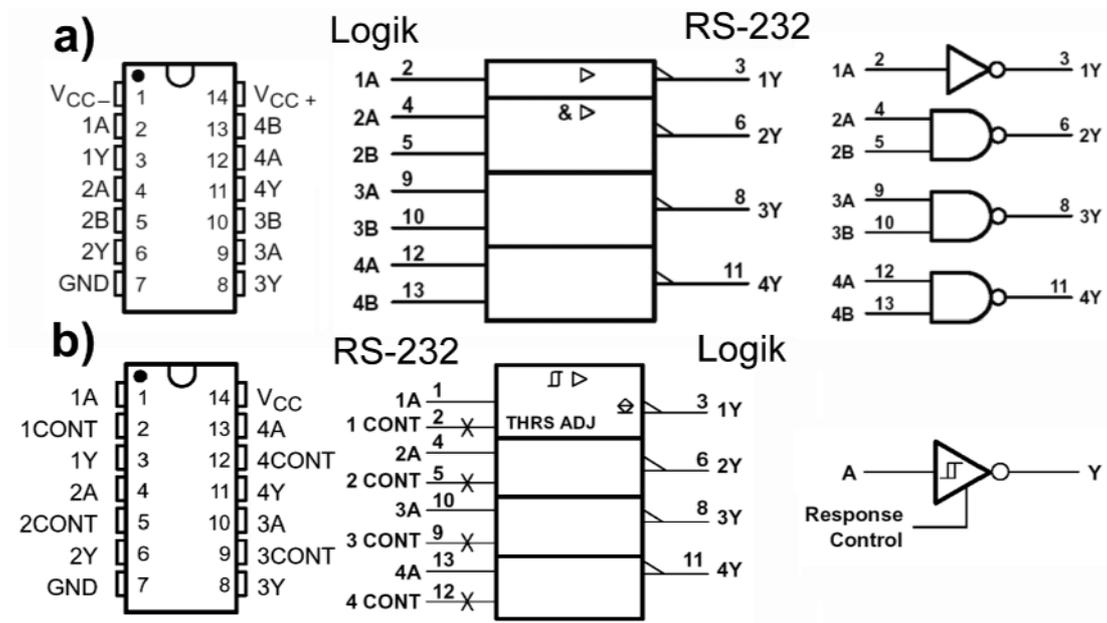


Abbildung 8.27 Herkömmliche Treiber und Empfänger (Texas Instruments)

Erklärung:

a) - Treiber MC1488; b) - Empfänger MC1489. Jeder Schaltkreis enthält 4 Baustufen. Arbeitsweise: positive Logik (Low \triangleq Space, High \triangleq Mark). Es gibt Ausführungen in verschiedenen Technologien, die sich hinsichtlich der Speisespannungen und der Stromaufnahme voneinander unterscheiden (andere Typenbezeichnungen: z. B. 75188/189). Typische Speisespannungen:

- Treiber: V_{CC}+: bis + 15 V; V_{CC}-: bis - 15 V (Datenblatt: Mindestwerte \pm 7,5 V, Nennwerte \pm 9 V, Höchstwerte \pm 15 V), Kurzschlußstrom: \pm 6...12 mA (typisch \pm 9 mA),
- Empfänger: V_{CC} = + 5 V.

Die Empfänger haben Steuereingänge (CONT/Response Control) zum Beeinflussen der Schaltschwelle bzw. der Störempfindlichkeit (Filterwirkung). Typische Beschaltungen:

- keine Sonderwirkung: offen,
- Schaltschwellenbeeinflussung: Widerstand nach Masse,
- Filterwirkung: Kondensator nach Masse. Beispiel: 330 pF unterdrücken Störimpulse von 3 V Amplituden und 300 ns Dauer.

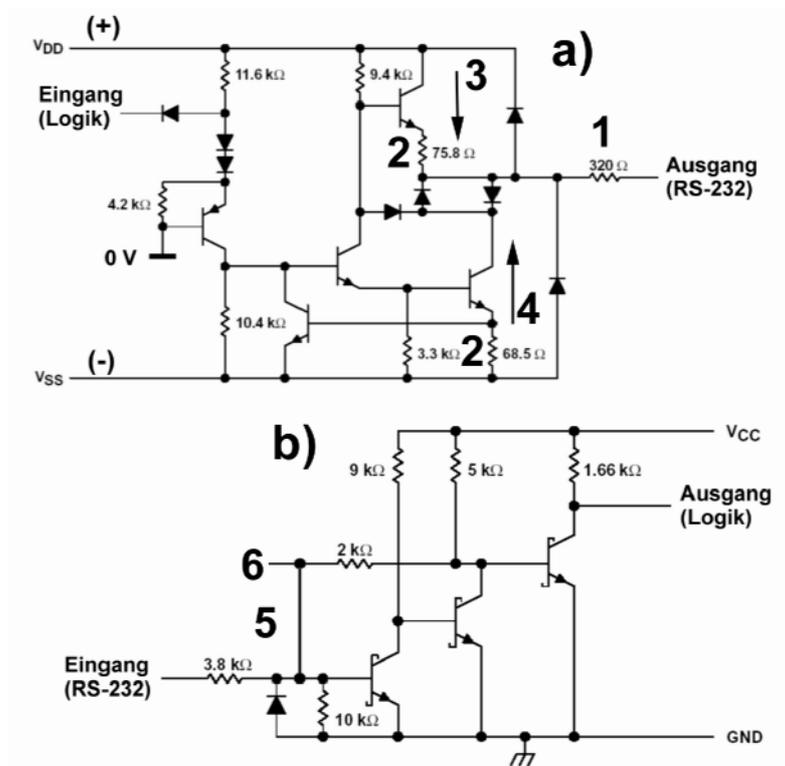


Abbildung 8.28 Typische Innenschaltungen (Texas Instruments)

Erklärung:

a) - Treiber; b) - Empfänger; 1, 2 - Strombegrenzungswiderstände; 3 - Stromweg bei Space; 4 - Stromweg bei Mark; 5 - Eingangsspannungsteiler; 6 - in manchen Schaltkreisen als Steuereingang herausgeführt (vgl. Abbildung 8.27b): V_{DD} - positive Speisespannung (typisch + 12 V oder + 9 V), V_{SS} - negative Speisespannung (typisch - 12 V oder - 9 V), V_{CC} - Logikspeisespannung (typisch + 5 V).

Zum Treiber:

Der Kurzschlußstrom wird durch die Widerstände 1, 2 begrenzt. Sehen wir die Transistoren als ideale Schalter an, so ergibt sich der Innenwiderstand des Treiberausgangs aus der Reihenschaltung von R1 und R2. Das sind hier rund 400 Ohm. Somit beträgt der Kurzschlußstrom bei 12 V etwa 33 mA (in der Praxis deutlich weniger, da auch die Transistoren den Stromfluß begrenzen). *Anwendung in der Fehlersuchpraxis:* bei einigen hundert Ohm Innenwiderstand führen die typischen Lasten im Bereich mehrerer kOhm zu einem deutlich meßbaren Spannungsabfall. Beispiel: bei 12 V und 400 Ohm Treiberinnenwiderstand messen wir über einer Last von 3 kOhm (Empfängereingangswiderstand) eine Spannung von 10,5 V.

Zum Empfänger

Der Serienwiderstand am Eingangsspannungsteiler sorgt für den standardgemäßen Eingangswiderstand (3...7 kOhm). Ein offener Empfängereingang führt nahezu Massepegel (≈ 0 V). Der Empfänger ist kein Comparator, sondern ein simpler Schwellwertschalter, der zudem nur auf positive Eingangsspannungen reagieren kann (eine negative Eingangsspannung wird grundsätzlich als Mark interpretiert und führt zu

einem High-Pegel am Ausgang). Er liefert ausgangsseitig nur Nullen oder Einsen, zeigt aber nicht an, daß das Schnittstellensignal im verbotenen Bereich liegt. *Anwendung in der Fehlersuchpraxis:* Wenn die ankommenden Signale zu geringe Amplituden haben, kann es sein, daß die Verbindung „gerade noch so“ funktioniert oder daß zeitweilige Fehler auftreten (unsichere Funktion). Im Verdachtsfall wäre genauer nachzumessen (besserer Schnittstellentester, Multimeter, Oszilloskop; einfache Breakout Boxes tun es nicht).

- Schaltschwelle in positiver Richtung (von Mark nach Space): typisch um 2 V,
- Schaltschwelle in negativer Richtung (von Space nach Mark): typisch um 1 V,
- Hysterese: typisch um 1 V,
- Ausgangspegel bei offenem oder mit Masse verbundenem Eingang: High.

Zur Spannungsversorgung:

- Empfänger werden mit der jeweils typischen Logik-Speisespannung (+ 5 V, + 3,3 V usw.) versorgt. Das ist im Grunde eine Sparlösung. Damit sie funktioniert, legt man die Schaltschwellen (wie soeben beschrieben) in den positiven Spannungsbereich (> 0 V).
- Treiber brauchen eine positive und eine negative Versorgungsspannung. Hierfür gibt es folgende Auslegungen:
 - beide Versorgungsspannungen (z. B. + 12 V und - 12 V) werden von außen zugeführt,
 - es wird eine positive Versorgungsspannung zugeführt (z. B. + 5 V). Diese wird für den Space-Pegel verwendet. Die negative Spannung (für den Mark-Pegel) wird mit einer Ladungspumpe (Inverter) erzeugt.
 - es wird eine positive Spannung zugeführt (z. B. 2,5 oder 3,3 V). Die Spannungen für beide Pegel (Space und Mark) werden mit Ladungspumpen erzeugt. Eine typische Konfiguration: die positive Spannung wird durch Verdopplung erzeugt, die negative durch einen nachgeschalteten Inverter.

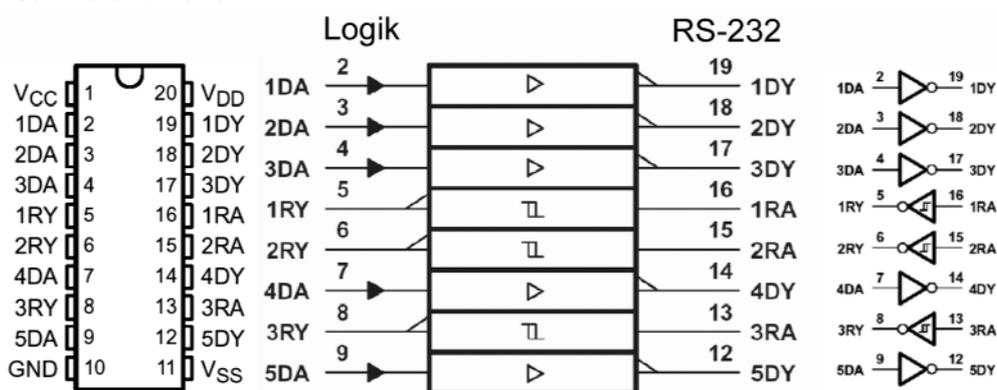


Abbildung 8.29 DTE-Kombinationsschaltkreis (Texas Instruments). Vor allem zum Bestücken von PCs

Erklärung:

Im PC sind 3 Signale zu treiben und 5 zu empfangen. Darauf haben sich die Schaltkreishersteller eingestellt. Moderne PCs werden vorzugsweise mit solchen Treiber- Empfänger-Kombinationen bestückt. Typenbezeichnungen (Beispiele): GD 65232, GD 75232, 75C185.

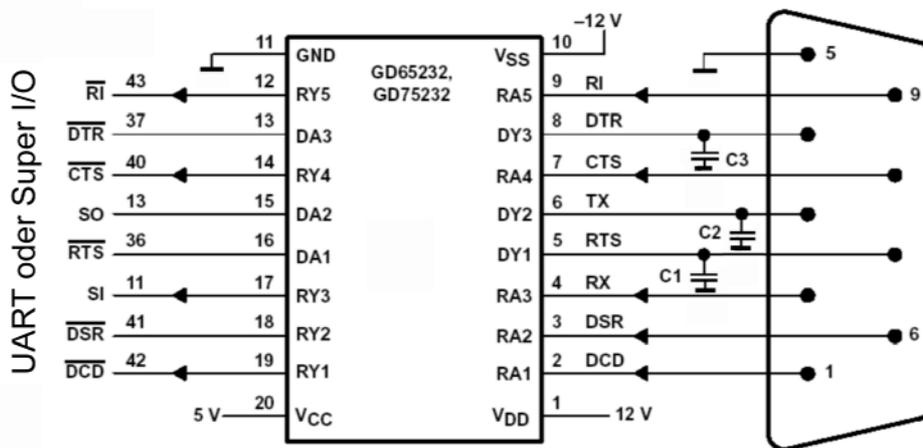


Abbildung 8.30 Kombinationsschaltkreis im Einsatz (Texas Instruments)

Erklärung:

Das ist der einzige Schaltkreis zwischen UART (oder dem betreffenden E-A-Steuerschaltkreis) und dem Steckverbinder der Schnittstelle. In ortsfesten PCs setzt man vorzugsweise Schaltkreise ein, die ihre Versorgungsspannungen direkt aus dem Netzteil beziehen. Versorgung der Treiber: V_{DD} (+ 12 V) und V_{SS} (- 12 V), Versorgung der Empfänger: V_{CC} (+ 5 V).

Zusatzbeschaltung

Sie hat folgende Aufgaben:

- Verringerung der Flankensteilheit auf die standardgemäße Größenordnung von 30 V/ μ s (Treiberausgänge),
- Ausfiltern von Störimpulsen (Empfängereingänge),
- ESD- bzw. Überspannungsschutz (alle Schnittstellensignale).

Moderne Schaltkreise kommen typischerweise ohne jede Zusatzbeschaltung aus. Die elementare ESD-Festigkeit (um die EMV-Anforderungen (CE) zu erfüllen) ist eingebaut. Typische ESD-Spannungsfestigkeitswerte: ± 2 kV, ± 5 kV, ± 10 kV, ± 15 kV (jeweils gemäß dem sog. Human Body Model (HBM) der ESD-Entladung).

Gelegentlich werden Kondensatoren vorgesehen. Richtwert: 330...470 pF nach Masse. In der Abbildung sind die Sendesignale mit jeweils 330 pF (typisch) beschaltet (C1...C3), um die Flankensteilheit zu begrenzen.

Manchmal hat man alle Schnittstellenleitungen mit Kondensatoren beschaltet. Sie filtern zwar Störungen aus, tragen aber zur kapazitiven Belastung der Signalwege bei. Hierdurch verringern sich die Maximalwerte der Leitungslänge oder der Datenrate.

Hinweis:

Ältere Hardware hat man gelegentlich für eine maximale Datenrate von 19 200 Bits/s ausgelegt und mit entsprechend großzügig dimensionierten Filterkondensatoren bestückt. Das kann bei höheren Datenraten (moderne Modems, PC-Direktverbindung) Probleme bringen.

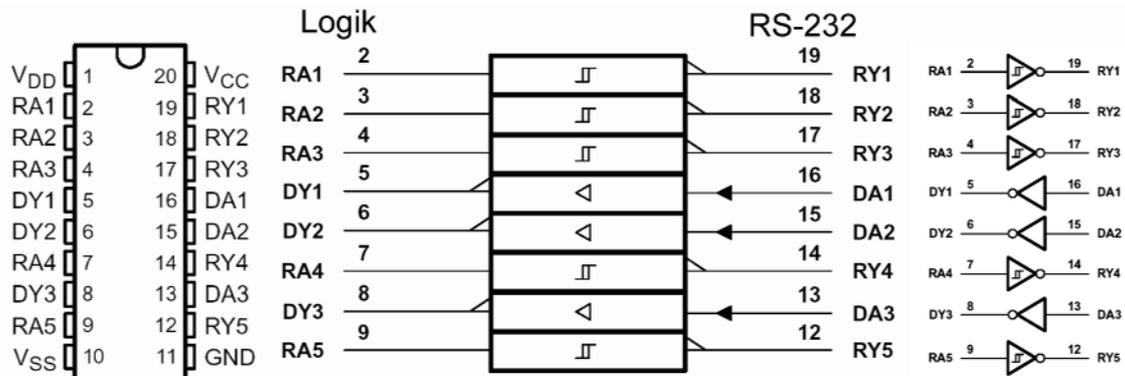


Abbildung 8.31 DCE-Kombinationsschaltkreis (Texas Instruments)

Erklärung:

Diese Schaltkreise können 5 Signale treiben und 3 empfangen. Sie dienen - in der DCE - gleichsam als Gegenstück zu den Schaltkreisen gemäß Abbildung 8.29. Typenbezeichnungen (Beispiele): GD 65233, GD 75233, 75C186.

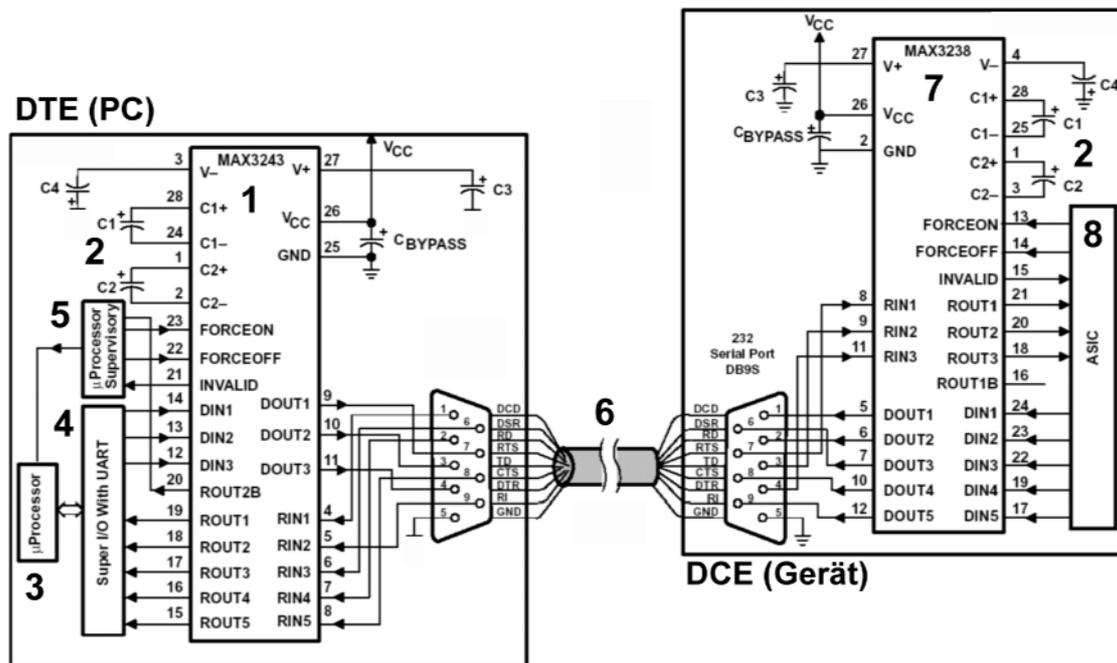


Abbildung 8.32 Kombinationsschaltkreise im Einsatz (Maxim)

Erklärung:

1 - Treiber-Empfänger-Kombination (DTE); 2 - Kondensatoren der Ladungspumpen; 3 - Prozessor; 4 - UART bzw. E-A-Steuerschaltkreis; 5 - Stromsparhardware; 6 - Schnittstellenkabel; 7 - Treiber-Empfänger-Kombination (DCE); 8 - DCE-Hardware (ASIC, Mikrocontroller o. dergl.). Die Abbildung zeigt Schaltkreise, die vor allem in portablen PCs und Geräten zum Einsatz kommen

Typische Besonderheiten:

- Versorgung mit + 5 V oder + 3,3 V. Die Schaltkreise enthalten Ladungspumpen, um die positiven und negativen Spannungen zum Treiben der Interfacesignale bereitzustellen. Die Ladungspumpen erfordern entsprechende Kondensatoren (Richtwerte: 47 nF...1 μ F) als Außenbeschaltung.
- Stromsparen. Die Schaltkreise kann man in einen Stromsparmodus schalten, wenn das Interface nicht angesteuert wird (Einzelheiten im Anschluß an Abbildung 8.34).

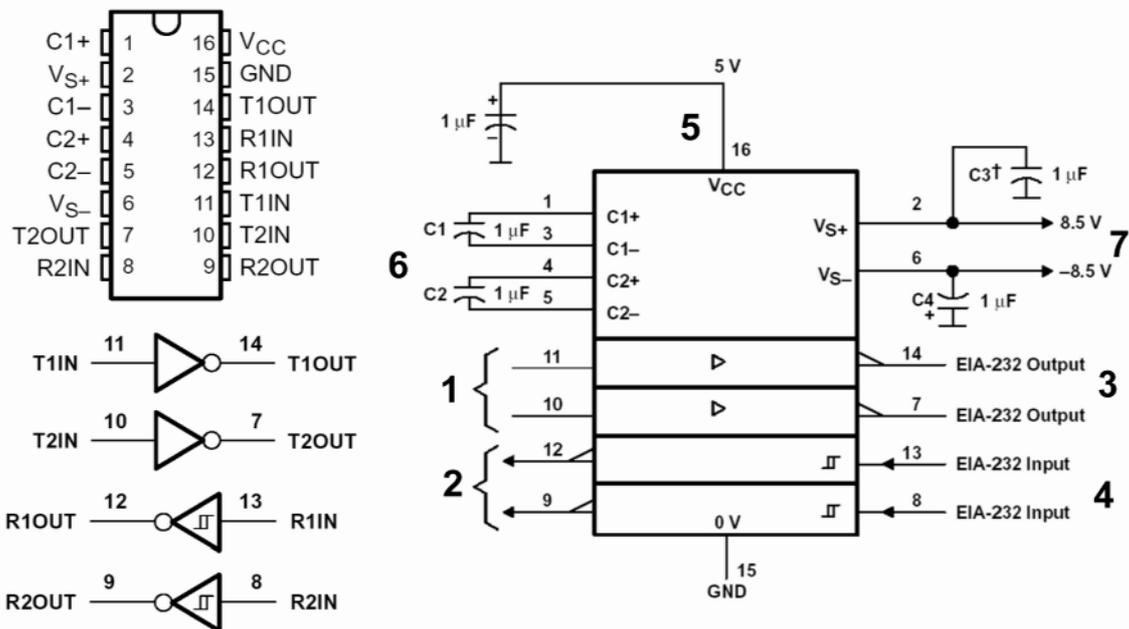


Abbildung 8.33 Ein einfacher universeller Kombinationsschaltkreis (Texas Instruments)

Erklärung:

Nicht alle Geräte nutzen alle Signale der seriellen Schnittstelle. Der Schaltkreistyp MAX232 (von mehreren Anbietern verfügbar) ist ein Industriestandard für derartige Einsatzfälle. Er hat zwei Treiber und zwei Empfänger^{*)}. 1 - empfangene Signale (zur Logik); 2 - zu treibende Signale (aus Logik); 3 - Schnittstellenausgänge; 4 - Schnittstelleneingänge; 5 - Speisespannungseingang (+ 5 V) mit Siebkondensator; 6 - Kondensatoren der Ladungspumpen; 7 - von den Ladungspumpen erzeugte Versorgungsspannungen (mit Ladekondensatoren beschaltet). Zum Betrieb des Schaltkreises sind alle dargestellten Kondensatoren erforderlich^{**)}. Sendesignalpegel: $\pm 7...8$ V, Treiberkurzschlußstrom: 10 mA (typische Werte). Die Versorgungsspannungsanschlüsse 7 können anderweitig angezapft werden. Es sind aber nur geringe Ströme entnehmbar (beim MAX232 höchstens 2 mA).

^{*)}: ausreichend für jeweils ein Datensignal und ein Handshaking-Signal, z. B. TxD, RTS und RxD, CTS.

^{**)}: es gibt auch Typen, die keine Kondensatorbeschaltung benötigen (Beispiel: MAX203).

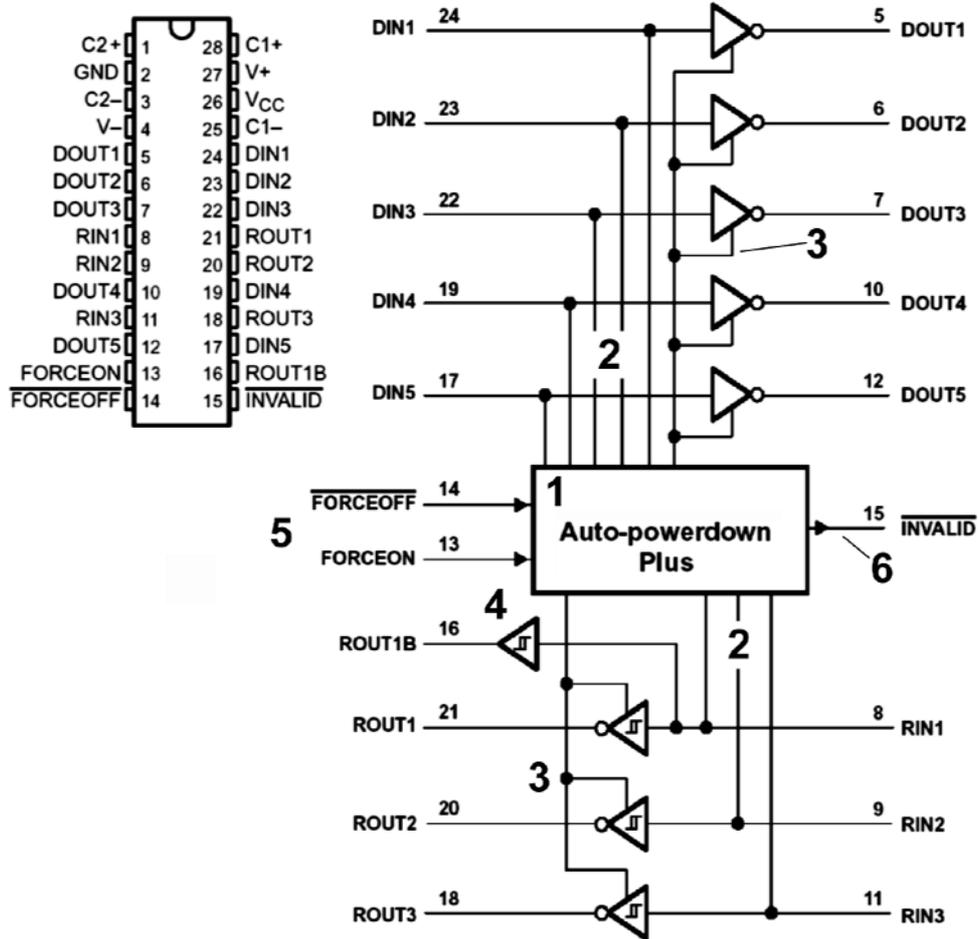


Abbildung 8.34 DTE-Kombinationsschaltkreis für portable Geräte (Texas Instruments). Erklärung im Anschluß an Abbildung 8.35

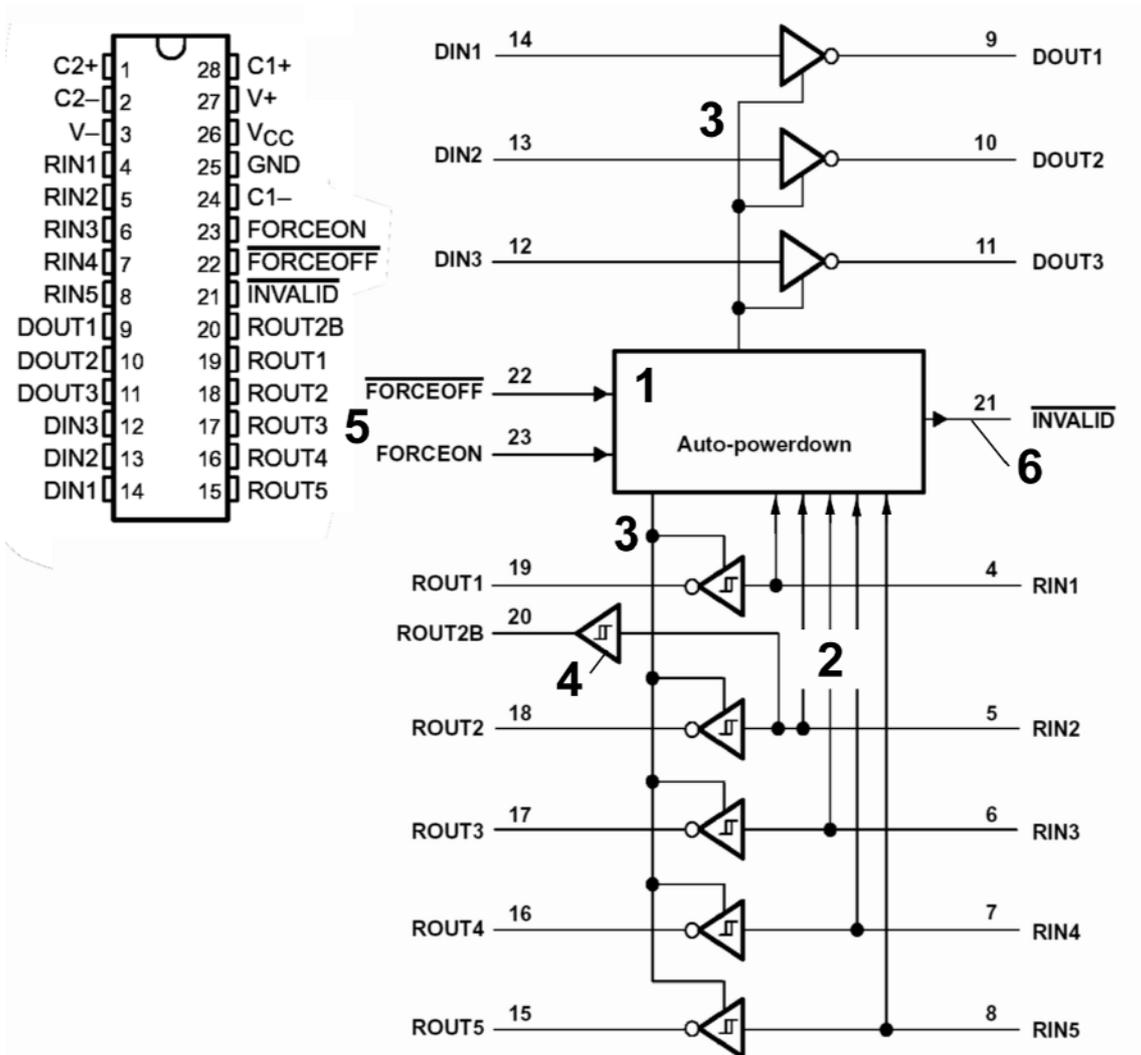


Abbildung 8.35 DCE-Kombinationsschaltkreis für portable Geräte (Texas Instruments)

Erklärung:

Die Abbildungen zeigen die Schaltkreistypen MAX3243 und MAX 3238 (vgl. die Positionen 1 und 7 in Abbildung 8.32). 1 - Stromsparsteuerung; 2 - Aktivitätsüberwachung der Eingänge; 3 - Abschalten der Treiber und Empfänger (zum Stromsparen); 4 - ständig aktiver Treiber (nicht in das Stromsparen einbezogen); 5 - Stromsparsteuersignale; 6 - Empfangssignalgültigkeitsanzeige. Nur eine Speisepannung (3...5 V). Erzeugung der Treiberspannungen über Ladungspumpen (Außenbeschaltung mit 4 Kondensatoren zu 0,1 μ F). Sendesignalpegel: $\pm 5,4$ V, Treiberkurzschlußstrom 30...40 mA (typische Werte). Die Schaltkreise unterstützen Datenraten bis zu 250 kBits/s. Die ESD-Spannungsfestigkeit: ± 15 kV (wichtig für den portablen Einsatz, wo die Schnittstellenkabel immer wieder gesteckt und abgezogen werden). Die Ruhestromaufnahme (im Stromsparszustand) beträgt typischerweise 1 μ A (maximal 10 μ A).

Stromsparvorkehrungen:

- zwangsweises Stromsparen: kann mit FORCEOFF = Low erzwungen werden,
- kein Stromsparen: FORCEOFF = High, FORCEON = Low,
- automatisches Stromsparen (Auto-Powerdown): FORCEOFF = High, FORCEON = High. Die Eingänge der Empfänger (Schnittstellensignale) werden überwacht. Beim MAX3238 sind zudem die Eingänge der Treiber (Logiksignale) in die Überwachung einbezogen (Auto-Powerdown Plus)*). Gibt es über ca. 30 s**) hinweg keine Signaländerung, werden die Ladungspumpen und Treiberstufen abgeschaltet (Stromsparzustand mit typischerweise 1µA Stromaufnahme). Werden in diesem Zustand Signaländerungen an den besagten Eingängen erkannt, wird der Normalbetrieb wieder aufgenommen (innerhalb von 25 µs).
- Verlassen des Stromsparzustandes:
 - automatisch vom Schaltkreis bei Signaländerung (Auto-Powerdown),
 - vom System. Hierzu können die Empfangssignalgültigkeitsanzeige oder der Ausgang des ständig aktiven Empfängers 4 (ROUT2B oder ROUT1B) ausgewertet werden. Der entsprechende Schnittstelleneingang wird in der DTE typischerweise mit dem RI-Signal beschaltet (vgl. auch Abbildung 8.32).

*) : werden die Treibereingänge mit überwacht, so wird der Stromsparzustand automatisch verlassen, sobald der eigene Schnittstellensteuerschaltkreis (UART) zu senden beginnt. Fehlt diese Überwachung (Abbildung 8.34), so muß FORCEON vor dem Senden erregt werden, um den Stromsparzustand auszuschalten (softwareseitige Steuerung).

**) : typischer Wert. Zeitbereich lt. Datenblatt: 15...60 s.

Empfangssignalgültigkeitsanzeige:

- INVALID schaltet auf Low, wenn an allen Empfängereingängen über wenigstens 30 µs hinweg ein Signalpegel zwischen - 0,3 V und + 0,3 V anliegt (ungültige Empfangspegel),
- INVALID schaltet auf High, sobald an wenigstens einem Empfängereingang ein Signal anliegt, dessen Pegel + 2,7 V über - oder - 2,7 V unterschreitet (gültiger Empfangspegel).

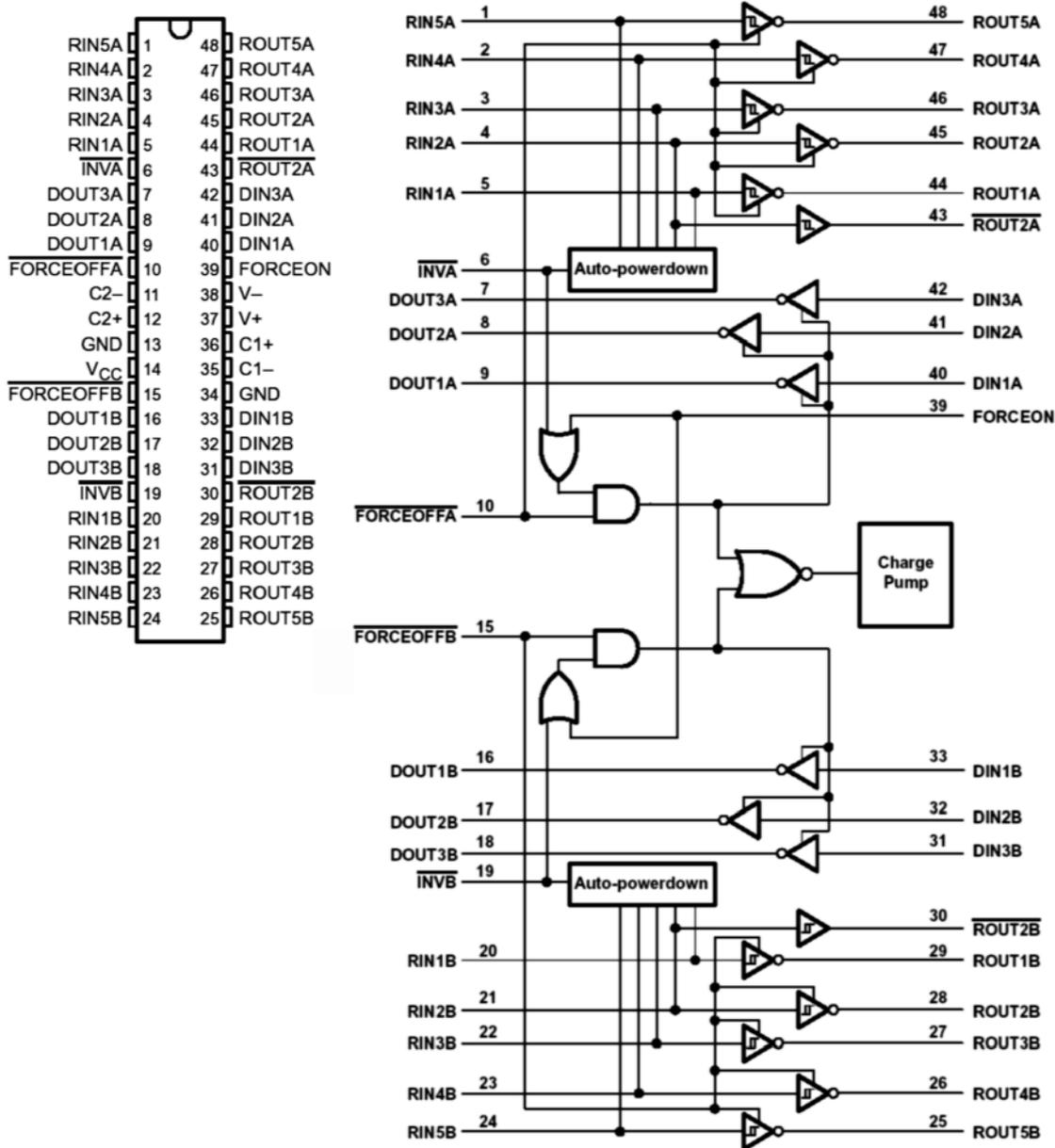


Abbildung 8.36 DTE-Kombinationsschaltkreis für zwei Schnittstellen (Texas Instruments)

Erklärung:

Diese Schaltkreise (65/75C23243) enthalten Ladungspumpen, Treiber, Empfänger und Stromsparschaltungen für zwei Schnittstellen. Die technischen Daten und die Stromsparsvorkehrungen entsprechen weitgehend denen des Schaltkreise von Abbildung 8.34. Die Schnittstellen haben eigenen Stromsparschaltungen, werden aber über gemeinsame Ladungspumpen gespeist. Deshalb kann erst dann richtig Strom gespart werden, wenn beide Schnittstellen nichts zu tun haben.

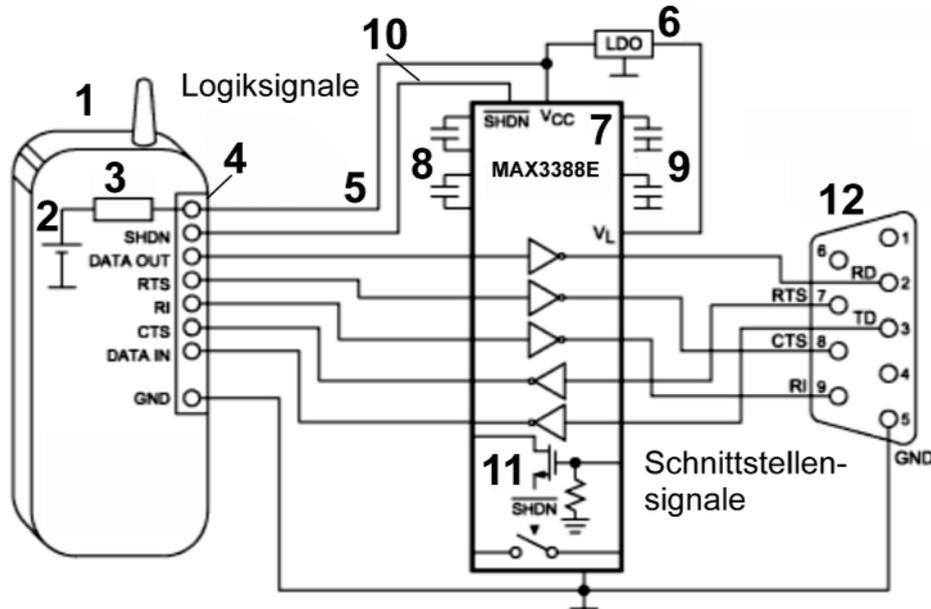


Abbildung 8.37 Schnittstellenschaltkreis in einem Verbindungskabel (Maxim)

Erklärung:

1 - portables Gerät (z. B. Mobiltelefon); 2 - Akku; 3 - Sicherung; 4 - Subminiatursteckverbinder; 5 - Speisespannungszuführung; 6 - Spannungsregler (LDO); 7 - Kombinationsschaltkreis; 8 - Kondensatoren für Ladungspumpen; 9 - Ladekondensatoren (vgl. Abbildung 8. 33); 10 - Stromsparsteuerleitung; 11 - zusätzlicher FET-Leistungsschalter (zu beliebigen Sonderfunktionen ausnutzbar); 12 - PC-seitiger Steckverbinder.

Viele Kleingeräte werden über eine serielle Schnittstelle mit dem PC verbunden. Um im Gerät Platz zu sparen, sieht man dort einen miniaturisierten Steckverbinder vor und bringt den Schnittstellenschaltkreis im Verbindungskabel^{*)} oder in der Aufnahmeschale (Cradle) an, in der das Gerät abgelegt wird, um Daten mit dem PC auszutauschen und den Akku aufzuladen. Die Abbildung zeigt einen eigens für solche Anwendungen entwickelten Schaltkreis, der hier an ein Mobiltelefon angeschlossen ist. Spannungsversorgung: aus dem Gerät. Die Speisespannung wird über Spannungsregler (LDO) stabilisiert, um die Schwellwerte und Sendesignalpegel präzise einzuhalten^{**)}. Eine weitere Besonderheit: auch die Logiksignale sind auf berührbare Steckverbinder (des Kabels) geführt und müssen somit gegen ESD gesichert werden. Die Alternative: Schnittstellenschaltkreise, die so klein sind, daß man sie ohne weiteres in das portable Gerät einbauen kann.

^{*)}: z. B. in einem entsprechend bemessenen Steckergehäuse.

^{**)}: es geht darum, mit möglichst geringem Signalhub auszukommen (Stromsparen). Man beschränkt sich deshalb auf Pegel gemäß EIA-562. Dabei möchte man den Mindestwert ($\pm 3,7$ V) sicher einhalten.

Hinweis: Eine solche Anordnung verträgt offensichtlich keine längeren Kabel (Maximallänge typischerweise 2...3 m).

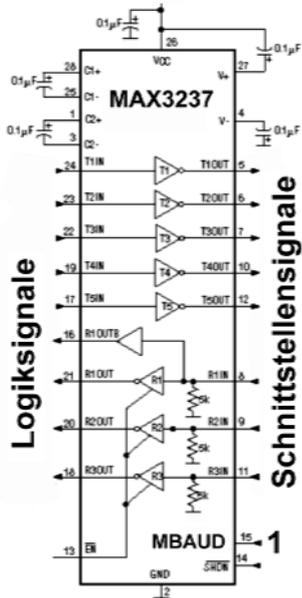


Abbildung 8.38 DCE-Kombinationsschaltkreis, der auf höhere Datenraten umschaltbar ist (MegaBaud-Typenreihe; Maxim)

Erklärung:

Die Datenrate einer RS-232-Schnittstelle ist grundsätzlich auf höchstens 200 kBits/s beschränkt, und zwar wegen der geforderten Flankensteilheit von $30 \text{ V}/\mu\text{s}$. Schaltkreise, die steilere Flanken erzeugen, entsprechen nicht mehr dem Standard. Ein Ausweg: man sieht Umschaltmöglichkeiten vor. Der hier gezeigte Schaltkreis hat einen Datenratensteuereingang 1 (MBAUD):

- MBAUD = Low: bis zu 250 MBits/s bei maximal $30 \text{ V}/\mu\text{s}$ (RS-232),
- MBAUD = High: 1 MBits/s bei $150 \text{ V}/\mu\text{s}$.

Hinweis:

Die höhere Datenrate kann nur dann genutzt werden, wenn die Schaltkreise auf beiden Seiten entsprechend eingestellt sind. Die Verkabelung muß den elektrischen Anforderungen genügen, und die UARTs müssen die Datenrate unterstützen (was typischerweise vor allem von der Frequenz des Bittaktes abhängt).

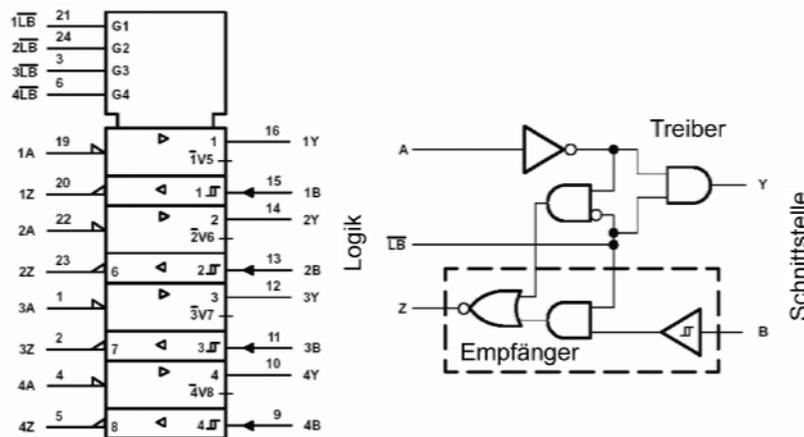


Abbildung 8.39 Schnittstellenschaltkreis mit Selbsttestvorkehrungen (Texas Instruments)

Erklärung:

Eine bequeme Möglichkeit, serielle Schnittstellen zu prüfen, ist der sogenannte Kurzschlußtest (Rückführung von Treiberausgängen auf Empfängereingänge, Loopback Diagnostics). Dazu kann man z. B. einen Kurzschlußstecker an die Schnittstelle anschließen. Es gibt aber auch Treiber- Empfänger-Kombinationen (z. B. den hier gezeigten Typ 75186 mit 4 Treibern und 4 Empfängern), die man intern in eine solche Kurzschluß-Betriebsart versetzen kann. Der Vorteil: Zum Testen muß man die Kabel-

verbindungen nicht trennen. Einschalten des Prüfzustandes: durch Aktivieren des Signals LB (Loopback). Ist LB = 0, so geht der Treiberausgang auf Mark-Pegel, und das Treibereingangssignal wird auf den Empfängerzugang zurückgeführt (Signalweg von A nach Z).

Hinweis:

Über diese sog. lokale Prüfschleife kann man nur die Logik prüfen, nicht aber die eigentlichen Treiber- und Empfängerstufen der Schnittstelle. Anwendung: im Sinne der Differentialdiagnose (wenn die Kommunikation über die lokale Prüfschleife funktioniert, nicht aber über die Schnittstelle, so ist eigentliche Schnittstellenhardware verdächtig (Treiber- und Empfängerstufen, Steckverbinder, Kabel)).

8.3.5. Die serielle Schnittstelle als Speisespannungsquelle

Manche Geräte (z. B. Mäuse und Interfacewandler) nutzen die serielle Schnittstelle zur Spannungsversorgung. Hierzu werden Leitungen angezapft, die nicht zur Datenübertragung ausgenutzt, sondern auf festen Pegeln gehalten werden. Manchmal funktioniert das problemlos, manchmal ist es eine Fehlerquelle. Besonders problematisch: Schnittstellen, die von Schaltkreisen getrieben werden, deren Versorgungsspannungen mit Ladungspumpen erzeugt werden. Im Verdachtsfall wäre nachzumessen.

Die entnehmbare Leistung

Ein Treiber muß in der Lage sein, bei einer Belastung mit einem Empfänger-Eingangswiderstand von (schlimmstenfalls) 3 kOhm einen Pegel von wenigstens 5 V zu liefern. $5\text{ V} : 3\text{ kOhm} \approx 1,6\text{ mA}$. Das entspricht einer Leistung von $\approx 8\text{ mW}$. Zumeist kann aber eine höhere Leistung entnommen werden (Abbildung 8.40, Tabelle 8.8).

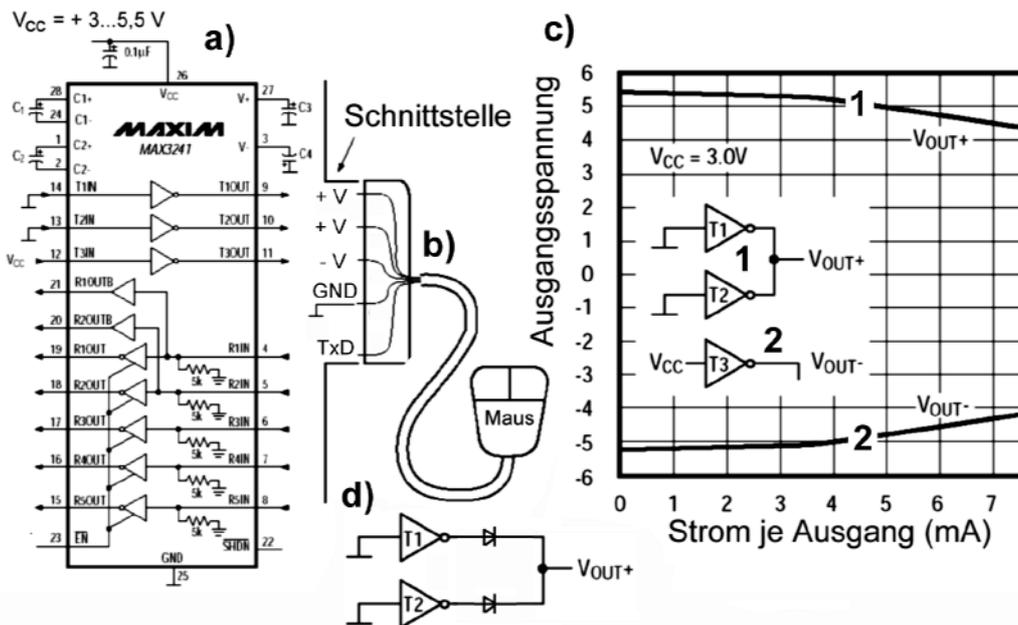


Abbildung 8.40 Spannungsvorsorgung einer seriellen Maus (Maxim)

Erklärung zu Abb. 8.40:

a) - DTE-Kombinationsschaltkreis mit Ladungspumpen; b) - Anschluß einer seriellen Maus. Es wird nur TxD genutzt. Zwei weitere Leitungen liefern die positive Versorgungsspannung (V+), eine Leitung die negative (V-). c) - Lastkennlinien der Treiberausgänge (Ausgangsspannung bei entnommenem Strom). 1 - positive Spannung (V_{OUT+}), zwei Treiberausgänge parallelgeschaltet; 2 - negative Spannung (V_{OUT-}). d) - eine manchmal sinnvolle Verbesserung: die parallelgeschalteten Treiberausgänge sind (im Gerät) über Schottky-Dioden voneinander entkoppelt.

Schaltkreistyp	Speisespannung(en)	Ausgangsspannung	
		Mark (negativ)	Space (positiv)
1488	± 12 V	typisch 30 mW (3 mA bei - 10 V, 6 mA bei - 5 V)	typisch 30 mW (3 mA bei + 10 V, 6 mA bei + 5 V)
MAX232	+ 5 V	17 mW (3,5 mA bei - 5 V)	25 mW (5 mA bei + 5 V)
MAX3244	+ 3,3 V	10 mW (2 mA bei - 5 V)	11 mW (2,2 mA bei + 5 V)

Tabelle 8.8 Über Schnittstellenleitungen entnehmbare Versorgungsspannungen
(nach: B&B Electronics)

Hinweis:

Schnittstellenschaltkreise, die nur eine Versorgungsspannung haben, liefern bei Space-Pegel (positive Spannung) typischerweise mehr Leistung als bei Mark-Pegel (negative Spannung). Weshalb? - Weil die negative Spannung von einer nachgeschalteten Ladungspumpe erzeugt wird^{*)}. Typische Konfigurationen:

- der Space-Pegel stammt direkt von der Versorgungsspannung, der Mark-Pegel von einer nachgeschalteten Ladungspumpe,
- der Space-Pegel stammt von der ersten Ladungspumpe (z. B. als Spannungsverdoppler wirkend), der Mark-Pegel von einer nachgeschalteten Ladungspumpe, die als Inverter arbeitet.

^{*)}: die Ladungspumpe, die den Mark-Pegel liefert, hat einen höheren Innenwiderstand, weil sie der Quelle des Space-Pegels nachgeschaltet ist (Reihenschaltung zweier Spannungsquellen).

8.3.6. Signalbeschreibung

Signalpegel:

- Steuer- und Meldesignale: ein aktives Signal hat Mark-Pegel (negative Spannung), ein inaktives Space-Pegel (positive Spannung),
- TxD und RxD: führen Mark-Pegel (negative Spannung), wenn sie inaktiv sind (Stopbedingung; der erste Übergang nach Space gilt als Startbit).

8.3.6.1. Datenübertragung

TxD: Sendedaten (Transmit Data). Auch: TD

Über diese Leitung werden Daten von der DTE zur DCE übertragen.

RxD: Empfangsdaten (Receive Data). Auch: RD

Über diese Leitungen werden Daten von der DCE zur DTE übertragen

Zur Wirkungsweise:

- eine DTE sendet über TxD und empfängt über RxD. TxD ist Ausgang, RxD ist Eingang.
- eine DCE empfängt über TxD und sendet über RxD. TxD ist Eingang, RxD ist Ausgang.
- werden 2 DTE zusammengeschaltet, müssen TxD und RxD über Kreuz verbunden werden (Nullmodemverbindung).

8.3.6.2. Betriebsbereitschaft

DTR: Data Terminal Ready

DTR zeigt die Betriebsbereitschaft der DTE an. Ist DTR inaktiv, so ist die DTE nicht in der Lage, Daten zu übernehmen.

DSR: Data Set Ready

DSR zeigt die Betriebsbereitschaft der DCE an. Ist DSR inaktiv, so ist die DCE nicht in der Lage, Daten zu übernehmen.

Zur Wirkungsweise:

- das Signalpaar DTR/DSR betrifft den Zustand des Kommunikationskanals, an den die DCE angeschlossen ist. Zur Funktionsweise siehe Abschnitt 8.3.7.2.
- die DTE erregt DTR, um die DCE aufzufordern, eine Verbindung herzustellen. DTR ist Ausgang, DSR ist Eingang.
- die DCE erregt DSR, wenn die Verbindung steht. DTR ist Eingang, DSR ist Ausgang. DSR darf nur bei aktivem DTR erregt werden.
- die DTE kann auch DTR als Antwort auf RI erregen, um die DCE zu beauftragen, eine Verbindung herzustellen.

Hinweise:

1. Manchmal werden DTR und DSR nach dem Einschalten aktiviert, um anzuzeigen, daß die Hardware vorhanden und betriebsfähig ist (vgl. auch Abschnitt 8.3.7.5.).
2. Bei Nullmodemverbindungen ist das Aktivieren von DTR ein bequemes Mittel, einen Mark-Pegel zum Beschalten von Eingängen bereitzustellen (vgl. Abbildung 9.3 a), b), c), e)).
3. Manchmal wird DSR nicht ausgewertet.
4. In manchen Plug&Play-Konfigurationen (das betrifft u. a. serielle Mäuse) dient DSR lediglich als Präsenzanzeige (Abschnitt 8.3.7.5.).

5. PCs erwarten oft einen Mark-Pegel an DSR. Auch bei Nullmodemverbindungen kann es vorkommen, daß ein aktives DSR erwartet wird. Behelf: Den DSR-Eingang mit dem DTR-Ausgang verbinden (vgl. Abbildung 9.3 a) und e)).
6. Gelegentlich werden die Signale anderweitig (nicht standardgemäß) ausgenutzt. Beispiel: Verwendung von DTR als Rücksetzsignal.

8.3.6.3. Empfangsbereitschaft (Handshaking)

RTS: Request to Send

RTS ist ein Steuersignal der DTE. RTS veranlaßt z. B. das Modem, den Träger einzuschalten, um senden zu können.

CTS: Clear to Send

CTS ist eine Zustandsmeldung der DCE. Bei aktivem CTS ist die DCE sendebereit.

Zur Wirkungsweise:

- das Signalpaar RTS/CTS betrifft die Bereitschaft zum Empfangen von Daten (Hardware-Handshaking). Zur Funktionsweise siehe Abschnitt 8.3.7.3.
- eine DTE sendet RTS (Anzeige der eigenen Bereitschaft) und empfängt CTS (hierüber erkennt sie, daß die DCE bereit ist). RTS ist Ausgang, CTS ist Eingang.
- eine DCE empfängt RTS (hierüber erkennt sie, daß die DTE bereit ist) und sendet CTS (Anzeige der eigenen Bereitschaft). RTS ist Eingang, CTS ist Ausgang.
- werden 2 DTE zusammengeschaltet, müssen RTS und CTS über Kreuz verbunden werden (Nullmodemverbindung).

8.3.6.4. Betriebsbereitschaft der Fernverbindung

DCD: Data Carrier Detect

DCD wird von der DCE dann aktiviert, wenn sie ein Trägersignal auf der Fernverbindung erkannt hat. Das ist typischerweise dann der Fall, wenn am anderen Ende der Fernverbindung die dortige DCE aktiv geworden ist und den Träger auf die Fernleitung gelegt hat.

Hinweise:

1. Bei Halbduplexbetrieb wird DCD typischerweise deaktiviert, wenn RTS aktiv ist (wenn also die DTE sendet).
2. Manchmal wird DCD nicht ausgewertet.
3. Bei Nullmodemverbindungen kann es sein, daß ein aktives DCD erwartet wird. Behelf: den DCD-Eingang mit dem DTR-Ausgang verbinden (vgl. Abbildung 9.3a, b).

8.3.6.5. Rufsignal

RI: Ring Indicator

RI wird von der DCE aktiviert, wenn sie über die Fernverbindung angerufen wird. Die Erregung von RI entspricht typischerweise dem hörbaren Rufton. In Nullmodemverbindungen wird RI nicht genutzt.

8.3.7. Funktionsbeschreibung

8.3.7.1. Datenübertragung

Zum Ablauf der bitseriellen Datenübertragung vgl. die Abbildungen 8.4, 8.5 und 8.25.

Einzelheiten der Zeichenübertragung

Beide Einrichtungen sind auf gleiche Betriebskennwerte einzustellen. Das betrifft:

- die Bitrate (Baudrate)*),
- die Anzahl der Bits je Zeichen (Zeichenlänge). Einstellbar; 5...7; typisch: 7 oder 8.
- die Paritätsprüfung. Alternativen: ohne (N = None), gerade Parität (E = Even), ungerade Parität (O = Odd),
- die Anzahl der Stopbits (1, 1½, 2).

*) die Gleichsetzung (1 Baud = 1 Bit/s) ist hier berechtigt (binäre Übertragung).

Gerade und ungerade Parität

Die Paritätsbezeichnung betrifft die Anzahl in allen Bits (Zeichenbits + Paritätsbit):

- gerade Parität (Even Parity): die Anzahl der Einsen ist gerade*),
- ungerade Parität (Odd Parity): die Anzahl der Einsen ist ungerade.

Das Paritätsbit wird im Sender jeweils so gebildet, daß sich die gewünschte Parität ergibt.

*) die Null gilt als gerade Zahl. Ein Zeichen 00H = 0000 0000B wird somit bei gerader Parität durch eine 0 in der Paritätsbitposition ergänzt.

Kurzbezeichnung der Übertragungseinstellung: durch Aneinanderreihung der einzelnen Angaben (Bits/Zeichen, Paritätsprüfung, Stopbits). Beispiele:

- 8, N, 1 (auch: 8-N-1) = 8 Bits, ohne Parität, 1 Stopbit,
- 7, E, 2 (auch: 7-E-2) = 7 Bits, Prüfung auf gerade Parität, 2 Stopbits.

9-Bit-Übertragung

Eine Besonderheit im Bereich der Mikrocontroller. Serielle Schnittstellen werden gern verwendet, um kleine Netzwerke aufzubauen. Hierbei nutzt man die Position des Paritätsbits aus, um als 9. Bit ein Steuerbit zu übertragen, das dazu dient, zwischen Daten und Adressen zu unterscheiden:

- 9. Bit = 0: Datenübertragung. Das Zeichen ist ein Datenbyte.
- 9. Bit = 1: Adreßübertragung. Das Zeichen ist eine Netzwerkadresse. Entsprechend ausgerüstete Schnittstellen vergleichen dieses Zeichen mit einer jeweils fest eingestellten Adresse (des Netzwerkknotens).

Die typischen Schnittstellensteuerschaltkreise der PCs unterstützen diese Betriebsart nicht. Sie kann aber softwareseitig nachgebildet werden (Emulation durch Erzwingen einer bestimmten Paritätsbitbelegung (Stick Parity)).

Übertragungsrichtungen:

- Simplex. Nur eine Übertragungsrichtung. Beispiel: serielle Mäuse (die nur senden können).
- Halbduplex. Zwei Übertragungsrichtungen. Es kann aber zu einer Zeit nur ein Signalweg betrieben werden (nur Senden oder nur Empfangen).
- Vollduplex. Zwei Übertragungsrichtungen. Es kann gleichzeitig gesendet und empfangen werden.

Grundsätzlich können für beide Übertragungsrichtungen unterschiedliche Betriebskennwerte gewählt werden. In den typischen Schnittstellensteuerschaltkreisen (UARTs) der PCs gelten die Einstellungen aber stets für beide Übertragungsrichtungen gemeinsam. Deshalb kann, wenn mit unterschiedlichen Kennwerten gearbeitet werden muß, nur ein Halbduplexbetrieb unterstützt werden (wobei der Schaltkreis zum Senden oder Empfangen jeweils entsprechend umzustellen ist).

Senden und Empfangen in Abhängigkeit von den Steuer- und Meldesignalen

Die einschlägigen Vorkehrungen können freizügig genutzt werden. Demgemäß gibt es verschiedene Verbindungsstrukturen (vgl. die Abschnitte 8.3.1.2. und 8.3.1.2.).

Grundregeln des Sendens und Empfangens (DTE-DCE-Kommunikation; herkömmliches Hardware-Handshaking):

- die DTE sendet nur dann (über TxD), wenn DSR, DTR, RTS und CTS alle aktiv sind (beide Einrichtungen betriebsbereit, DTE sendebereit, DCE empfangsbereit),
- die DCE sendet nur dann (über RxD), wenn DCD aktiv ist, wenn also die Fernverbindung Trägersignal führt.

8.3.7.2. Betriebsbereitschaft (DTR-DSR-Signalisierung)

Durch Aktivieren von DTR fordert die DTE die DCE auf, die Datenübertragung einzuleiten (hierzu ist typischerweise die Fernverbindung zu aktivieren). Ist die Fernverbindung bereit, so aktiviert die DCE DSR, woraufhin die Datenübertragung beginnt. Schaltet die DTE DTR inaktiv, so gibt die DCE die Fernverbindung frei, nachdem alle Daten übertragen worden sind (Abbildungen 8.41, 8.42).

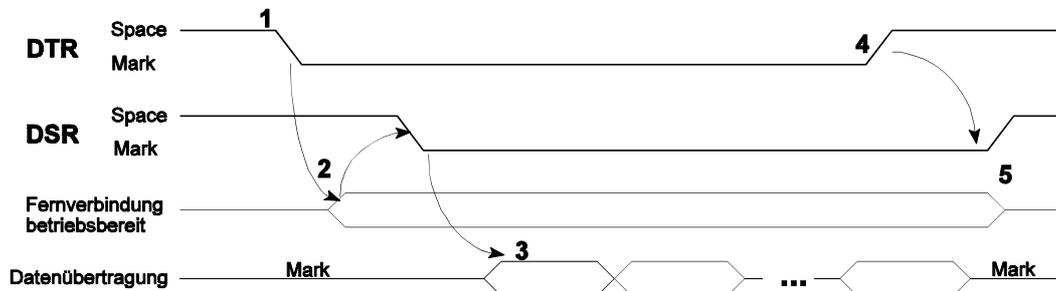


Abbildung 8.41 DTR-DSR-Signalisierung

Erklärung:

1 - DTE aktiviert DTR. 2 - daraufhin schaltet die DCE die Fernverbindung betriebsbereit. 3 - ist die Fernverbindung betriebsbereit, aktiviert die DCE DSR. 3 - jetzt beginnt die Datenübertragung. 4 - die DTE signalisiert das Ende der Datenübertragung durch Deaktivieren von DTR. 5 - die DCE überträgt die noch anhängigen Daten, gibt die Fernverbindung frei und deaktiviert DSR.

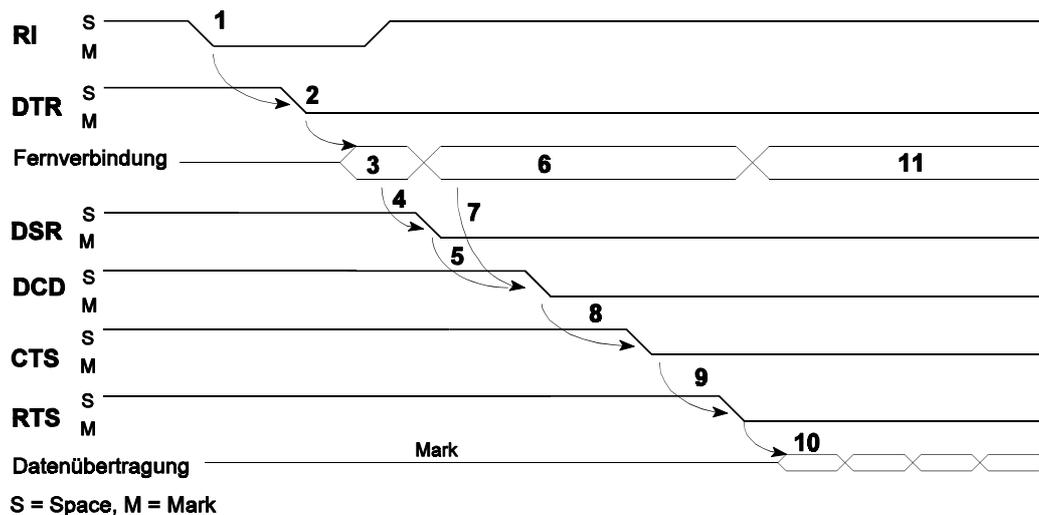


Abbildung 8.42 Verbindungsaufnahme durch Anruf

Erklärung:

1 - die DCE wird über die Fernverbindung angerufen. Daraufhin aktiviert sie RI. 2 - die DTE erkennt RI, macht ggf. die Schnittstelle betriebsfähig*) und aktiviert DTR. 3 - die DCE schaltet sich daraufhin auf die Fernverbindung auf. 4 - steht die Fernverbindung, so aktiviert die DCE DSR. 5 - das veranlaßt die DTE, auf das DCD-Signal zu warten. 6 - die DCE erkennt das Trägersignal der Gegenstelle. 7 - daraufhin aktiviert die DCE DCD; 8, 9 - jetzt beginnt das typische CTS-RTS-Signalspiel; 10 - sind DTR, DSR, CTS und RTS alle aktiv, so beginnt die Datenübertragung.

*) z. B. durch entsprechende programmseitige Einstellungen in der UART

8.3.7.3. Empfangsbereitschaft (RTS-CTS-Signalisierung; Hardware-Handshaking)

Das Handshaking dient dazu, die Arbeitsgeschwindigkeit beider Einrichtungen auf der Ebene der zeichenweisen Übertragung aneinander anzupassen.

Das herkömmliche RTS-CTS-Handshaking (Simplex- oder Vollduplexbetrieb)

Wenn die DTE Daten senden möchte, erregt sie RTS. Ist die DCE zum Entgegennehmen der Daten bereit, so antwortet sie mit CTS. Die DTE schaltet RTS ab, wenn keine Daten mehr zu senden sind. Die DCE schaltet CTS ab, nachdem die letzten Daten übertragen worden sind. Erst dann darf die DTE wieder senden (Abbildung 8.43).

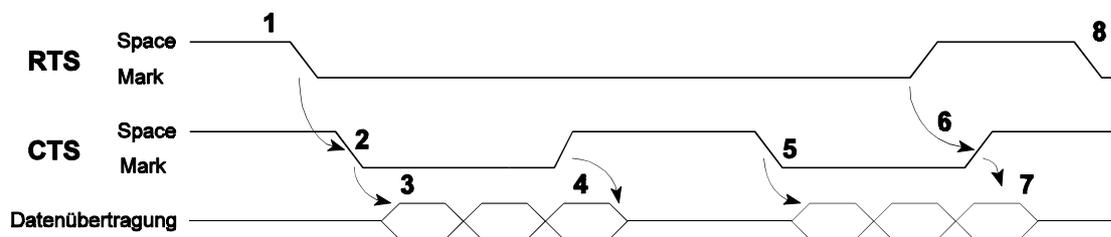


Abbildung 8.43 RTS-CTS-Handshaking

Erklärung zu Abbildung 8.43:

1 - die DTE aktiviert RTS. 2 - die DCE antwortet mit CTS. 3 - die Datenübertragung (DTE => DCE (über TxD)) beginnt. 4 - die DCE ist zeitweilig nicht in der Lage, weitere Daten anzunehmen, deshalb deaktiviert sie CTS. 5 - jetzt kann die DCE wieder Daten annehmen. 6 - die DTE beendet die Datenübertragung durch Deaktivieren von RTS. Daraufhin deaktiviert die DCE CTS und bringt die Datenübertragung zu Ende. 8 - die DTE darf RTS erst dann erneut aktivieren, wenn CTS inaktiv geworden ist.

Halbduplexbetrieb

RTS dient zum Umschalten zwischen Senden und Empfangen:

- RTS inaktiv: DCE im Sendemodus,
- RTS aktiv: DCE im Empfangsmodus.

Anwendungsbeispiel: Sende-Empfangs-Umschaltung von RS-485-Zweidrahtverbindungen (Abschnitt 8.6.5.).

RTS und CTS als wechselseitige Empfangsbereitschaftsanzeige

Jede Einrichtung nutzt die von ihr erregte Leitung, um der jeweils anderen Einrichtung anzuzeigen, daß sie zum Empfangen von Daten bereit ist (Abbildung 8.44). Diese Signalisierungsweise - zuvor häufig verwendet, aber nicht standardisiert - wurde in den Standard RS-232F aufgenommen.

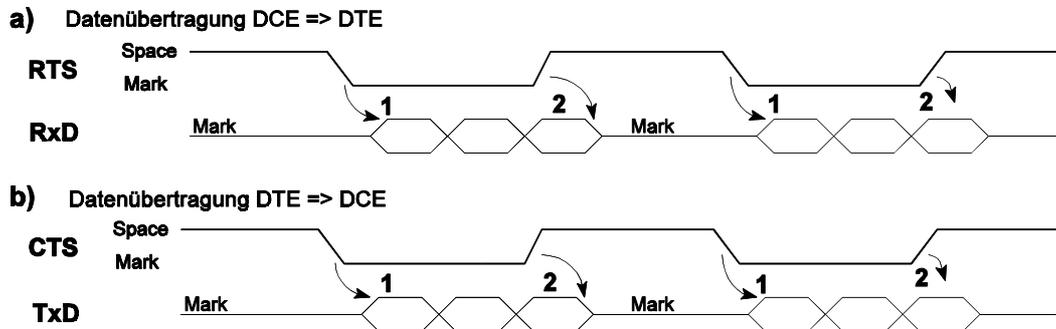


Abbildung 8.44 RTS und CTS als wechselseitige Empfangsbereitschaftsanzeige

Erklärung:

1 - Beginn der Datenübertragung nach Erregung von RTS oder CTS; 2 - durch Deaktivieren von RTS oder CTS wird die Datenübertragung zeitweilig angehalten (und zwar dann, wenn die betreffende Einrichtung keine Daten mehr annehmen kann).

- a) RTS: DTE ist bereit, Daten von der DCE zu empfangen (über RxD),
- b) CTS: DCE ist bereit, Daten von der DTE zu empfangen (über TxD).

8.3.7.4. Software-Handshaking

Zum Software-Handshaking braucht man keine besonderen Interfaceleitungen. Vielmehr wird die der eigentlichen Übertragungsrichtung entgegengesetzte Datenleitung (also jene, die vom jeweiligen Empfänger zum jeweiligen Sender führt) zum Übertragen besonderer Synchronisationszeichen genutzt.

Es stehen zwei Protokolle zur Wahl:

- XON/XOFF-Protokoll. Der Empfänger sendet das Zeichen XON (13H), wenn er betriebsfähig ist, oder das Zeichen XOFF (11H), wenn er keine Daten übernehmen kann. Diese Zeichen werden nicht fortlaufend wiederholt, sondern immer nur dann übertragen, wenn ein Wechsel des Betriebszustandes eintritt. *Achtung:* XON/XOFF funktioniert sicher nur bis zu 1200, gelegentlich bis zu 2400 Bits/s.
- ETX/ACK-Protokoll. Der Empfänger zeigt seine Betriebsbereitschaft durch Senden des Zeichens ACK (06H) an. Daraufhin beginnt der Sender mit der Datenübertragung. Als letztes Zeichen wird ETX (03H) übertragen (Endekennung). Hat der Empfänger die übertragenen Daten verarbeitet und ist bereit, neue entgegenzunehmen, sendet er wiederum ACK. *Achtung:* Das Protokoll ist nicht anwendbar, wenn reine Binärdateien (mit 8-Bit-Bytes) zu übertragen sind, da die ETX-Bitkombination 03H) auch im normalen Datenstrom auftritt.

Hinweis:

Wenn die beteiligten Einrichtungen die Daten unter allen Umständen entgegennehmen können, sind keine Handshaking-Vorkehrungen notwendig.

8.3.7.5. Plug&Play-Signalisierung

Der einschlägige Standard: Plug and Play External COM Device Specification (Microsoft und Hayes; seit 1995). Es geht darum, Plug&Play-Identifikationsdaten vom Gerät zum PC zu übertragen. Dafür ist ein besonderes DTR-DSR-RTS-Signalspiel vorgesehen (Abbildung 8.45).

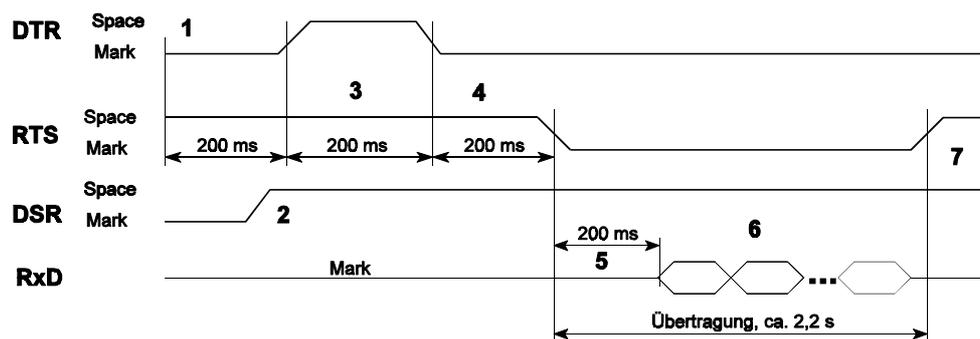


Abbildung 8.45 Plug&Play-Signalisierung

Erklärung:

- 1) der PC schaltet zunächst RTS aus und DTR ein,
- 2) innerhalb von 200 ms muß das Gerät DSR aktivieren (Anzeige der Anwesenheit),
- 3) daraufhin schaltet der PC DTR 200 ms lang inaktiv,
- 4) 200 ms nach dem Aktivieren von DTR aktiviert der PC RTS (Aufforderung zur Datenübertragung),
- 5) das Gerät muß spätestens nach 200 ms mit der Datenübertragung beginnen,
- 6) die laufende Datenübertragung (maximal 256 Zeichen mit 1200 Bits/s),
- 7) Ruhezustand. Der PC deaktiviert RTS und hält DTR zunächst aktiv. Den weiteren Ablauf bestimmt die System- und Treibersoftware.

Übertragungsparameter

Die Identifikationsdaten müssen mit 1200 Bits/s übertragen werden. Das Grundformat: 7, N, 1 (7 Datenbits, kein Paritätsbit, 1 Stopbit). Seitens der Geräte sind weitere Formate zugelassen. Diese werden aber alle von einem auf 7, N, 1 eingestellten Empfänger erkannt:

- 7 Datenbits, 2 Stopbits,
- 7 Datenbits, Paritätsbit fest auf 1 (Mark Parity), 1 Stopbit,
- 8 Datenbits (davon das höchstwertige fest auf 1), 1 Stopbit.

Hinweise:

1. Gelingt es beim ersten Mal nicht, brauchbare Identifikationsdaten zu erhalten, wird es noch einmal probiert.
2. Für serielle Mäuse ist eine vereinfachte Signalisierung vorgesehen (Rückführung DTR auf DSR). DSR dient hier lediglich der Präsenzanzeige für Plug & Play.

3. Das 200-ms-Signalspiel Impuls auf DTR - Erregung von RTS (vgl. die Positionen 3, 4 in Abbildung 8.45) dient dazu, Modems und andere Geräte davon zu informieren, daß ein Plug&Play-Ablauf stattfindet. Nach diesem Ablauf werden die Signale wieder auf herkömmliche Weise genutzt.
4. Plug&Play muß vom Gerät unterstützt werden. Reagiert das Gerät nicht richtig, so nimmt der PC an, daß kein Plug&Play-Gerät angeschlossen ist^{*}). Die Signalfolgen wurden eigens so gewählt, daß sie in älteren Geräten (ohne Plug&Play) keinen Schaden anrichten. Das ist aber nicht 100%ig sicher (vor allem bei Geräten mit Schnittstellenanschlüssen, die nicht standardgemäß betrieben werden^{**}). Abhilfe:
 - nach entsprechenden Firmware-Updates suchen (betrifft u. a. ältere Modems),
 - das Gerät zeitversetzt einschalten (nachdem der PC schon hochgefahren ist).

^{*}): was typischerweise nicht schadet - man muß sich halt nur „zu Fuß“ darum kümmern.

^{**}): das betrifft u. a. unterbrechungsfreie Stromversorgungen.

8.4. Serielle Schnittstellen im PC

Serielle Schnittstellen gehören nach Auffassung von Intel und Microsoft zur Erblast (Legacy) der PC-Technik. Sie stehen deshalb auf dem Aussterbeat. Ganz fortschrittliche (Legacy Free) PCs haben keine einzige mehr. Die serielle Schnittstelle ist aber ein bewährtes, weitverbreitetes Interface, auf das man nicht immer so einfach verzichten kann. Zudem sind gelegentlich ältere Computer am Leben zu erhalten. Hierfür brauchen wir einen Überblick über die herkömmlichen Industriestandards.

Herkömmliche (AT-kompatible) PCs:

- die ersten PCs hatten höchstens 2 serielle Schnittstellen (COM-Ports). Weitere Schnittstellen wurden erst von DOS 3.3 an unterstützt.
- seit Mitte der 80er Jahre (also von DOS 3.3 an) kann ein PC bis zu vier serielle Schnittstellen enthalten, die mit COM1...COM4 bezeichnet werden.
- die Schnittstellenhardware wurde anfänglich ausschließlich auf (ISA-) Steckkarten untergebracht.

Serielle Ports im PS/2 - ein Industriestandard für maximal 8 Schnittstellen

COM1 und COM2 sind genauso vorgesehen wie in den üblichen AT-kompatiblen PCs. Darüber hinaus sind bis zu 6 weitere Schnittstellen (COM3...COM8) konfigurierbar (E-A-Adressen ab 3220H, 3228H, 4220H, 4228H, 5220H, 5228H). Ihnen ist die Interruptleitung IRQ3 zugeordnet (der Microchannel ermöglichte es - im Gegensatz zum ISA-Bus - daß mehrere Einrichtungen eine IRQ-Leitung gemeinsam nutzen).

Die Grundausstattung in den 90er Jahren:

- zunächst zwei Schnittstellen (auf dem Motherboard),
- mit dem Aufkommen des USB wurden mehr und mehr Motherboards nur noch mit einer einzigen Schnittstelle ausgerüstet.

Technische Ausführung:

- ursprünglich: Schnittstellensteuerschaltkreise (UARTs) mit angeschlossenen Treibern und Empfängern (z. B. gemäß Abbildung 8.27). Die Signalleitungen sind typischerweise mit Kondensatoren nach Masse beschaltet (Flankenverschleifung, Störunterdrückung). Busanschluß der UARTs: ISA-Bus oder X-Bus.
- modernere PCs: UARTs auf Motherboard als Standardzellen in E-A-Schaltkreis (Super I/O) mit angeschlossenen Treiber-Empfänger-Kombinationen (vgl. die Abbildungen 8.29 bis 8.32); 1 Schaltkreis je Schnittstelle). Die Kondensatorbeschaltung ist manchmal vorhanden, manchmal nicht. Busanschluß: X-Bus oder LPC oder Privatinterface.

Eingebaute Modems (Modem-Steckkarten)

Eine Modem-Steckkarte belegt aus Sicht der Software eine serielle Schnittstelle und auch den zugehörigen Interrupt. Geht es um einen herkömmlichen PC (ohne Plug&Play), so ist nachzusehen, ob die betreffende Port-Adresse bereits mit einer Schnittstelle belegt ist. Wenn ja, dann (1) einen anderen Adreßbereich suchen, dessen Belegung nicht zu Konflikten führt, oder (2) die andere Hardware außer Betrieb setzen (BIOS-Setup, Jumper).

Mehrere Schnittstellen

Es gibt verschiedene Erweiterungsmöglichkeiten:

- über Umschalter (wenn zu einer Zeit jeweils nur eines der angeschlossenen Geräte die Schnittstelle ausnutzt,
- über entsprechende Steckkarten (Abschnitt 8.6.1.),
- über USB (mit Interfacewandler)*),
- über Netzwerk (Kommunikationsserver)*).

*) die Auswege, um PCs *ohne* eingebaute Schnittstellen entsprechend zu erweitern.

Schnittstellenschaltkreise (UARTs) im Überblick

Die ersten PCs wurden mit dem Schaltkreistyp 8250 bestückt. Dann folgten der 16450, der 16550 usw. Die Schaltkreise unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der maximalen Datenraten und hinsichtlich der Auslegung der Sende- und Empfangspuffer (Tabelle 8.9).

Typ (Allgemeinbezeichnung)	maximale Datenrate	Puffer	Anmerkungen
8250	9 600 Bits/s (im PC), 57 600 Bits/s (Schaltkreis an sich)	1 Byte	Bestückung der ersten PCs
16450	115 200 Bits/s	1 Byte	Weiterentwicklung; höhere Datenrate
16550	115 200 Bits/s und mehr	FIFO, 16 Bytes	Grundausrüstung ab Mitte der 90er Jahre
16650	460 800 Bits/s	FIFO, 32 Bytes	Ausnutzbarkeit höherer Datenraten abhängig vom jeweils verfügbaren Bittakt und von den angeschlossenen Kabelbaustufen
16750	921 600 Bits/s	FIFO, 64 Bytes (Senden, 56 Bytes (Empfangen))	
16950		FIFO, 128 Bytes	

Tabelle 8.9 UARTs im PC-Bereich - ein Überblick

Hinweis:

Mikrocontroller und USB-Interfacewandler enthalten UARTs, die sich von den angegebenen Industriestandard-Typen in verschiedener Hinsicht unterscheiden (als Beispiel vgl. Abbildung 8.66).

E-A-Adressierung

Eine serielle Schnittstelle wird im PC softwareseitig über acht aufeinanderfolgende E-A-Adressen angesprochen (Tabellen 8.10, 8.11).

Steuerung der Datenübertragung

Die Software muß die Datenübertragung Byte für Byte steuern und Rückmeldungen der angeschlossenen Einrichtungen behandeln. Die Datenübertragung selbst kann wahlweise nach dem Abfrageprinzip (Polling) oder nach dem Interruptprinzip gesteuert werden.

Interrupts

Für die seriellen Ports sind nur zwei Unterbrechungsanforderungsleitungen vorgesehen (IRQ3, IRQ4). Sollen 2 Ports gleichzeitig betrieben werden, müssen beide unterschiedliche IRQ- Leitungen ansteuern. Deshalb sind herkömmlicherweise (ohne Plug&Play) nur folgende Formen der Parallelarbeit möglich: (1) COM1 mit COM2, (2) COM1 mit COM4, (3) COM2 mit COM3, (4) COM3 mit COM4.

serielle Schnittstelle	Bereich der E-A-Adressen (in Hex)	übliche Zuordnung	Interrupt
1.	3F8...3FF	COM1	4
2.	2F8...2FF	COM2	3
3.	3E8...3EF	COM3	4
4.	2E8...2EF	COM4	3

Tabelle 8.10 Typische serielle Schnittstellen in PCs

Register	Schnittstelle im PC			
	COM1	COM2	COM3	COM4
Pufferregister	3F8	2F8	3E8	2E8
Interrupt-Erlaubnisregister	3F9	2F9	3E9	2E9
FIFO-Steuerregister	3FA	2FA	3EA	2EA
Leitungs-Steuerregister	3FB	2FB	3EB	2EB
Modem-Steuerregister	3FC	2FC	3EC	2EC
Leitungs-Zustandsregister	3FD	2FD	3ED	2ED
Modem-Zustandsregister	3FE	2FE	3EE	2EE
Hilfsregister	3FF	2FF	3EF	2FF

Tabelle 8.11 E-A-Adressenübersicht

BIOS und DOS

Die BIOS-Funktionen zur Schnittstellensteuerung erwarten keine E-A-Adressen, sondern laufende Nummern (von 0 bis 3); in DOS werden die Schnittstellen durch die (reservierten) Port-Bezeichner COM1 bis COM4 angesprochen. Die Zuordnung zwischen E-A-Adresse und Schnittstellenummer wird nach dem Rücksetzen getroffen, und zwar im Rahmen des Anfangstests POST. Dieser prüft die vier in Frage kommenden Adreßbereiche (gemäß Tabelle 8.10) und ordnet diese, falls er dort eine Schnittstellen-Hardware vorfindet, den laufenden Nummern des BIOS in aufsteigender Reihenfolge zu. Dieser Reihenfolge entsprechen dann die DOS- Bezeichnungen COM1...COM4. Die Reihenfolge der Abfrage: (1) ab 3F8H, (2) ab 2F8H, (3) ab 3E8H, (4) ab 2E8H. Die erste in dieser Prüfreihenfolge vorgefundene Schnittstelle wird für DOS zu COM1, die zweite zu COM2 usw. Die Zuordnung ist aus dem BIOS-Bereich im Arbeitsspeicher ersichtlich (Tabelle 8.12).

Adresse (Segment:Offset in Hex)	Inhalt
0040:0000	1. E-A-Adresse COM1
0040:0002	1. E-A-Adresse COM2
0040:0004	1. E-A-Adresse COM3
0040:0006	1. E-A-Adresse COM4

Tabelle 8.12 Serielle Schnittstellen aus Sicht von BIOS und DOS: Angaben im Arbeitsspeicher

Plug&Play (die Windows-95-Anforderungen)

Die ersten Anforderungen an Auslegung der Hardware wurden anlässlich der Einführung von Windows 95 herausgegeben. Windows kommt auch mit herkömmlichen seriellen Schnittstellen zurecht. Plug&Play-Hardware ist u. a. dadurch gekennzeichnet, daß sie automatisch erkannt wird und daß Adreßbereiche und Interrupts programmseitig einstellbar sind. Die Microsoft-Empfehlungen im Überblick:

- Datenrate: bis zu 115,2 kBits/s,
- es sollte möglich sein, den Schnittstellen wenigstens die Basisadressen 3F8H, 2F8H, 3E8H und 2E8H zuzuweisen, und es sollten wenigstens die Interruptleitungen IRQ 3 und IRQ 4 verfügbar sein. Diese Vorkehrungen gewährleisten, daß herkömmliche Software (ohne Plug & Play) weiter lauffähig bleibt.
- die Schnittstellenhardware sollte über Software abschaltbar sein (damit die Plug&Play-Software Konflikte notfalls durch Außerbetriebsetzen lösen kann),
- die Geräte sollten der Plug and Play External COM Device Specification entsprechen (Übertragung von Plug&Play-Identifikationsdaten vom Gerät zum PC; vgl. Abschnitt 8.3.7.5.),
- die Schnittstellen sollten mit Steuerschaltkreisen (UARTs) ähnlich 16550A (oder moderner) bestückt sein (FIFO-Tiefe wenigstens 16 Bytes),
- zusätzliche Reserven zum Lösen von Konflikten: 3 weitere E-A-Adreßbereiche, 5 weitere Interruptleitungen. Das heißt, die Hardware sollte durch Konfigurationssoftware auf einen von wenigstens 3 weiteren E-A-Adreßbereichen und auf eine von wenigstens 5 weiteren Interruptleitungen umschaltbar sein (im Idealfall wäre die Schnittstellenhardware auf beliebige E-A-Adressen und Interruptleitungen konfigurierbar).

8.5. Software-Schnittstellen

Abbildung 8.46 zeigt die Registerbelegung einer modernen seriellen Schnittstelle (d. h. eines Schnittstellenschaltkreises, der funktionell dem Typ 16550A entspricht).

Funktionelle Merkmale im Überblick

FIFO

Neben dem Registersatz hat ein solcher Schaltkreis je einen FIFO-Puffer zum Senden und zum Empfangen. Die FIFOs können ein- oder ausgeschaltet werden.

DMA-Übertragung

Die Schaltkreise haben Vorkehrungen, mit denen man eine DMA-Datenübertragung realisieren kann (in PCs üblicherweise nicht genutzt).

Interrupts

Die Schnittstelle kann einen Hardware-Interrupt auslösen. Es gibt vier auslösende Ursachen (Nr. 1 hat höchste, Nr. 4 niedrigste Priorität):

1. empfangsseitige Fehlerzustände (Receiver Line Status (RLS) Interrupt),
2. empfangene Daten verfügbar (Received Data Available bzw. Receive Buffer Full (RBF) Interrupt),
3. frei zum Senden (Transmitter Holding Register Empty (THRE) bzw. Transmit Buffer Empty (TBE) Interrupt),
4. Signaländerungen auf einwärtsführenden Zustandssignal- bzw. Steuerleitungen (Modem Status Register (MSR) oder Data Set Status (DSS) Interrupt).

Register	Bitposition								Kurz- 1) bezeich.	2) Zugriff	Adresse		
	7	6	5	4	3	2	1	0			a)	b)	
Empfangs-Pufferregister	empfangenes Zeichen								0	RBR	R	0	3F8H
Sende-Halteregister	zu sendendes Zeichen								0	THR	W		
Divisor, niedrig	Teilerwert für Übertragungsrate, Bits 7...0								0	DLL	R/W		
Divisor, hoch	Teilerwert für Übertragungsrate, Bits 15...0								8	DLM	R/W	1	3F9H
Interrupt-Erlaubnisregister	0	0	0	0	EDSSI	ERLSI	ETBEI	ERBFI	IER	R/W			
FIFO-Steuerregister	PCVR Trigger 1 0		reserviert		DMA Mode Select	XMIT FIFO Reset	PCVR FIFO Reset	FIFO Enable	FCR	W	2	3FAH	
Interrupt-Identifikationsregister	FIFOs Enabled		0	0	Interrupt Ident 2 1 0			/Interrupt Pending	IIR	R			
Leitungssteuerregister	DLAB	Set Break	Stick Parity	EPS	Parity Enable	STB	WLS 1 0		LCR	R/W	3	3FBH	
Modem-Steuerregister	0	0	0	LOOP	OUT 2	OUT 1	RTS	DTR	MCR	R/W	4	3FCH	
Leitungs-Zustandsregister	Error PCVR FIFO	Transmitter Empty	THRE	Break Interrupt	Framing Error	Parity Error	Overrun Error	Data Ready	LSR	R/W	5	3FDH	
Modem-Zustandsregister	DCD	RI	DSR	CTS	DDCD	TERI	DDSR	DCTS	MSR	R/W	6	3FEH	
Hilfsregister	beliebige Verwendung als Zwischenspeicher								0	SCR	R/W	7	3FFH

1) Erklärung aller Abkürzungen im Text

2) R: nur Lesen, W: nur Schreiben, R/W: Lesen und Schreiben

a) interne Adresse gemäß den Adreßanschlüssen am Schaltkreiseingang

b) E-A-Adresse des COM-Ports 1

Abbildung 8.46 Die typische Registerbelegung im Überblick

Empfangs-Pufferregister (Receive Buffer Register RBR), Sende-Halteregister (Transmitter Holding Register THR)

Über diese Register können die empfangenen Daten gelesen bzw. die zu sendenden Daten in den Schaltkreis transportiert werden. Die serielle Übertragung beginnt stets mit Datenbit 0. Sind die übertragenen Zeichen kürzer, so werden die zu übertragenden Bits rechtsbündig (von Register-Bitposition 0 an) eingetragen (beim Empfangen) bzw. von Bitposition 0 an entnommen (beim Senden). Je nach Betriebsart können die Lese- und Schreibzugriffe den zugehörigen FIFO betreffen.

Divisor, niedrig (Divisor Latch (LSB) DLL), Divisor, hoch (Divisor Latch (MSB) DLM)

Diese beiden Register enthalten zusammen eine 16-Bit-Angabe zum Einstellen der aktuellen Übertragungsrate (Baudrate). Damit beide Register unter ihren E-A-Adressen zugänglich sind, muß das Bit DLAB im Leitungssteuerregister LCR gesetzt sein. Tabelle 8.13 nennt die Divisor-Werte für übliche Übertragungsraten.

Übertragungsrate (Bits/s)	Divisor-Wert	Übertragungsrate (Bits/s)	Divisor-Wert
50	2304	3600	32
75	1536	4800	24
110	1047	7200	16
134,5	857	9600	12
150	768	19 200	6
300	384	38 400	3

Übertragungsrate (Bits/s)	Divisor-Wert	Übertragungsrate (Bits/s)	Divisor-Wert
600	192	57 600	2
1200	96	115 200	1
1800	64	230 400	3,6864 32770 ^{*)}
2000	58	460 800	32769 ^{*)}
2400	48	921 600	16 385

*) nicht standardgemäß. Besondere Einstellungen in Konfigurationsregistern des Super-I/O-Schaltkreises erforderlich

Tabelle 8.13 Divisor-Werte (dezimal) für gängige Übertragungsraten (nach: SMSC)

Erklärung:

Der Bittakt entspricht dem 16-fachen der Übertragungsrate (16 Taktimpulse je Einheitsintervall; vgl. Abbildung 8.4). Er wird von einem eigenen Taktsignal (Quarzfrequenz) abgeleitet. Der Divisor-Wert D_w ergibt sich aus der gewünschten Übertragungsrate b (in Bits/s = Hz) und der Quarzfrequenz f_q (ebenfalls in Hz) folgendermaßen:

$$D_w = \frac{1}{16} \cdot \frac{f_q}{b} = \frac{f_q}{16 b}$$

Die herkömmliche Lösung: ein quarzgesteuerter Taktgenerator mit einer Frequenz von 1,8432 MHz. Die Datenrate ist hierdurch auf 115 200 Bits/s begrenzt (1 843 200 Hz : 16).

Moderne Super-I/O-Schaltkreise erzeugen den Quarztakt intern aus zugeführten Taktsignalen von beispielsweise 14,318 MHz, 24 MHz oder 48 MHz. Das ermöglicht es, für bestimmte standardgemäße Datenraten andere Taktfrequenzen zu verwenden und auch Datenraten über 115 200 Bits/s zu unterstützen (Tabelle 8.14).

Hinweis:

Bis 115 200 Bits/s können die Divisor-Werte aus Tabelle 8.13 typischerweise unbedenklich verwendet werden (d. h. ohne sich um Spitzfindigkeiten der Takterzeugung kümmern zu müssen). Welche höheren Geschwindigkeiten wirklich nutzbar sind, hängt vom Typ des E-A-Schaltkreises, von der (auf dem betreffenden Motherboard) verwendeten Taktfrequenz und von der Treiber-Empfänger-Kombination ab. Datenraten über 200...250 kBits/s erfordern steilere Signalflanken (mehr als die standardgemäßen 30 V/µs). Ggf. nachsehen, was sich einstellen läßt (Jumper auf dem Motherboard, BIOS-Setup, Systemsteuerung, Dienstsoftware).

Übertragungsrate	Taktfrequenz
50...38 400 Bits/s	1,8432 MHz oder 1,8462 MHz ^{*)}
115 200 Bits/s	1,8432 MHz
230 400 Bits/s	3,6864 MHz
460 800 Bits/s	7,3728 MHz
921 600 Bits/s	14, 7456 MHz

*) : entspricht 24 MHz : 13

Tabelle 8.14 Taktfrequenzen für gängige Übertragungsraten (nach: SMSC)

Interrupt-Erlaubnisregister (Interrupt Enable Register IER)

Es gibt 4 verschiedene Ereignisse, die einen Interrupt auslösen können. Jedem dieser Ereignisse ist ein Erlaubnisbit zugeordnet (ist es gesetzt, wird bei Eintreten des Ereignisses der Interrupt wirksam):

- ERBFI (Enable Receive Buffer Full (= Received Data Available) Interrupt). Interruptauslösung, wenn empfangene Daten (im Empfangs-Pufferregister oder im FIFO) verfügbar sind.
- ETBEI (Enable Transmit Buffer Empty (= Transmitter Holding Register Empty) Interrupt). Interruptauslösung bei leerem Sende-Halteregister oder FIFO.
- ERLSI (Enable Receiver Line Status Interrupt). Interruptauslösung bei empfangsseitigen Fehlerzuständen.
- EDSSI (Enable Data Set Status (= Modem Status Register) Interrupt). Interruptauslösung beim Schalten ankommender Zustands- bzw. Steuersignale.

FIFO-Steuerregister (FIFO Control Register FCR)

Dieses Register dient zur Betriebsartensteuerung der FIFOs. Die Bedeutung der einzelnen Bits:

- FIFO Enable. Ist das Bit gesetzt, so sind beide FIFOs (Senden/Empfangen) in Betrieb. Ist es gelöscht, sind die FIFOs außer Betrieb (der Schaltkreis verhält sich dann wie ein 8250). Damit die verbleibenden Bits des Registers gesetzt werden können, muß FIFO Enable gesetzt sein.
- RCVR FIFO Reset, XMIT FIFO Reset. Diese Bits wirken einzeln auf den Empfangs- bzw. Sende-FIFO. Ist ein solches Bit gesetzt, wird der betreffende FIFO gelöscht und dessen Füllstand auf 0 gesetzt. (Die Bits werden nicht gespeichert, sondern wirken nur beim Zugriff.)
- DMA Mode Select. Dieses Bit schaltet die DMA-Steuerung zwischen 2 Betriebsarten um. In PCs praktisch nicht genutzt.
- RCVR Trigger 1,0. Hiermit wird der Füllstands- Schwellwert des Empfangs-FIFOs angegeben. Sobald die angegebene Bytezahl im FIFO steht, wird Bit 2 im IIR gesetzt und gegebenenfalls ein Interrupt ausgelöst. Die Codierung des Schwellwertes hängt vom Schaltkreistyp und von der Tiefe des FIFOs ab. Beispiel 1 (16550A; 16-Byte-FIFO): 0 = 1 Byte, 1 = 4 Bytes, 2 = 8 Bytes, 3 = 14 Bytes. Beispiel 2 (16750; 64-Byte-FIFO): 0 = 1 Byte, 1 = 16 Bytes, 2 = 32 Bytes, 3 = 56 Bytes.

Interrupt-Identifikationsregister (Interrupt Identification Register IIR)

Dieses Register ermöglicht es, die genaue Ursache der Interruptauslösung abzufragen:

- Interrupt Pending. Ist das Bit gelöscht (0), so ist eine Interrupt-Bedingung anhängig.
- Interrupt Ident 2...0. Diese drei Bits geben jenes der auslösenden Ereignisse an, das die jeweils höchste Priorität hat. Codierung:
 - 0H - Modem-Status (ausgelöst durch CTS, DSR, RI oder RCD). 4. Priorität.
 - 1H - kein Interrupt anhängig.
 - 2H - Sende-Halteregister leer. 3. Priorität.
 - 4H - empfangene Daten verfügbar. 2. Priorität.
 - 6H - Receiver Line Status. 1. Priorität.
 - CH - Timeout. 2. Priorität.
- FIFOs Enabled. Diese beiden Bits werden gesetzt, wenn die FIFOs eingeschaltet sind (dazu muß FIFO Enable im FCR gesetzt werden).

Leistungssteuerregister (Line Control Register LCR)

Der Inhalt dieses Registers beschreibt das Datenformat der Übertragung:

- WLS 1, 0 (Word Length Select). Auswahl der Datenbits je Zeichen. Codierung 0 = 5, 1 = 6, 2 = 7, 3 = 8 Datenbits.
- STB (Stop Bit Select). 0 = 1 Stopbit. 1 = 1½ Stopbits, wenn 5 Datenbits; sonst: 2 Stopbits.
- Parity Enable. 0 = Übertragung ohne, 1 = Übertragung mit Paritätsbit.
- EPS (Even Parity Select). 0 = gerade, 1 = ungerade Parität.
- Stick Parity. Erzwingen der Übertragung einer bestimmten Paritätsbitbelegung. Das Paritätsbit erhält fest die invertierte Belegung des EPS-Bits zugewiesen. (Anwendungen: Initialisierung, Fehlerprovokation zu Prüfzwecken, Emulation des 9-Bit-Formates.)
- Set Break. Erzwingen einer Space-Belegung des Sendedaten-Ausgangs.
- DLAB (Divisor Latch Access Bit). Das Bit ist zu setzen, wenn auf die Divisor-Register zugegriffen werden soll.

Modem-Steuerregister (Modem Control Register MCR)

Über dieses Register können die Steuerleitungen RTS und DTR unmittelbar beeinflußt werden. OUT1, 2 sind interne Ausgabesignale. OUT1 wirkt üblicherweise im Sinne einer generellen Interrupt-Maske. Der Interrupt-Anforderung wird in der Hardware nur dann als IRQ-Aktivierung wirksam, wenn OUT1 gesetzt ist. Das LOOP-Bit erlaubt es, eine diagnostische Betriebsart einzustellen (Kurzschlußprüfung). Hierbei werden die Sendedaten unmittelbar auf die Empfangsschaltungen und auswärtsführende Steuersignale auf einwärtsführende Zustandssignale gekoppelt (DTR - DSR, RTS - CTS, OUT1- RI, OUT2 - DCD). Die Schnittstelle bleibt dabei nach außen hin inaktiv.

Leistungs-Zustandsregister (Line Status Register LSR)

Über diese Register sind Übertragungs- und Fehlerzustände abfragbar:

- Data Ready. Das Bit wird gesetzt, wenn ein Zeichen empfangen wurde und im Empfangs-Pufferregister bzw. im FIFO zum Abholen bereitsteht. Ein Lesezugriff auf das Empfangs-Pufferregister löscht das Bit wieder.

- Overrun Error. Überlaufanzeige. Das Empfangs- Pufferregister bzw. der Empfangs-FIFO ist voll und es ist ein weiteres Zeichen angekommen¹⁾.
- Parity Error. Das empfangene Zeichen weist einen Paritätsfehler auf^{1), 2)}.
- Framing Error. Das empfangene Zeichen hat kein korrektes Stopbit^{1), 2)}.
- Break Interrupt. Das Bit wird gesetzt, wenn der Dateneingang für länger als eine volle Zeichendauer im Space-Zustand verbleibt^{1), 2)}.
- THRE (Transmitter Holding Register Empty). Das Bit zeigt an, daß der Schaltkreis ein weiteres Byte zum Senden entgegennehmen kann (es ist entweder das Halteregister oder der Sende-FIFO leer). Mit dem Schreiben eines zu sendenden Bytes wird das Bit gelöscht.
- Transmitter Empty. Die gesamte Sende-Hardware (Sende-Halteregister/FIFO, Schieberegister) ist leer. Mit dem Schreiben eines zu sendenden Bytes wird das Bit gelöscht.
- Error RCVR FIFO. Das Bit wird gesetzt, wenn wenigstens ein Zeichen im FIFO von einem folgenden Fehler begleitet ist: Parity Error, Framing Error oder Break Interrupt. Das Bit wird nach dem Lesen des LSR dann gelöscht, wenn sich kein fehlerhaftes Zeichen mehr im FIFO befinden.

Anmerkungen:

- 1) das Bit wird nach dem Lesen des LSR wieder gelöscht,
- 2) bei Nutzung des FIFO wird das Bit immer dann gesetzt, wenn dem Zeichen in der ersten (obersten) FIFO-Position ein entsprechender Fehler zugeordnet ist.

Modem-Zustandsregister (Modem Status Register MSR)

Über dieses Register können die Schnittstellensignale DCD, RI, DSR und CTS unmittelbar abgefragt werden. Des weiteren sind Änderungen der entsprechenden Signalzustände abfragbar:

- DDCD, DDSR, DCTS. Das „D“ steht für „Delta“ = Signaländerung gegenüber dem Signalzustand zum Zeitpunkt des vorhergehenden Lesezugriffs.
- TERI (Trailing Edge of Ring Indicator). Beim RI-Signal werden nur Änderungen im Sinne der Aktivierung gespeichert; ein Abschalten wird hingegen nicht vermerkt.

Hilfsregister (Scratchpad Register SCR)

Dies ist ein frei nutzbares Register, das dem Programmierer von Schnittstellen-Routinen als Zwischenspeicher zur Verfügung steht (auch: um auszuprobieren, ob sich der Schaltkreis überhaupt vom Programm aus ansprechen läßt). Ein Hilfsregister haben nur die Schaltkreise vom 16450 an, nicht aber der 8250. Diese Tatsache wird gelegentlich ausgenutzt, um herauszufinden, welcher UART-Typ installiert ist.

8.6. Erweiterungen

8.6.1. Viele Schnittstellen

Es gibt Steckkarten, die mehrere (z. B. 8 oder 16) serielle Schnittstellen enthalten (Abbildungen 8.47, 8.48). Typische Anwendungsgebiete:

- Mehrplatzsysteme. Über die Schnittstellen sind vor allem Bildschirm-Terminals und Drucker angeschlossen. Steuerung: über entsprechende Betriebssysteme (Citrix WinFrame/MetaFrame, Windows Terminal Server, Unix/Linux o. dergl.).
- Kassen- und Abrechnungssysteme, Systeme der Produktionssteuerung, der Zugangskontrolle, der Datenerfassung, der Meßtechnik usw. Es sind vielfältige Geräte (Terminals, Kartenleser, Waagen, Produktionsmaschinen, Meßgeräte usw.) angeschlossen (Abbildung 8.49). Steuerung: über entsprechende Betriebssysteme oder unmittelbar aus dem Anwendungsprogrammsystem heraus.

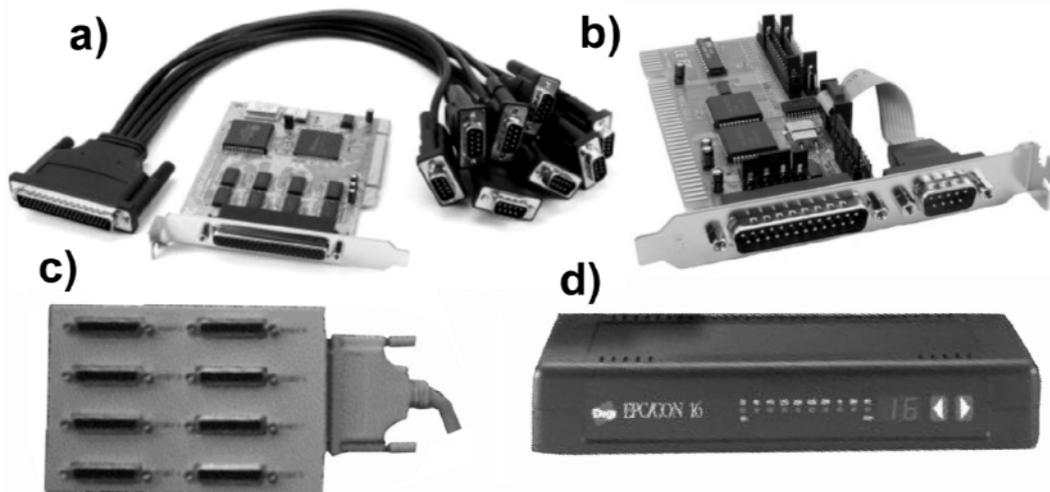


Abbildung 8.47 Mehrere...viele Schnittstellen. Erweiterungshardware im Überblick

Erklärung:

- a) - PCI-Steckkarte mit 8 Schnittstellen und Anschlußkabel; b) - ISA-Steckkarte mit zwei Schnittstellen; c) - Anschlußkasten (Connector Box) für 8 Schnittstellen; d) - Konzentrator für 8...16 Schnittstellen.

Es gibt verschiedenen Auslegungen:

- herkömmliche Schnittstellenerweiterung. Die Steckverbinder der einzelnen Schnittstellen befinden sich auf der Slotabdeckung (vgl. Abbildung 8.46b). Karten mit z. B. 4 Schnittstellen werden durch ein weiteres, über Kabel anzuschließendes Slotabdeckblech ergänzt. Diese Bauform ist auch dann das Mittel der Wahl, wenn es nicht um mehr Schnittstellen, sondern um solche mit höherer Datenrate geht (hierzu gibt es sogar eigens Karten, die nur *eine* Schnittstelle enthalten - aber eine mit beispielsweise 1 MBits/s).
- mehrere (typischerweise 4 oder 8) Schnittstellen auf Steckkarte. Externer Anschluß über Sonderkabel. Das Kabel verzweigt sich entweder zu den Schnittstellen-Steckverbindern (Abbildung 8.47a) oder es endet an einem entsprechenden Anschlußkasten (Abbildung 8.47c). Siehe weiterhin Abbildung 8.48. Einfache Steckkarten haben nur die entsprechende Anzahl an Schnittstellensteuerschaltkreisen und Kabelbaustufen. Bessere Modelle enthalten einen eigenen Prozessor.
- Erweiterung über Konzentrator. Die Steckkarte im PC ist über ein Sonderkabel mit einem sog. Konzentrator verbunden, der seinerseits die Schnittstellen-Anschlüsse enthält (Abbildungen 8.47b, 8.49). Hochentwickelte Systeme ermöglichen es, mehrere Konzentratoren zu kaskadieren, so daß

sich von einer Steckkarte aus z. B. bis zu 64, 128 oder 256 Schnittstellen betreiben lassen. Die Konzentratoren enthalten typischerweise eigene Mikrocontroller. Das Interface zwischen Steckkarte und Konzentrador beruht beispielsweise auf RS-422 (Richtwerte: bis zu 10 MBits/s Datenrate, bis 10 m Kabellänge). Die einzelne serielle Schnittstelle ist typischerweise für Datenraten bis zu 115 200 Bits/s ausgelegt.

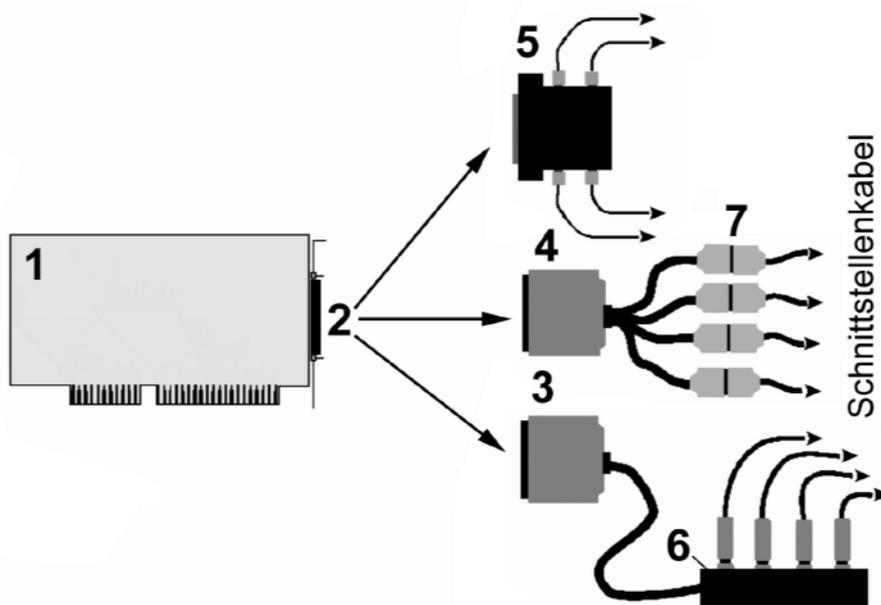


Abbildung 8.48 Schnittstellenerweiterung über Steckkarten (nach: Digi International)

Erklärung:

1 - Steckkarte; 2 - über diesen Steckverbinder laufen alle Schnittstellensignale; 3 - Sonderkabel zum Anschlußkasten; 4 - Sonderkabel mit einzelnen Schnittstellenanschlüssen; 5 - ein direkt anzusteckender Wandler auf RS-485; 6 - Anschlußkasten; 7 - lose Steckverbinder am Kabel.

Hinweis:

Das Installieren derartiger Hardware ist eine der Gelegenheiten, bei denen man - was die ausführenden Techniker angeht - beinahe auf den ersten Blick zwischen Spreu und Weizen unterscheiden kann. Es gibt genügend lieblos ausgeführte Installationen - mit Kabeln, Anschlußkästen usw., die einfach irgendwie hinter dem Computer abgeworfen wurden... Kein Wunder, daß sich bei späteren Wartungsarbeiten kaum jemand sofort zurechtfindet. Und besonders zuverlässig ist es auch nicht: die Belastung durch die schweren und steifen Kabel kann die Steckkarte aus dem Slot heraushebeln, Anschlußkästen können umfallen und dabei Steckverbindungen auseinanderziehen usw. Besser: (1) Kabel und Anschlüsse vernünftig beschriften, (2) Schnittstellenkabel nicht als unidentifizierbares Knäuel, sondern geordnet zuführen, (3) Anschlußkästen fest montieren^{*}, (4) die Kabel-Schwänze mit den Steckverbindern (Position 7 in Abbildung 8.48) nicht irgendwo herumhängen lassen, sondern z. B. auf einem Zwischenboden (im Serverschrank) ablegen und ggf. für Zugentlastung des Sonderkabels sorgen (mit Schelle oder wenigstens mit Kabelbinder entlasten)

*) es leuchtet ein, daß eine Blechkiste ähnlich Abbildung 8.47c mit 8 Interfacekabeln dran nicht einfach auf dem Tisch stehenbleiben wird... Zu manchen Anschlußkästen gibt es eigens Montagezubehör (z. B. zum Festschrauben in 19"-Schränken). Ggf. heißt es, sich etwas einfallen zu lassen (Deckel ab, Befestigungslöcher bohren usw.).

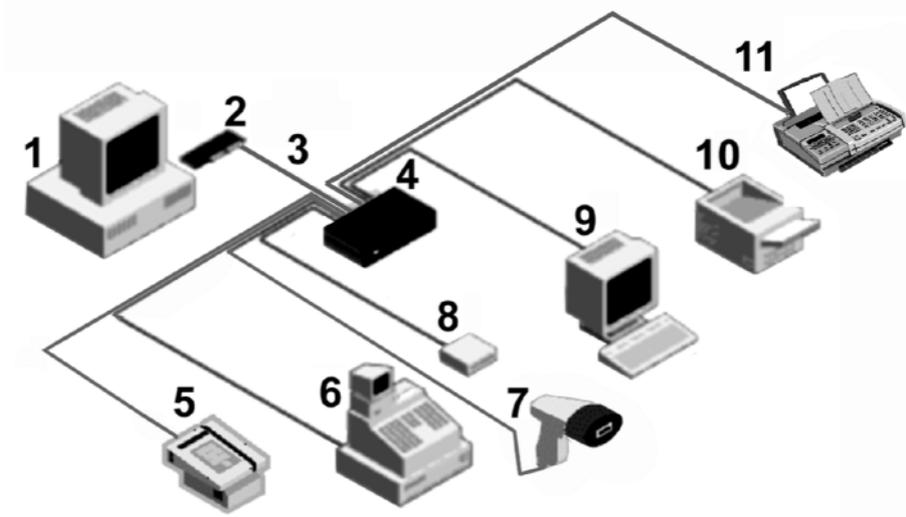


Abbildung 8.49 Schnittstellenerweiterung über Konzentrator. Ein Einsatzbeispiel
(nach: Digi International)

Erklärung:

1 - Computer; 2 - Steckkarte; 3 - Sonderkabel mit Privatinterface; 4 - Konzentrator; 5 - Kreditkartenleser; 6 - Registrierkasse; 7 - Strichcodeleser; 8 - Modem; 9 - Bildschirmterminal; 10 - Drucker; 11 - Faxgerät. Ein typisches Beispiel einer anwendungsspezifischen Verkabelung, wie sie auch in der näheren Zukunft noch zum Stand der Technik gehören wird. (USB ist keine Alternative (Kabellänge). Funk ist keine grundsätzliche Alternative (Kosten, Reichweite, Sicherheit). Netzwerkfähigkeit ist nicht allgemein üblich (Kostenfrage).)

Hinweis:

Die verschiedenen Lösungen zur Schnittstellenverweiterung sehen auf den ersten Blick sehr ähnlich aus. Es gibt aber beachtliche Unterschiede (im Leistungsvermögen der Steckkarten, in der Ausstattung der Konzentratoren usw.). Die Schnittstelle zwischen Computer und Konzentrator ist ein Privatinterface. Alternativen, die untersucht werden sollten (Kosten - Leistung - Zukunftssicherheit): (1) Schnittstellenerweiterung direkt am PC (z. B. mit Steckkarten ähnlich Abbildung 8.47a), (2) Schnittstellenerweiterung über USB (und entsprechende Wandler), (3) Kommunikationsserver statt Konzentrator.

8.6.2. Besonders lange Signalwege

8.6.2.1. Typische Probleme

Verbindungen über serielle Schnittstellen funktionieren unter folgenden Bedingungen weitgehend problemlos:

- Kabel nicht länger als 15...20 m (Richtwert);
- beide Einrichtungen am selben Netzstromkreis oder wenigstens am selben Stromkreisverteiler.

Das betrifft typische Arbeitsplatzverkabelungen, Serverschränke und auch Installationen innerhalb eines nicht allzu großem Büroraums.

Da es sich um eine Signalübertragung gegen Masse handelt, ist die Schnittstelle auf gleiches Massepotential an beiden Enden angewiesen. Wird RS-232 verwendet, um größere Entfernungen zu überbrücken, ist diese Bedingung nicht immer erfüllt. Typische Störeinflüsse:

- Erdschleifen durch unterschiedliche Massepotentiale (z. B. beim Anschluß der Geräte an unterschiedliche Netzstromkreise bzw. Stromkreisverteiler),
- eingekoppelte Störungen, z. B. von in der Nähe liegenden Starkstromkabeln,
- Gleichtaktstörungen durch zeitweilige Anhebung eines Massepotentials. Typische Ursachen:
 - das Einleiten von Über- und Fehlerspannungen in Erdverbindungen (Abbildung 8.50),
 - die Anhebung des Erdpotentials durch Blitzschlag (Abbildung 8.51),
 - die allgemein übliche Nutzung des Schutzleiters zum Verbinden von Signalmasse und Erdpotential. Das geht solange gut, bis der Schutzleiter einmal seine eigentliche Aufgabe zu erfüllen hat (das Fließenlassen eines Kurzschlußstromes, um die Sicherung im Netzstromkreis auszulösen; vgl. Abbildung 8.15).

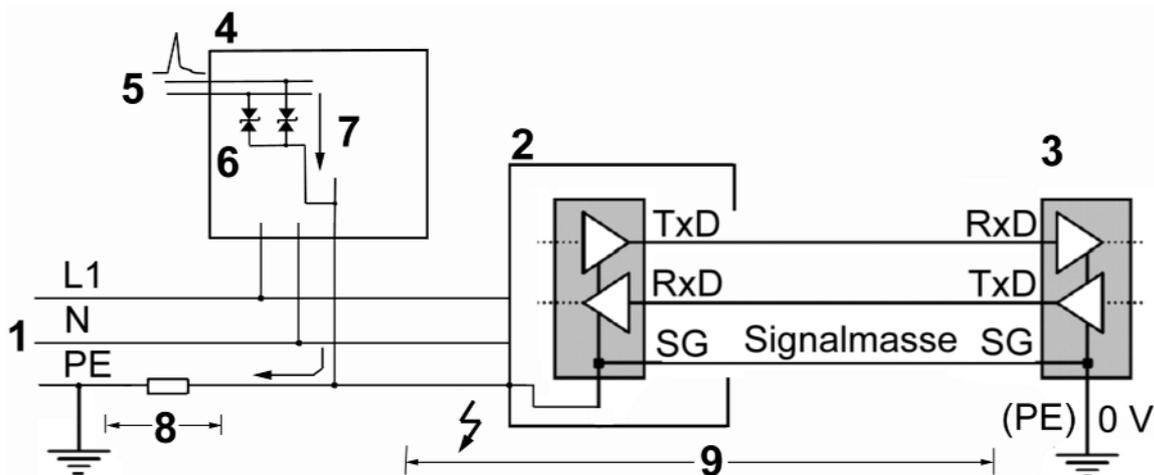


Abbildung 8.50 Eingeleitete Über- und Fehlerspannungen heben das Erdpotential an

Erklärung zu Abb. 8.50:

1 - ein 230-V-Netzanschluß; 2, 3 - miteinander verbundene RS-232-Geräte. Die Geräte 2, 3 sind an verschiedene Netzstromkreise angeschlossen. Die Signalmasse ist über den jeweiligen Schutzleiter mit dem Erdpotential verbunden. 4 - ein weiteres (an sich beliebiges) Gerät am Netzstromkreis 1; 5 - ein weiteres (an sich beliebiges) Interface; 6 - Überspannungsableiter (z. B. Suppressordioden); 7 - Störungen am Interface 5 werden von den Überspannungsableitern 6 über den Schutzleiter zur Erde hin abgeführt; 8 - dieser Stromfluß bewirkt einen Spannungsabfall über den Schutzleiter (dessen Durchgangswiderstand ist hier symbolisch angedeutet); 9 - hierdurch wird das Erdpotential des Gerätes 2 gegenüber dem des Gerätes 3 kurzzeitig angehoben.

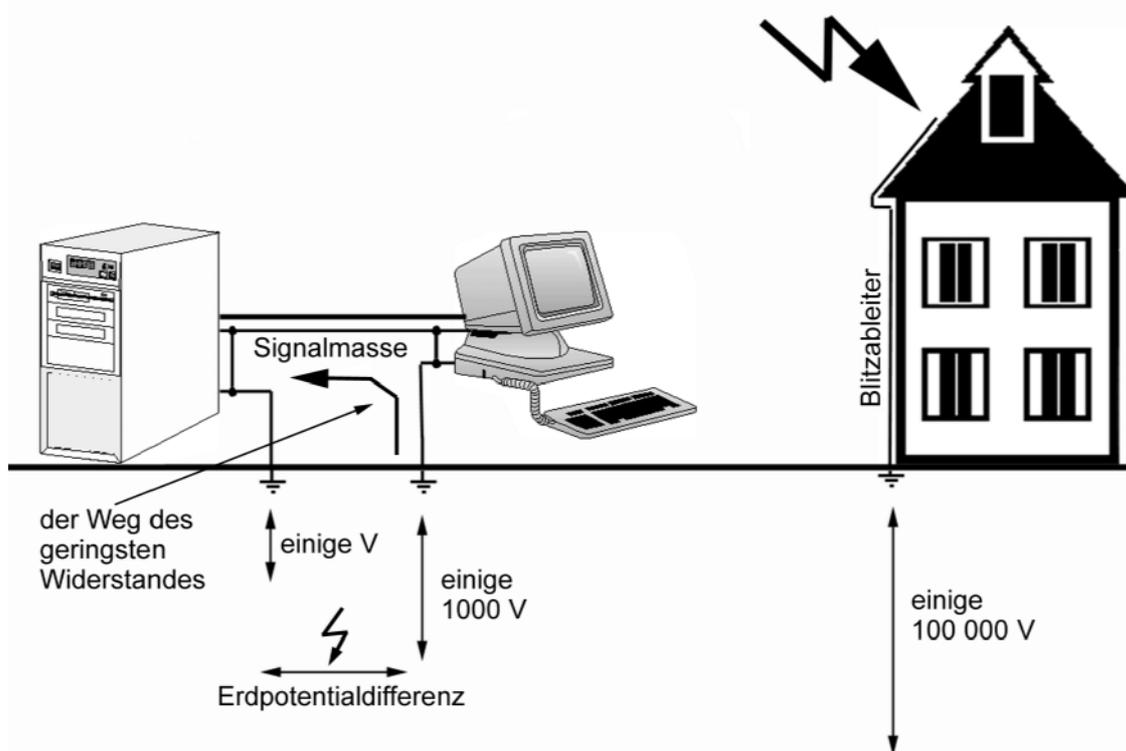


Abbildung 8.51 Anhebung des Erdpotentials durch Blitzschlag

Erklärung:

1, 2 - miteinander verbundene Geräte; 3 - Interfacekabel. Die Geräte 1, 2 haben unterschiedliche Erdverbindungen (z. B. über verschiedene Betriebserder in den jeweiligen Gebäuden). 4 - Blitzeinschlag in ein weiteres Gebäude (in der Nähe). 5 - die Energie des Blitzes wird in die Erde abgeleitet. Am Ort des Einschlags ist die Spannung am höchsten. Sie nimmt mit wachsender Entfernung ab. Es kann sein, daß das Erdpotential am Betriebserder des Gerätes 2 kurzzeitig auf einige tausend Volt ansteigt. An sich schadet das nicht, weil alles, was auf dem selben Fleck Erde steht, auf das gleiche Potential angehoben wird. Es gibt aber eine niederohmige Verbindung*) zum noch weiter entfernten Gerät 1, dessen Erdpotential nur wenig von 0 V abweicht - das Interfacekabel 3. Die Erdpotentialdifferenz zwischen den Geräten 1, 2 bewirkt somit einen Stromfluß über das Kabel (= über den Weg des geringsten Widerstands). Somit kommt an der Schnittstelle des Gerätes 1 ein Impuls mit einigen tausend Volt Amplitude an...

*) Kabel haben typischerweise nur wenige Ohm Durchgangswiderstand.

8.6.2.2. Abhilfe (1): Überspannungsableiter

Sie helfen manchmal, aber nicht immer. Das Prinzip: die Störspannung wird über entsprechende Bauelemente zur Erde hin abgeleitet (Abbildungen 8.52 bis 8.56).

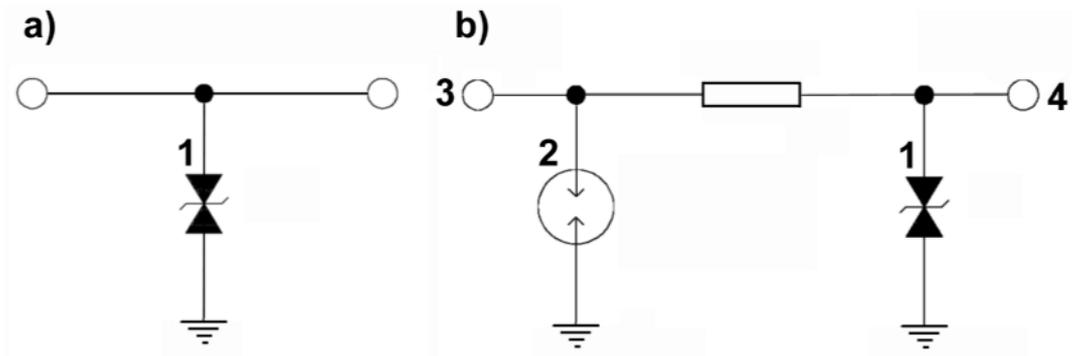


Abbildung 8.52 Grundschaltungen von Überspannungsableitern (B&B Electronics)

Erklärung:

- Einfachlösung. Je Signalleitung ist eine Suppressordiode (Transient Voltage Suppressor TVS) oder ein Metalloxid-Varistor (MOV) nach Masse geschaltet. Die Bauelemente halten aber nur sehr kurzzeitige Belastungen aus. Stärkere oder länger dauernde Störungen können zum Ausfall führen, so daß es keinen weiteren Schutz mehr gibt - und das wird nur selten bemerkt.
- eine solidere Lösung. Drei Stufen: (1) Gasentladungs-Ableiter (schaltet vergleichsweise langsam, kann aber größere Ströme ableiten), (2) Serienwiderstand zur Strombegrenzung; (3) Suppressordiode (schaltet extrem schnell). Zunächst spricht die Suppressordiode 3 an, dann zündet der Gasentladungs-Ableiter 1. Er übernimmt den größten Anteil des Ableitstromes und entlastet somit die Suppressordiode 3. Es ist somit vergleichsweise unwahrscheinlich, daß diese Bauelemente ausfallen, auch bei stärkerer Belastung.



Abbildung 8.53 RS-232-Überspannungsableiter mit besonders hoher Schutzwirkung (High Energy Surge Protector). Kann Störspannungen bis zu 6 kV ableiten (B&B Electronics)

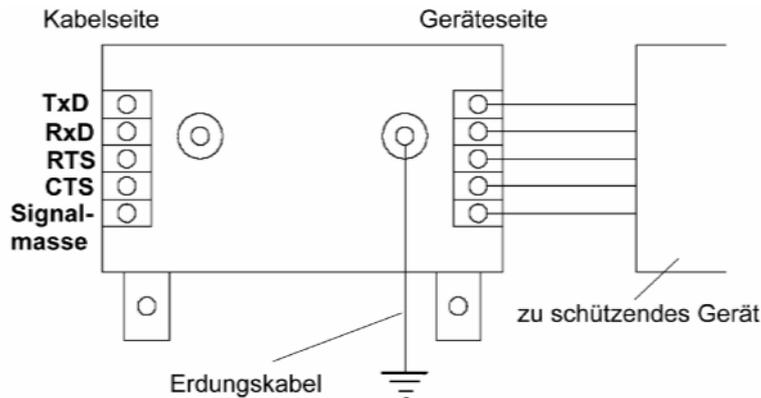


Abbildung 8.54 Der Überspannungsableiter im Einsatz (B&B Electronics)

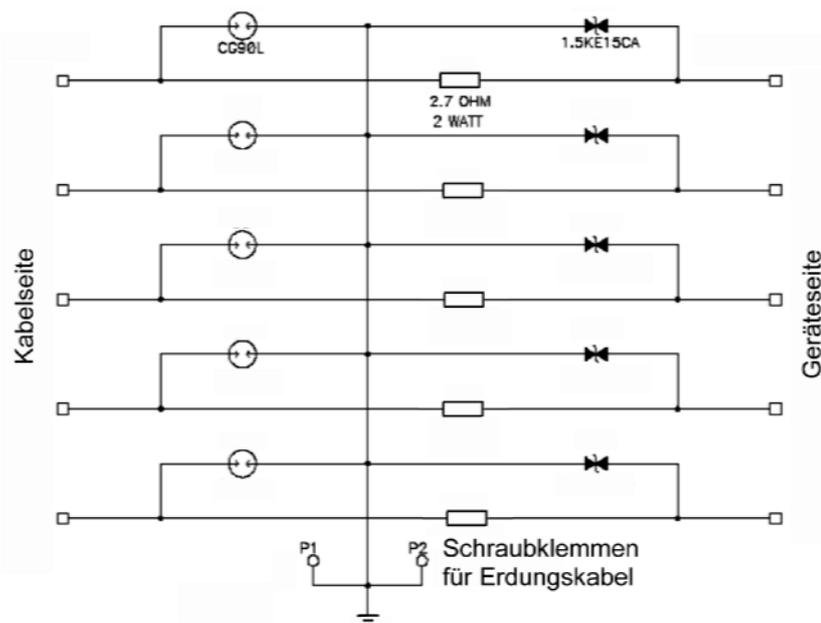


Abbildung 8.55 Die Innenschaltung des Überspannungsableiters. Vgl. Abbildung 8.52b

Hinweise:

1. Der Überspannungsableiter ist in unmittelbarer Nähe des zu schützenden Geräteanschlusses anzuordnen (einfache Typen, die gemäß Abbildung 8.52a aufgebaut sind, gibt es auch in Form von Zwischensteckern).
2. Das Ableiten von Überspannungen über den Schutzleiter kann Nebenwirkungen haben (vgl. Abbildung 8.50).
3. Leistungsfähige Überspannungsableiter (z. B. gemäß Abbildung 8.53) brauchen unbedingt eine direkte Erdverbindung. Beispiel: Kupferkabel 10 AWG (5 mm²), höchstens 1 m lang (zwischen Überspannungsableiter und Potentialausgleichsschiene). Ansonsten sind sie wirkungslos!

4. Die kapazitive Belastung der Interfaceleitungen kann die Datenrate oder die zulässige Leitungslänge beeinträchtigen. Richtwerte: Suppressordioden 500...1000 pF, MOVs bis zu 15 nF.
5. Überspannungsableiter helfen nicht immer (Abbildung 8.56):
 - Einfachmodelle helfen nur gegen nicht allzu intensive eingekoppelte Störungen, nicht aber gegen Gleichtaktstörungen,
 - bessere Typen (vgl. Abbildung 8.53) können womöglich auch Blitzeinschläge wegstecken - aber nur dann, wenn sie eine vorschriftsmäßige Erdverbindung haben.

Bessere Lösungen:

- gegen eingekoppelte Störungen: Übergang auf ein anderes Übertragungsverfahren (z. B. RS-422 oder RS-485).
- gegen Gleichtaktstörungen: galvanische Trennung (typischerweise über Optokoppler; Tabellen 8.15, 8.16).
- gegen alle Arten elektrischer Störungen: Übergang auf Lichtwellenleiter (Glasfaserverbindungen).

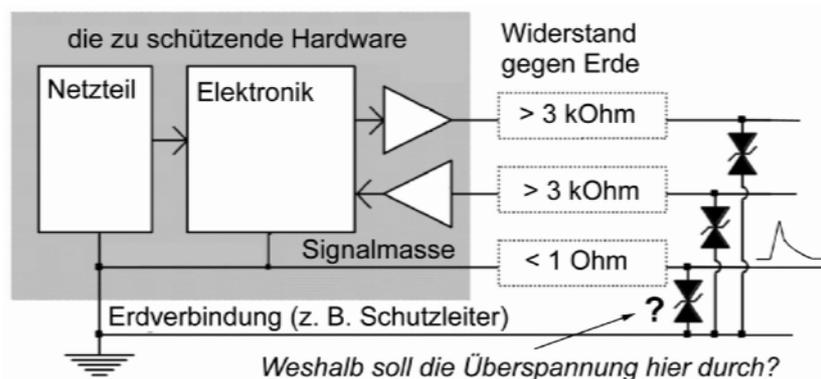


Abbildung 8.56 Weshalb Überspannungsableiter gegen Gleichtaktstörungen nicht viel ausrichten können (nach: Robust DataComm Inc.)

Erklärung:

Die Signalmasse ist üblicherweise direkt mit dem Schutzleiter verbunden. Damit der zu schützenden Hardware nichts passiert, müßte eine auf der Signalmasse ankommende Überspannungsspitze zum Schutzleiter hin kurzgeschlossen werden. Der Überspannungsableiter hat aber typischerweise einen höheren Durchgangswiderstand als die Verbindung Signalmasse-Schutzleiter. Deshalb ist damit zu rechnen, daß die Überspannung doch in die zu schützende Hardware gelangen kann.

	Überspannungsableiter	Optokoppler
Erdverbindung	funktionsentscheidend. Ohne hinreichend niederohmige Erdverbindung ist Überspannungsableiter wirkungslos	nicht notwendig
kapazitve Belastung	außergewöhnlich hoch	wie Geräteanschluß (vernachlässigbar)

	Überspannungsableiter	Optokoppler
Kompliziertheit	geringer	höher
eigene Stromversorgung	-	typischerweise erforderlich
Anordnung	unbedingt an beiden Enden des Kabels	kann sein, daß es genügt, die galvanische Trennung an einem der Kabelenden vorzusehen
Fehler (Ausfälle) der Schutzeinrichtungen	Schutzbaulemente sind den Signalwegen parallelgeschaltet. Der häufigste Fehlermechanismus ist die Unterbrechung des Ableit-Stromweges (Schutzwirkung verschwindet). Dies bleibt typischerweise unbemerkt	da die Optokoppler unmittelbar in die Signalwege geschaltet sind, führen Ausfälle zur Unterbrechung der Datenübertragung, sind also ohne weiteres erkennbar
Schutzwirkung bei geringen Überspannungen	weniger gut; je höher die Überspannung, desto besser wirkt der Ableiter	in vollem Umfang gegeben
zulässige Überspannungsbereiche	5 V... über 10 000 V, aber nur für Impulsbelastung. Zulässige Ableitströme beachten	250 V, 100 V, 2500 V (typische Kennwerte). Es fließen keine Ableitströme; Überspannung darf beliebig lange anliegen*)
Schwierigkeiten beim Installieren	will fachgerecht installiert sein (Erdverbindung), sonst wirkungslos	keine (nur richtig anschließen)
Wirkung gegen	Gleichtakt- und Gegentaktstörungen	Gleichtaktstörungen
länger anliegende Überspannung	kann Überspannungsableiter beschädigen	hat keine Auswirkung

*) auf Technische Daten achten. Manchmal gibt es Einschränkungen (Beispiel: 2 500 V für höchstens 1 Minute)

Tabelle 8.15 Überspannungsableiter und Optokoppler (1)

	Überspannungsableiter	aus der Schnittstelle gespeiste Optokoppler	Optokoppler mit eigener Stromversorgung
Wirkung gegen Gleichtaktstörungen	wirkungslos wegen der niederohmigen Erdverbindung (vgl. Abbildung 8.56)	gemäß Datenblatt	gemäß Datenblatt
Wirkung gegen eingekoppelte Störungen	gemäß Datenblatt	keine	gemäß Datenblatt
Datenrate	wegen der Kapazität der Bauelemente typischerweise auf 19 200 Bits/s begrenzt	da Strom gespart werden muß, typischerweise auf weniger als 19 200 Bits/s begrenzt	gemäß Datenblatt (bis zu 115 200 Bits/s und mehr)

	Überspannungsableiter	aus der Schnittstelle gespeiste Optokoppler	Optokoppler mit eigener Stromversorgung
Kabellänge	wegen der Kapazität der Bauelemente typischerweise auf unter 15 m beschränkt	typischerweise beschränkt (5...15 m), abhängig von der Treibfähigkeit der Schnittstelle	gemäß Datenblatt (z. B. 15...50 m)
Eignung	bei vergleichsweise seltenen kurzzeitigen Störspitzen	im Bürobereich bei nicht allzu hohen Geschwindigkeiten und Kabellängen	für industrielle Anwendungen (= überall dort, wo es darauf ankommt)

Tabelle 8.16 Überspannungsableiter und Optokoppler (2). Nach: Robust DataComm, Inc.

8.6.2.3. Abhilfe (2): andere Übertragungsverfahren

Es stehen verschiedene Verfahren zur Wahl (RS-422, RS-485, Stromschleife, Modemkopplung, Ethernet, Glasfaser usw.). Näheres in den Abschnitten 8.6.2. bis 8.6.6. Verfahren, die - wie RS-232 - einen gemeinsamen Bezugspegel (= Erdverbindung) erfordern (z. B. RS-422 und RS-485), schützen zwar gegen eingekoppelte Störungen, nicht aber gegen Gleichtaktstörungen aufgrund unterschiedlicher Erdpotentiale. Was gegen sämtliche Störungen elektrischer Art 100%ig hilft: die Übertragung über Lichtwellenleiter (Glasfaserkabel).

8.6.2.4. Abhilfe (3): Optokoppler

Optokoppler bewirken eine galvanische Trennung der Signalwege (Abbildungen 8.57 bis 8.60). Die typische Ausführung: ein Kästchen mit entsprechenden Anschlüssen (Repeater, Isolator).

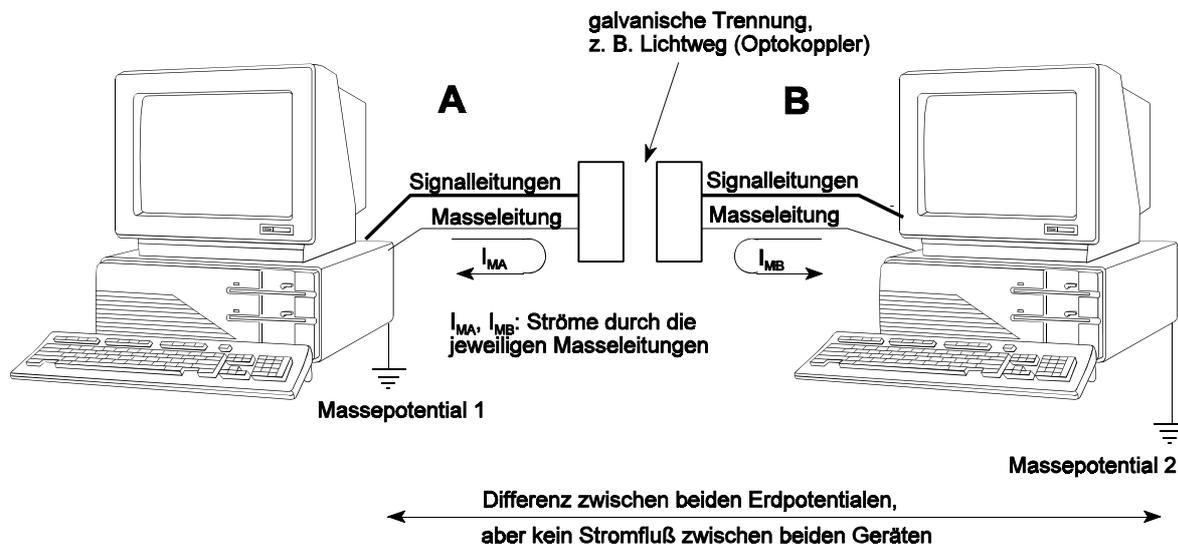


Abbildung 8.57 RS-232-Verbindung mit galvanischer Trennung

Erklärung zu Abb. 8.57:

Zwischen den Geräten beider Seiten A, B gibt es keine elektrisch leitende Verbindung. Unterschiedliche Erdpotentiale können somit keinen Stromfluß von einem Gerät zum anderen bewirken, Gleichtaktstörungen können gar nicht entstehen. Die Interfacekabel beider Seiten enden am Optokoppler. Ströme durch die jeweilige Masseleitung ergeben sich aus den Rückströmen der Signale und ggf. aus Erdpotentialdifferenzen zwischen Gerät und Optokoppler.

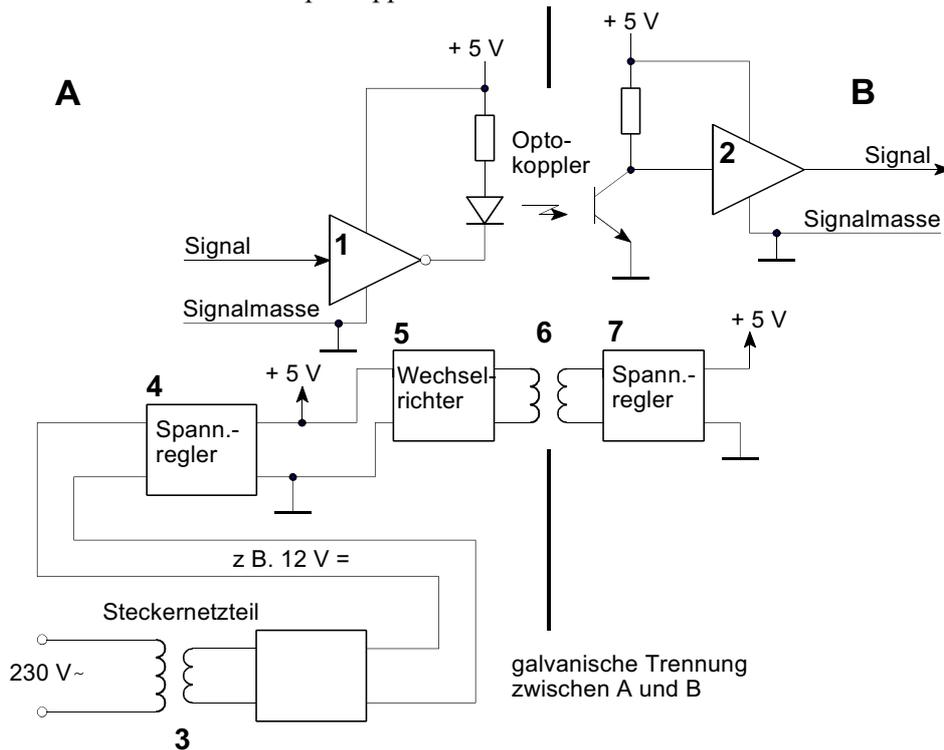


Abbildung 8.58 Zur Wirkungsweise des Optokopplers

Erklärung:

Die Abbildung zeigt nur einen Signalweg (von A nach B) sowie die Spannungsversorgung. 1 - RS-232-Empfänger. Treibt die LED des Optokopplers. 2 - RS-232-Treiber. Eingangseitig dem Phototransistor des Optokopplers nachgeschaltet. Die Optokoppler bewirken eine galvanische Trennung der Signalwege. Sie benötigen aber ihrerseits Speisespannung. Damit alles richtig funktioniert, darf es auch bei der Spannungsversorgung keine leitende (= galvanische) Verbindung zwischen den Seiten A und B geben. Dies wird mit Transformatoren gewährleistet. Die Abbildung zeigt eine typische Lösung. 3 - Steckernetzteil. Dessen Transformator sorgt für eine Roh-Speisespannung, die keine Verbindung zum Erdpotential hat. 4 - Spannungsregler. Versorgt die Optokoppler-Hardware auf Seite A. 5 - Wechselrichter (DC-AC). Speist den Transformator 6. 7 - Spannungsregler (mit vorgeschaltetem Gleichrichter (AC-DC)). Versorgt die Optokoppler-Hardware auf Seite B. Typischerweise sind Wechselrichter 5, Transformator 6 und Spannungsregler 7 in einer Funktionseinheit (Gleichspannungswandler, DC/DC Converter) zusammengefaßt.

Hinweis:

Es ist beides galvanisch zu trennen: die Signale und die Spannungsversorgung. Ist ein Gerät (Repeater/Isolator) für eine bestimmte Überspannung spezifiziert (z. B. für 2 500 V), so müssen nicht nur die eigentlichen Optokoppler diese Anforderung erfüllen, sondern auch die Transformatoren, die Gleichspannungswandler, die Leiterplatten usw. Hier gibt es durchaus Unterschiede zwischen Qualitäts- und Billiganbietern...

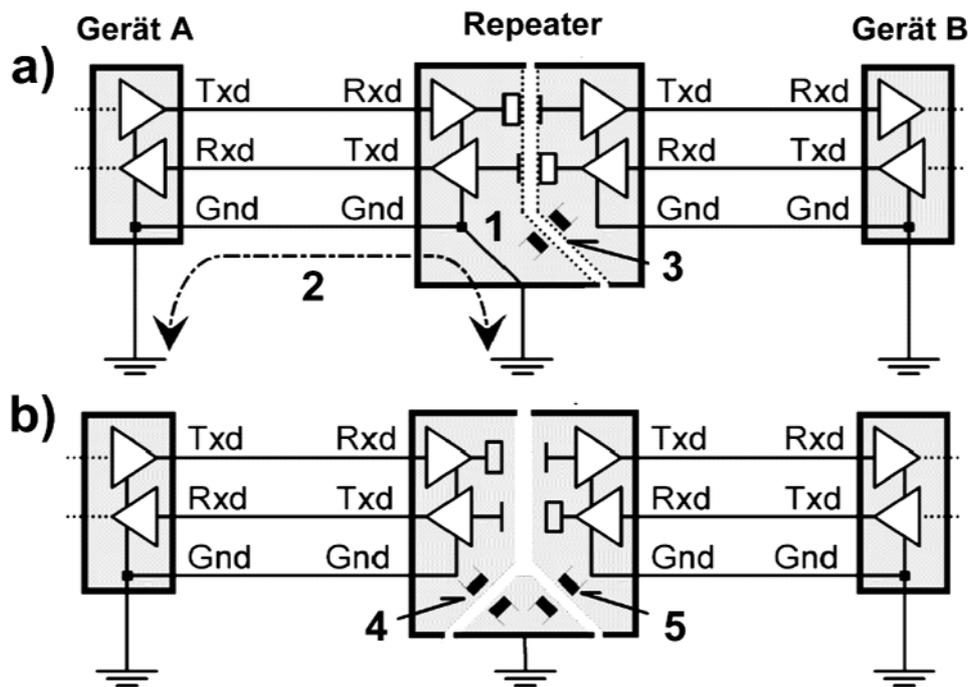


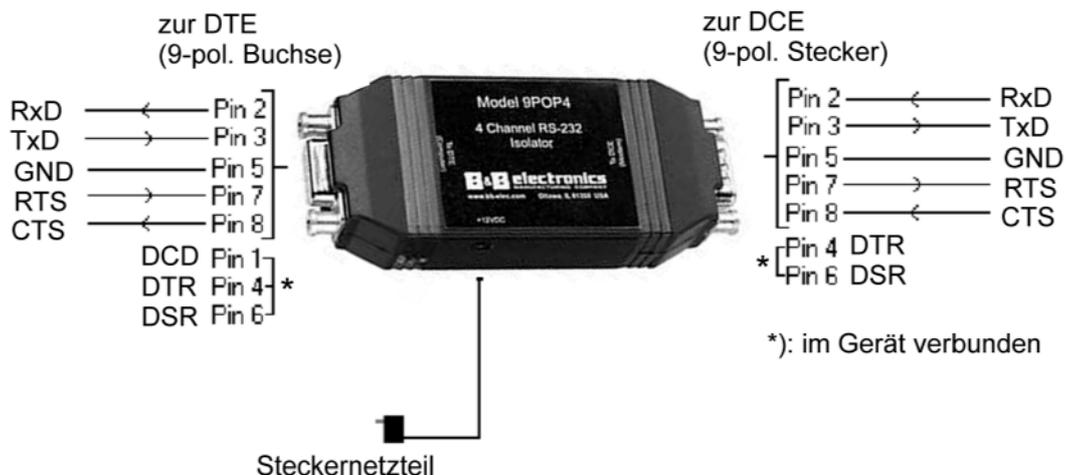
Abbildung 8.59 Zwei Konfigurationen der galvanischen Trennung (Robust DataComm Inc.)

Erklärung:

- a) Repeater mit unvollständiger Trennung (2-Port oder 2-of-3 Ground Isolation). Die Spannungsversorgung der Seite A hat Verbindung mit Erde und Signalmasse. 1 - Erdverbindung der Spannungsversorgung; 2 - auf Seite A können Erdpotentialdifferenzen zwischen Gerät und Repeater zum Stromfluß uber die Masseleitung führen (Erdschleife). 3 - die Spannungsversorgung von Seite B ist vom Erdpotential galvanisch getrennt. Diese Auslegung ist etwas kostengünstiger. Beispiel: in der Konfiguration von Abbildung 8.58 ist Position 3 ein gewöhnliche Steckernetzteil und Position 4 ein Linearregler. Solche Repeater sind ohne weiteres dann einsetzbar, wenn sie an den Netzstromkreis des Gerätes A angeschlossen werden können (z. B. Anordnung in unmittelbarer Nähe des Computers).
- b) Repeater mit vollständiger Trennung (3-Port oder 3-of-3 Ground Isolation). Die Spannungsversorgung des Repeaters ist auf beiden Seiten A, B vom Erdpotential galvanisch getrennt (4, 5). Das erfordert mehr Aufwand. Gewöhnliche Steckernetzteile sind keineswegs für Isolationsspannungen von z. B. 2 500 V spezifiziert^{*)}. Man braucht entweder ein Netzteil in Sonderbauform oder man muß auch die Speisespannung für Seite A uber einen entsprechenden Gleichspannungs-

wandler (Schaltregler) mit eigenem Trafo erzeugen. Anwendung: wenn der Repeater in einer gewissen Entfernung von den Geräten angeordnet werden soll (z. B. in einem Verteilerschrank, der in einem anderen Raum steht als der Computer).

*) : gelegentlich hängt es vom Netzteil ab, welche Potentialdifferenz der Repeater wie lange aushält. Datenblätter/Beschreibungen genau lesen!



NOTE: Care should be taken when choosing the power supply if the full 2500V RMS isolation is required for your system. Many inexpensive supplies, including the unregulated supplies sold by B&B Electronics, only provide 1500V AC isolation between the primary and secondary windings.



Abbildung 8.60 Ein RS-232-Isolator (B&B Electronics)

Erklärung:

Dieser Apparat enthält Optokoppler für 4 RS-232-Leitungen; zwei von der DTE zur DCE, zwei von der DCE zur DTE). Die spezifizierte Isolationsspannung: 2 500 V. Sie wird aber in der Praxis durch das Steckernetzteil begrenzt. Der Auszug aus dem Datenblatt zeigt, worauf u. a. zu achten ist.

Hinweise:

1. Auswahlkriterien: (1) Anzahl und Art der Signale, die galvanisch getrennt werden, (2) Isolationsspannung, (3) Art der Isolation gegen Erde (2-of-3 oder 3-of-3), (4) Treibfähigkeit (bestimmt die maximalen Kabellängen).
2. Wenn es um höchstens 4 Leitungen geht, aber um andere Signale: es kommt nur auf die Übertragungsrichtung an, nicht aber darauf, wie die Signale heißen. Ggf. ein Sonderkabel anfertigen oder eine Jumper Box o. dergl. zwischenschalten.
3. Sind mehr als 4 Signale galvanisch zu trennen: (1) nach einem passenden Modell umsehen, (2) zwei oder mehrere Isolatoren parallel einsetzen.

8.6.3. Interfaceverlängerung und Interfaceumschalter

Das Angebot ist reichhaltig (vgl. Teil 5, Kapitel 3). Wir wollen uns hier auf einige Praxisfragen der Interfaceverlängerung beschränken (Tabelle 8.17, Abbildungen 8.61 bis 8.64).

Art der Einrichtung	Datenrate ¹⁾	max. Entfernung ²⁾	galvanische Trennung
Booster	115 200 Bits/s	2 · 15 m	nein
Line Extender	19 200 Bits/s	einige hndert m... mehrere km	ja/nein ³⁾
Kurzstreckenmodem	19 200 Bits/s	20 km	ja
Lichtwellenleiter (Glasfaserkabel)	beliebig	1... 5 km (Multimode), 20...40 km (Monomode)	ja
Funkverbindung	64 kBits/s	50...300 m	ja
Infrarotverbindung	115 200 Bits/s	5...10 m	ja
Verbindung übers 230-V-Netz (Power Line Modem)	2 400 Bits/s	50 m (Versorgungsbereich des jeweiligen Stromnetzverteilers)	ja
Netzwerkverbindung (Kommunikations-server)	beliebig	100 m...weltweit (Internet)	ja
RS-422/485	siehe Abschnitt 8.6.5.	1 200 m	ja/nein ³⁾

1): Orientierungswerte. Datenrate ist entfernungsabhängig. 2): typische Werte; 3): bauartabhängig

Tabelle 8.17 Verlängerung serieller Schnittstellen - ein Überblick

Wichtige Auswahlgesichtspunkte:

- zu überbrückende Entfernung bzw. anzuschließende Kabellänge,
- Datenrate,
- Verkabelungskosten (erforderliches Kabelmaterial),
- Gegebenheiten der Infrastruktur (bis hin zu solchen Trivialitäten wie der Verfügbarkeit von Steckdosen für Steckernetzteile),
- Schutzbedürfnisse (betrifft eingekoppelte Störungen, Gleichtaktstörungen usw.),
- unterstützte Signale. Nicht alle Einrichtungen reichen alle Schnittstellensignale durch. Oft werden nur die Datenleitungen (TxD, RxD) verlängert, so daß Signalprotokolle mit Hardware-Handshaking nicht anwendbar sind (man ist dann z. B. auf XON/XOFF-Signalisierung beschränkt).

Hinweis: Die meisten Schnittstellenverlängerungen sind nicht gerade ausführlich dokumentiert. Es handelt sich z. T. um No-Name-Produkte oder um Eigenmarken der Distributoren. Genau nachsehen. Vor Großbeschaffungen erst mal probieren...

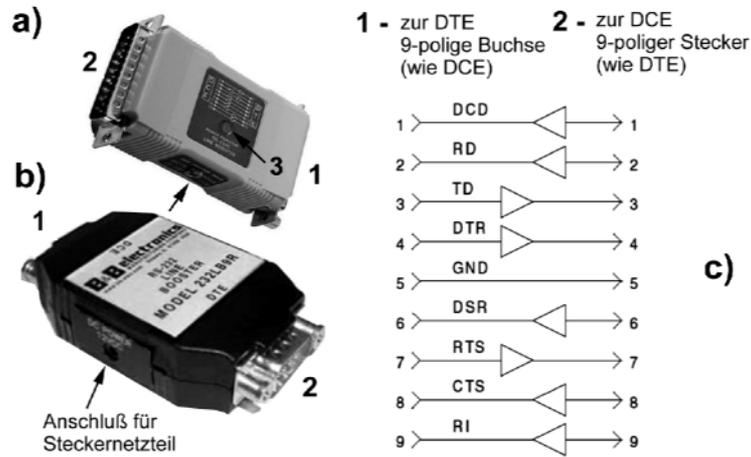


Abbildung 8.61 Einfache Booster

Erklärung:

a) - Booster mit 25-poligen Steckverbindern; b) - Booster mit 9-poligen Steckverbindern; c) - Schaltbild des Modells b). Es werden alle 8 Signale der PC-typischen seriellen Schnittstelle verstärkt. Die Booster sind typischerweise so ausgelegt, daß sie über 1:1-Kabel in eine DTE-DCE-Verbindung eingefügt werden können. 1 - hier wird das Kabel zur DTE angesteckt (Buchse im Gerät, Stecker am Kabel); 2 - Anschluß des zur DCE führenden Kabels (Stecker im Gerät, Buchse am Kabel); 3 - Kontroll-LED für Versorgungsspannung (aus Steckernetzteil). Beim Anschließen kann man sich typischerweise an den Steckverbindern orientieren (Buchse: zur DTE, Stecker: zur DCE). Die aufgedruckte Beschriftung verwirrt gelegentlich. So bezieht sich die Beschriftung des Gerätes b) auf das anzusteckende Kabelende (DTE = das DTE-seitige Ende des Kabels das zur DCE führt; DCE = das geräteseitige Ende des Kabels, das von der DTE kommt).

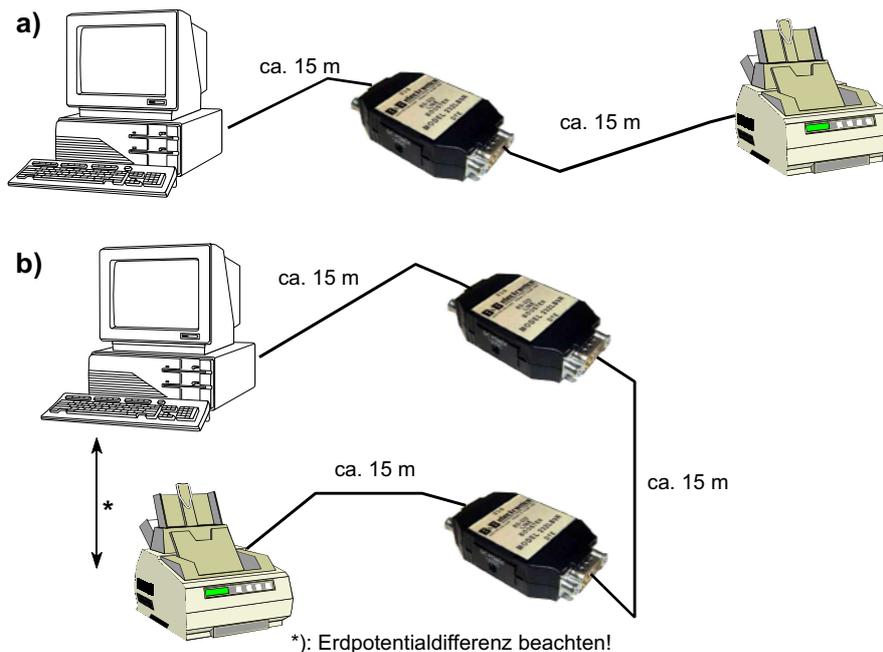


Abbildung 8.62 Booster im Einsatz

Erklärung zu Abb. 8.62:

- a) ein Booster kann auf beiden Seiten bis zu 15 m Kabel treiben (bis zu 115 200 Bits/s; bei größeren Kabellängen verringert sich die maximale Datenrate entsprechend). Anschluß:
- DTE-DCE-Verbindung: über zwei Gerätekabel (1:1-Kabel),
 - DTE-DTE-Verbindung: 1:1-Kabel von der ersten DTE zum DCE-Stecker des Boosters, Nullmodemkabel vom DTE-Stecker des Boosters zur zweiten DTE.
- b) um größere Kabellängen zu treiben, kann man mehrere Booster hintereinanderschalten. Aber Achtung:
- es gibt keine galvanische Trennung - unterschiedliche Erdpotentiale führen zu Erdschleifen und damit zu Gleichtaktstörungen,
 - es handelt sich um eine einfache Verstärkung (die Signale werden empfangen und wieder getrieben), nicht aber um ein aktives Regenerieren. Damit werden unterwegs eingekoppelte Störungen mitverstärkt. (Manche Booster haben eingebaute Filter, um diesen Effekt gering zu halten, aber Wunder kann man davon nicht erwarten.)

Hinweis:

Booster lassen sich auch nutzen, um EIA-562-Schnittstellen auf RS-232 (mit der entsprechenden Treibfähigkeit) umzusetzen. Dabei die maximale Kabellänge der EIA-562-Verbindung beachten (vgl. Abschnitt 8.3.3.).

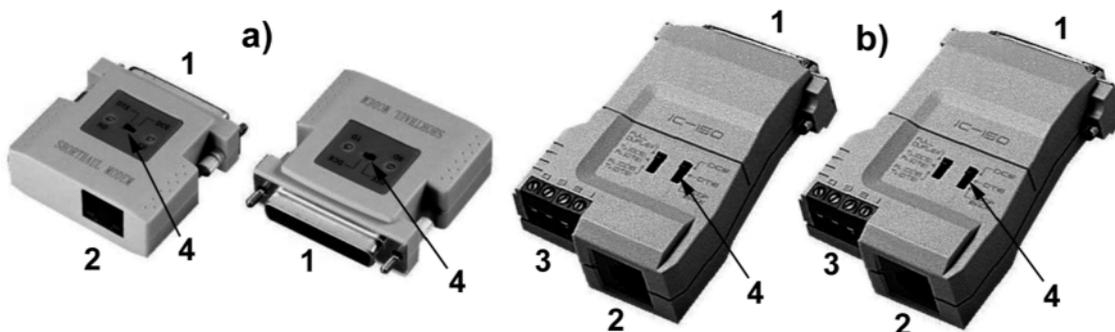


Abbildung 8.63 Schnittstellenverlängerungen (Arp Datacon)

Erklärung:

Mit solchen Geräten kommt man über größere Entfernungen. Sie werden paarweise benötigt. 1 - Schnittstellenanschluß; 2 - Kabelanschluß (Westernstecker); 3 - Kabelanschluß (Schraubklemmen); 4 - DTE/DCE-Wahlschalter. Es werden nur die Datensignale übertragen. Die hier gezeigten Geräte brauchen keine Netzteile; sie werden über Schnittstellensignale versorgt (Port powered). Der typische Schnittstellenanschluß: Buchse, 25-polig (wie DCE). Beim Installieren das eine Gerät als DCE, das andere als DTE konfigurieren (Wahlschalter 4). Auf der DCE-Seite braucht man ggf. einen Zwischenstecker (Gender Changer). DCE über ein Gerätekabel (1:1-Kabel) anschließen, *nicht* über ein Nullmodemkabel.

- a) Kurzstreckenmodem. Maximal 19 200 Bits/s Vollduplex über 20 km. Kabel: UTP ab Kategorie 3.
- b) Line Extender. 110 Bits/s bis 38 400 Bits/s Vollduplex (leitungslängenabhängig; z.B. 19 200 Bits/s über 800 m, 110 Bits/s über 10 km). UTP mit zwei Adernpaaren.

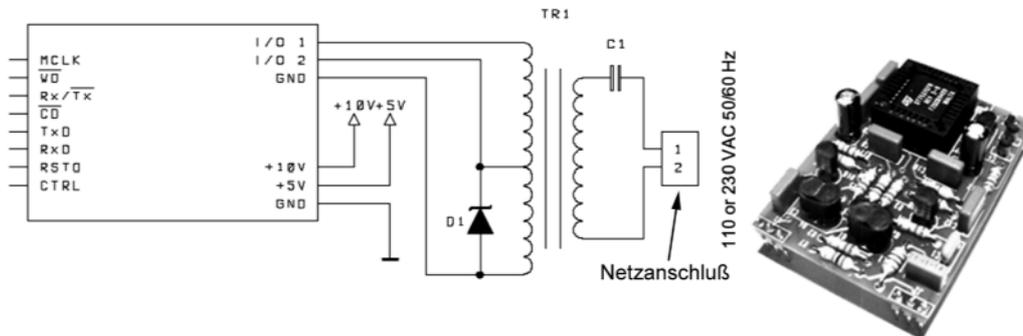


Abbildung 8.64 Schnittstellenverlängerung übers Stromnetz

Erklärung:

Die Nutzung des Stromnetzes erspart es, Kabel zu verlegen. Deshalb erscheinen immer wieder entsprechende Geräte (hier: eine Ausführung als Zulieferteil (Baugruppe). Fertigeräte sehen typischerweise wie Steckernetzteile aus. Im Schaltbild (links) ist das Prinzip der Ankopplung (über Transformator) zu erkennen. Die Datenrate ist aber recht gering (ca. 2 400 Bits/s)^{*)} und ein störungsfreier Betrieb ist typischerweise nur im Versorgungsbereich eines Stromkreisverteilers gewährleistet.

*) es werden auch Systeme angeboten, die mehrere MBits/s übertragen können. Problematisch: die Störsicherheit. Das äußert sich bisweilen in recht laxen Entfernungsangaben, z. B. „30...100 m in Abhängigkeit von den örtlichen Verhältnissen”. *Achtung:*

- es geht um eine Kabellänge, nicht etwa um die Luftlinie,
- die Kabellänge von älteren, nicht exakt dokumentierten Netzinstallationen ist kaum bekannt (müßte also ggf. gemessen werden),
- wenn im Laufe der Zeit weitere Verbraucher (z. B. Produktionsmaschinen) an das betreffende Stromnetz angeschlossen werden, kann sich die ausnutzbare Entfernung merklich verringern (peinlich, wenn man sich z. B. auf die angegebenen 100 m verlassen hat...).

8.6.4. Serielle Schnittstelle und USB

Der USB ermöglicht es, serielle Schnittstellen über Interfacewandler zu betreiben (Abbildungen 8.65, 8.66). Die seriellen Schnittstellen gehören zur Klasse der Kommunikationseinrichtungen (Communication Devices). USB ist aber keineswegs ein transparentes Protokoll, das „einfach” Registerinhalte und Signalbelegungen über serielle Wege transportiert^{*)}. Deshalb werden Registerzugriffe auf die herkömmlichen Portadressen nicht unterstützt. Der einzige Zugang führt über die Anwendungsprogrammchnittstellen der jeweiligen Systemplattform (z. B. Windows oder Linux). Über den USB angeschlossene serielle Schnittstellen können somit nur von Programmen genutzt werden, die sich an die betreffenden Systemkonventionen halten; Programme, die herkömmliche Schnittstellen über direkte Registerzugriffe ansteuern, werden nicht funktionieren.

*) Beispiel eines solchen Protokolls: Serial ATA (Kapitel 9).

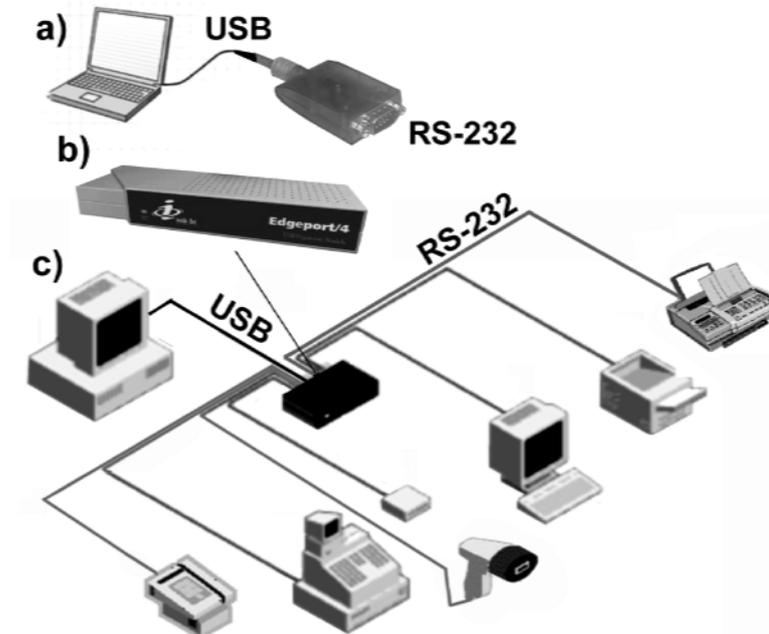


Abbildung 8.65 Betrieb serieller Schnittstellen über den USB

Erklärung:

a) - portabler PC mit Schnittstellenwandler. Hierüber kann man neomodische Computer mit herkömmlichen Schnittstellen ergänzen. Den Wandler für eine einzige RS-232-Schnittstelle bekommt man ohne weiteres in einem etwas dickeren Interfacestecker unter. b) - Erweiterungseinheit (USB COM Port Expansion Unit) für mehrere serielle Schnittstellen (4...16 sind typisch); c) - Erweiterungseinheit im Einsatz. Einem Computer sind über USB und Erweiterungseinheit mehrere Geräte mit seriellen Schnittstellen nachgeschaltet (vgl. Abbildung 8.49).

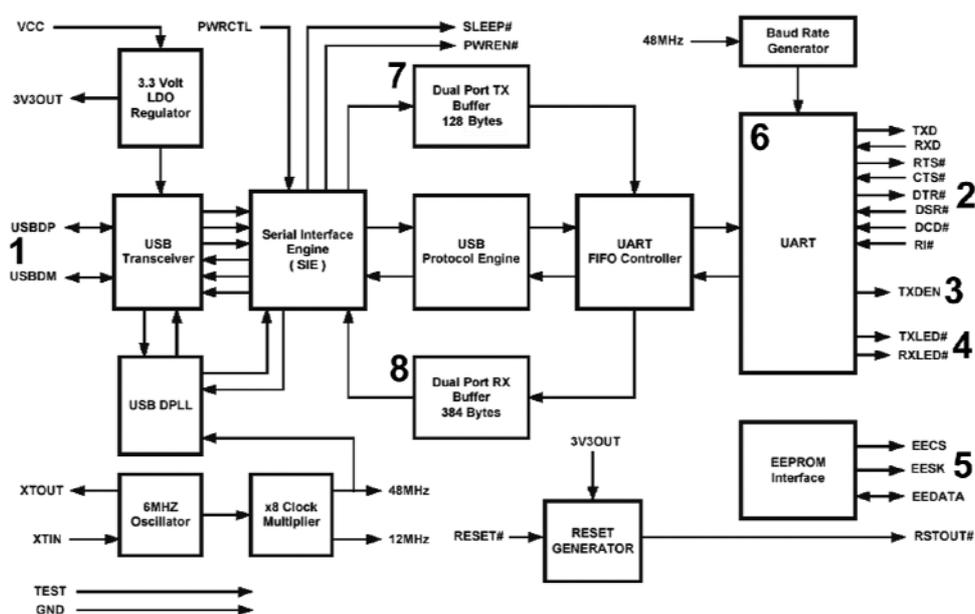


Abbildung 8.66 Blockschaubild eines Schnittstellenwandlerschaltschreises (FTDI Ltd.)

Erklärung zu Abb. 8.66:

Ein einfacher Schnittstellenwandler besteht typischerweise aus 3 Schaltkreisen: dem eigentlichen Wandlerschaltkreis, der Treiber-Empfänger-Kombination und einem seriellen EEPROM für die Konfigurationsdaten. Der Wandlerschaltkreis enthält sowohl die USB-Anschlußsteuerung als auch die UART. 1 - USB-Anschluß; 2 - Schnittstellensignale; 3 - Sendeerlaubnisausgang für RS-485-Wandler; 3 - Ansteuerung der Sende und Empfangsanzeigen (LEDs); 5 - Schnittstelle für seriellen EEPROM; 6 - UART; 7 - Sendepuffer (hier: 128 Bytes); 8 - Empfangspuffer (hier: 384 Bytes). Die maximale Datenrate: bis zu 3 MBits/s (über RS-232-Koppelstufen höchstens 1 MBits/s).

USB zur Schnittstellenverlängerung

Das lohnt sich typischerweise nicht (zu teuer). Besser: den Wandler nicht unnötig weit vom Computer absetzen und ggf. die RS-232-Signalwege verlängern (oder z. B. einen Wandler USB auf RS-485 einsetzen).

8.6.5. RS-422 und RS-485

8.6.5.1. Einführung

Der Standard RS-422 spezifiziert eine differentielle Signalübertragung, die Datenraten von 10 MBits/s und Leitungslängen von 1200 m ermöglicht (allerdings nicht beides gleichzeitig; die Datenrate ist längenabhängig). Als Übertragungsmedium werden paarweise verdrehte Kabel (ein Leitungspaar je Signal) verwendet. Wellenwiderstand: zwischen 100 und 120 Ohm. Die Kabel sind gemäß dem Wellenwiderstand abzuschließen.

RS-422 ist für die Signalübertragung in jeweils einer Richtung vorgesehen. Am Kabel können aber mehrere Empfänger angeschlossen sein. RS-422 wurde 1975 entwickelt und 1978 verbessert (RS-422A). Die seriellen Schnittstellen der ersten Macintosh-Computer wurden nach diesem Standard ausgelegt.

RS-485 ist eine Weiterentwicklung von RS-422, die 1983 eingeführt wurde. RS-485-Leitungen können bidirektional (in beiden Richtungen) genutzt werden, und mehrere Treiberstufen können - nach Art eines Bussystems - auf einer solche Leitung arbeiten.

Die Standards beschreiben nur elektrische Kennwerte (also keine Übertragungsprotokolle). Abbildung 8.67 veranschaulicht die Signalwege gemäß beiden Standards. In Tabelle 8.18 sind wichtige Kennwerte zusammengefaßt.

Wir beschränken uns im folgenden auf die Nutzung dieser Standards zur RS-232-Interfaceverlängerung. Hierbei gibt es nur Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (von Interfacewandler zu Interfacewandler).

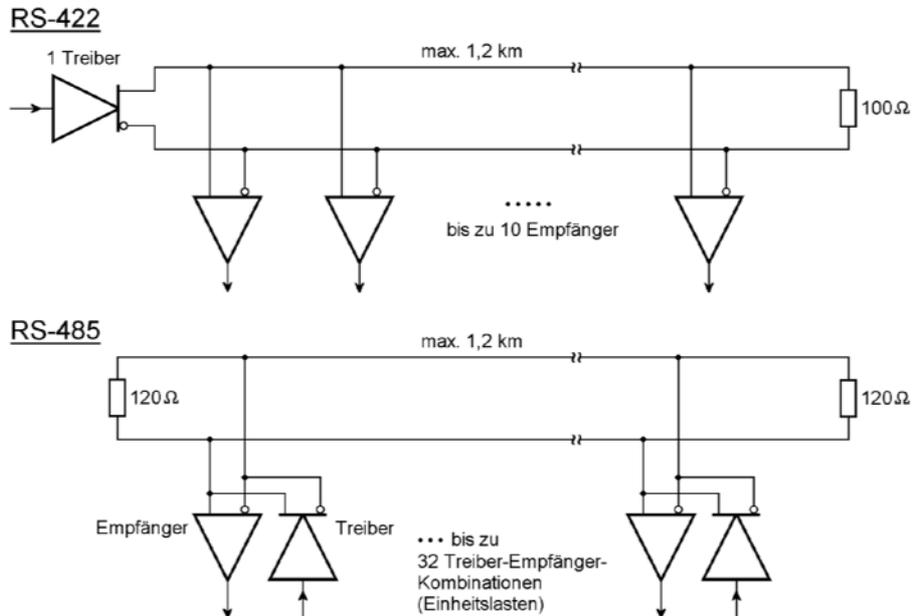


Abbildung 8.67 Signalwege nach RS-422 und RS-485

Kennwert	RS-422	RS-485
maximale Gleichtaktspannung (zulässige Erdpotentialdifferenz)	- 7 ... + 7 V	- 7 ... + 12 V
differentieller Spannungshub am Treiberausgang	2 ... 6 V	1,5 ... 5 V
differentieller Spannungshub (Empfindlichkeit) am Empfängereingang	- 200 ... + 200 mV bei einer Gleichtaktspannung zwischen -7 und +7 V	- 200 ... + 200 mV bei einer Gleichtaktspannung zwischen -7 und +12 V
Eingangswiderstand des Empfängers	wenigstens 4 kΩ	wenigstens 12 kΩ
zu treibende Last	100 Ω	60 Ω
Kurzschlußstrom durch Treiberausgang	150 mA nach Masse	150 mA nach Masse; 250 mA nach -7...+12 V
Leckstrom eines Treiberausgangs	nicht mehr als 100 μA bei einer beliebigen Spannung zwischen - 0,25 und + 6 V	nicht mehr als 100 μA bei einer beliebigen Spannung zwischen - 7 bis + 12 V
Anstiegszeit	$t_T \geq 0,1 UI$ oder 20 ns (es gilt der jeweils größere Wert)	$t_T \geq 0,3 UI$
Anzahl der Einheitslasten an einer Leitung	1 Treiber; bis zu 10 Empfänger	bis zu 32 Treiber-Empfänger-Kombinationen

Tabelle 8.18 RS-422 und RS-485: wichtige Kennwerte

Die Einheitslast (RS-485)

Die Kombination aus einem inaktiven Treiber und einem Empfänger gilt als Einheitslast (Unit Load). Die Einheitslast gewährleistet einen Stromfluß von 1 mA bei einer Gleichtaktspannung von - 7...+ 12 V.

Schutzvorkehrungen (RS-485)

Treiber müssen Schutzvorkehrungen gegen Mehrfachaufschaltung (Contention) haben (wenn mehrere Treiber gleichzeitig an einer Leitung aktiv sind und „gegeneinander arbeiten“, darf nichts kaputtgehen).

8.6.5.2. Signalübertragung

Jedes Signal wird über zwei Leitungen übertragen (differentielle Signalübertragung). Die Signalpegel werden aber auf eine gemeinsames Massepotential bezogen. Abbildung 8.68 veranschaulicht die Signalpegel. Abbildung 8.69 zeigt Einzelheiten eines Signalwegs. Um die typischen Besonderheiten zu verstehen, ist es zweckmäßig, sich einige der seinerzeitigen Entwicklungsziele vor Augen zu führen:

- weitgehend störssichere Übertragung über größere Entfernungen,
- nur eine (positive) Speisespannung (typischerweise die gängige Logik-Speisespannung + 5 V),
- Nutzung bewährter Schaltungstechnologien (seinerzeit: TTL),
- Betriebsfähigkeit auch bei Vorhandensein von einigen Volt Erdpotentialdifferenz (Gleichtaktspannung).

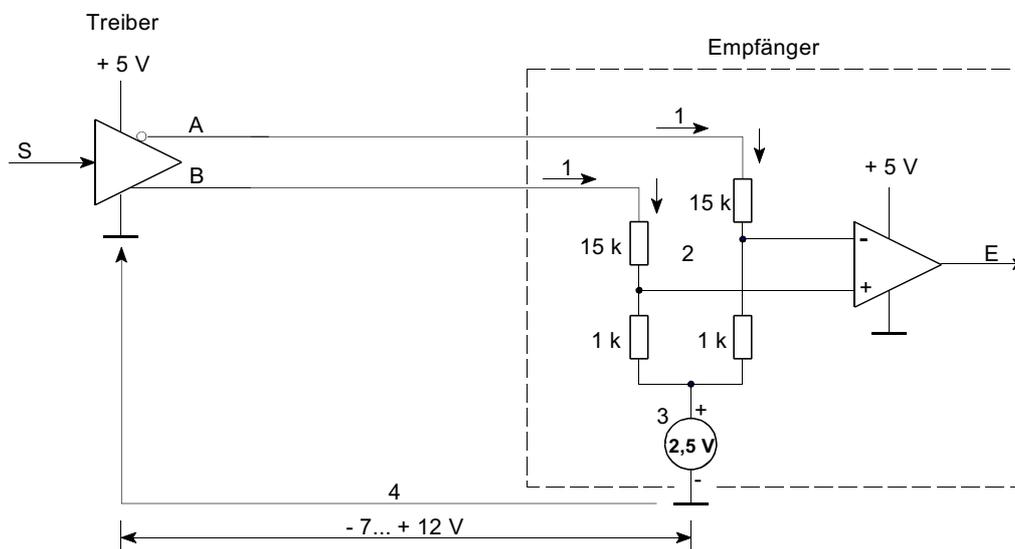


Abbildung 8.68 Signalpegel im Überblick

Erklärung:

a) - Spannungsmessungen am Treiber; b) - die gegen Masse gemessenen Ausgangsspannungen; c) - die zwischen den Leitungen A, B gemessene Differenzspannung. Die Signalpegel werden anhand einer Folge Mark - Space -Mark dargestellt. Die folgenden Angaben betreffen RS-485:

- Signalhub am Treiberausgang: maximal 5 V, typisch um 3 V, minimal 1,5 V (RS-422: maximal 6 V, minimal 2 V).
- Signalhub am Empfängereingang: mindestens 200 mV,
- verbotener Bereich: 200 mV (bei einer Differenzspannung unterhalb ± 200 mV ist der Empfänger-ausgang undefiniert),
- Störabstand: $1,5 \text{ V} - 0,2 \text{ V} = 1,3 \text{ V}$.

Die beiden Leitungen eines Signalwegs werden üblicherweise mit A und B bezeichnet. Die Pegelzuordnung:

- 0 (Space): $A > B$ (Leitung A führt einen höheren, Leitung B einen niedrigeren Pegel),
- 1 (Mark): $B > A$ (Leitung B führt einen höheren, Leitung A einen niedrigeren Pegel).

Die Treiberausgänge sind herkömmlicherweise eigentlich nichts anderes als gewöhnliche TTL-Gegentaktstufen^{*)} mit höherer Treibfähigkeit. Die Funktionsweise kann man sich so veranschaulichen:

- ist ein 0-Pegel (Space) aufs Interface zu legen, so liefert die A-Stufe ein High und die B-Stufe ein Low,
- ist ein 1-Pegel (Mark) aufs Interface zu legen, so liefert die B-Stufe ein High und die A-Stufe ein Low.

*) bei RS-485: Tri-State-Stufen (um die Leitungen hochohmig schalten zu können).

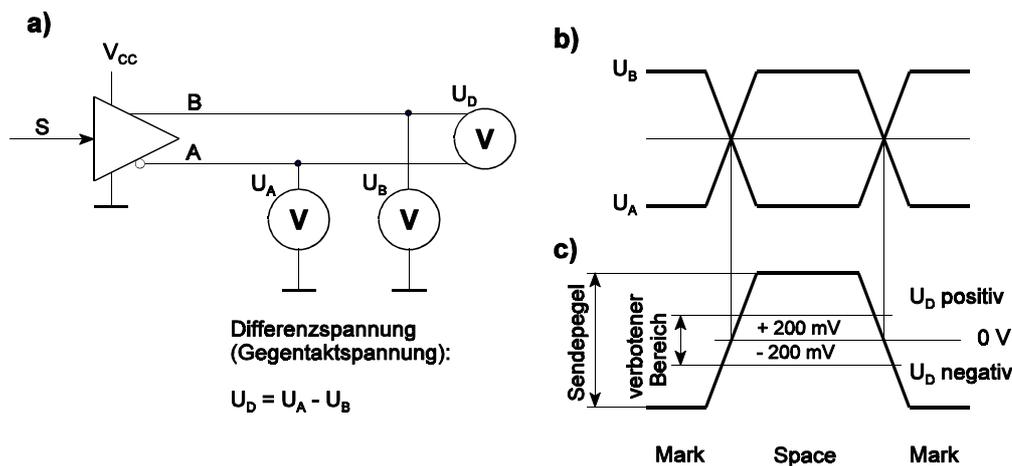


Abbildung 8.69 Ein Signalweg im einzelnen

Erklärung:

Die Abbildung zeigt einen einzelnen Signalweg vom Treiber zum Empfänger. Leitungsabschluß und Masseverbindung sind nicht dargestellt. S - zu sendendes Binärsignal; E - empfangenes Binärsignal; 1 - Stromflüsse vom Treiber zum Empfänger; 2 - Eingangsspannungsteiler im Empfänger; 3 - Referenzspannungsquelle; 4 - Rückstrom über die Masseverbindung.

Die Differenzspannung (Gegentaktspannung) bestimmt den jeweils übertragenen Signalpegel. Es ist aber nicht so, daß beispielsweise über Leitung A ein Strom vom Treiber zum Empfänger fließt und über Leitung B ein Strom gleicher Stärke zurück. Vielmehr werden im Empfänger beide Signalpegel auf das Massepotential bezogen. Die Massepotentiale von Treiber und Empfänger dürfen sich voneinander unterscheiden (Gegentaktspannung), und zwar (RS-485) um $-7... + 12\text{ V}$; das eine Massepotential darf 7 V negativer sein als das andere oder 12 V positiver. 12 V gegen Masse entsprechen 7 V gegen Speisespannung ($+5\text{ V}$). Der eigentliche Empfänger ist ein Differenzverstärker. Damit er Spannungen aushält, die bis zu 7 V positiver sein können als seine Speisespannung, sind die Eingänge A, B über Spannungsteiler 2 geführt. Somit gleichen sich die Stromflüsse in den Leitern A, B nicht aus. Die Funktion des Interfaces hängt deshalb von einer Masseverbindung zwischen Treiber und Empfänger ab (Rückstromweg).

8.6.5.3. Leitungsabschluß

RS-422-Leitungen werden mit $100\ \Omega$ abgeschlossen, RS-485-Leitungen beidseitig mit $120\ \Omega$. Die Abschlußbeschaltung wird oft mit einer Schutzbeschaltung kombiniert (Abbildung 8.70).

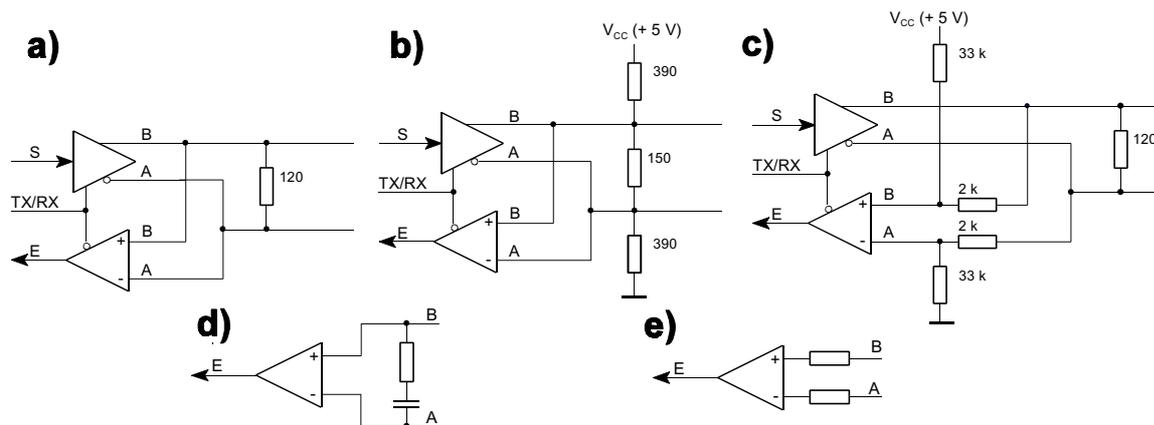


Abbildung 8.70 Leitungsabschluß und Schutzbeschaltung

Erklärung:

Die gezeigten Schaltungen dienen dazu, zwei Probleme zu lösen:

- der Leitungsabschluß (um Reflexionen zu vermeiden),
- das Belegen der Empfängereingänge mit gültigen Signalpegeln auch bei inaktivem Treiber oder bei Kurzschluß zwischen den Leitungen A, B (Biasing; Fail Safe).

Wir zeigen hier zwei Schaltungsbeispiele anhand einer typischen Treiber-Empfänger-Kombination (Zweidrahtverbindung; vgl. Abbildung 8.72). Es gibt auch andere Schaltungslösungen. In der Praxis geht es darum, die betreffenden Funktionen ggf. am Interfacewandler einzustellen (z. B. über Schiebeschalter oder Jumper).

- a) einfacher Leitungsabschluß. Längere Signalleitungen müssen am Empfängereingang (näherungsweise) gemäß ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen sein. Eine typische Lösung (RS-485): ein Widerstand von 120 Ohm zwischen den Leitungen A und B.
- b) Leitungsabschluß mit Vorbelegung (Biasing). Ist der Treiber inaktiv oder ist die Verbindung getrennt (abgezogenes Kabel, Kabelbruch, Wackelkontakt), so liegen A und B praktisch auf gleichem Potential. Somit beträgt die Differenzspannung 0 V, die Empfängereingänge befinden sich im verbotenen Bereich, der Empfängerausgang wird undefiniert. Die zusätzlichen Widerstände gewährleisten, daß B mit einer höheren und A mit einer niedrigeren Spannung belegt wird. Der Empfänger sieht somit eine negative Differenzspannung, d. h. eine 1-Belegung (Mark), wie dies für in Ruhe befindliche Schnittstellen-Datensignale (RTxD, RxD) typisch ist.
- c) Leitungsabschluß mit Vorbelegung und Kurzschlußsicherung (Fail Safe Biasing). Ein Kurzschluß zwischen den Leitungen A, B führt zu einer Differenzspannung von 0 V (verbotener Bereich). Nach Masse und Speisespannung geschaltete Widerstände allein nützen hier nichts. Ein Ausweg: zusätzliche Serienwiderstände unmittelbar vor dem Empfängereingang.
- d) Leitungsabschluß mit kapazitiver Kopplung (AC Termination),
- e) Leitungsabschluß mit Serienwiderständen.

Hinweise zu Variante b):

1. Die Dimensionierung der zusätzlichen Widerstände (Pull-up, Pull-down) ist gelegentlich kritisch (im Verdachtsfall nachsehen). Niederohmige Widerstände (z. B. 330...510 Ohm) sind zwar wirksam, genaugenommen aber nicht im Einklang mit RS-485 (zu hohe Busbelastung, Verringerung der zulässigen Gleichtaktspannung). Manche Standards (z. B. V.11) empfehlen hochohmige Widerstände (um 100 kOhm). Die wirken aber nur dann, wenn *kein* Abschlußwiderstand vorgesehen ist*).
 2. Sind niederohmige Widerstände vorgesehen, so kann der Abschlußwiderstand - wie in der Abbildung gezeigt - etwas höher dimensioniert werden (die Widerstände sind wechsellspannungsmäßig nicht in Reihe, sondern (über die stets vorhandenen Stützkondensatoren) parallel geschaltet.
- *) ein Abschlußwiderstand von 120 Ohm ist im Vergleich zu 100 kOhm nahezu ein Kurzschluß. Somit ergibt sich keine Spannungsteilung, und die Empfängereingänge verbleiben im verbotenen Bereich. Trotzdem werden so ausgelegte Interfacewandler gelegentlich als Fail Safe bezeichnet...

Wann ist ein Leitungsabschluß *nicht* erforderlich? - Gemäß RS-422 in folgenden Fällen:

- Datenrate ≤ 200 kBits/s,
- Anstiegszeit > 4 Kabellaufzeiten.

Bei RS-485 kann man diese Angaben als Faustregeln ansehen. Erprobung erforderlich! Besser: messen (Augendiagramm, Bitfehlerrate (BERT)).

Varianten des Leitungsabschlusses

Der Abschluß mit parallelgeschaltetem Abschlußwiderstand braucht viel Strom. Das verringert die am Empfänger ankommenden Signalpegel (und damit den Störabstand). Aus der RS-232-Schnittstelle gespeiste Interfacewandler (Port Powered Converters) können typischerweise keine derart abgeschlossene Leitungen treiben. Alternative Formen des Leitungsabschlusses: (1) Wechsellspannungskopplung, (2)

Serienwiderstände (vgl. Abbildung 8.70d, e). Diese Abschlußarten brauchen zwar nicht soviel Strom, funktionieren aber nicht in allen Konfigurationen.

8.6.5.4. Zweidraht- und Vierdrahtverbindungen

Um Leitungen zu sparen, beschränkt man sich typischerweise auf die Übertragung der Datensignale (TxD, RxD). RS-422-Verbindungen kann man nur als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit einem Leitungspaar je Signal aufbauen (Vierdrahtverbindung*); Abbildung 8.71). Der Vorteil: in beiden Richtungen können gleichzeitig Übertragungsvorgänge ablaufen (Vollduplexbetrieb). RS-485 ermöglicht es, mit einem einzigen Leitungspaar auszukommen (Zweidrahtverbindung*); Abbildung 8.72), das abwechselnd in beiden Übertragungsrichtungen ausgenutzt werden kann (Halbduplexbetrieb).

*) die Masseverbindung zählt nicht mit, ist aber gelegentlich erforderlich (Abschnitt 8.6.5.5.). Braucht man eine Masseverbindung, so nutzt man hierzu weitere Adernpaare im Kabel - der Schirm ist keine Signalmasse!

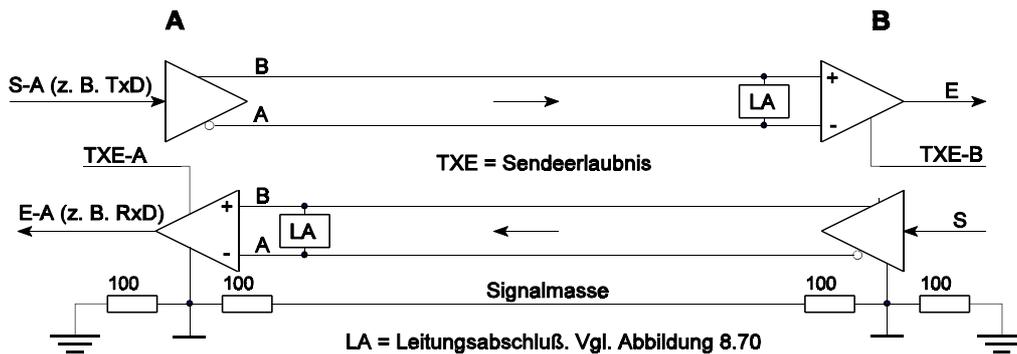


Abbildung 8.71 Vierdrahtverbindung (Vollduplexbetrieb)

Erklärung:

Für jedes Schnittstellensignal ist ein Leitungspaar vorgesehen. Der Leitungsabschluß (vor den Empfängern) ist nicht dargestellt (vgl. Abbildung 8.70).

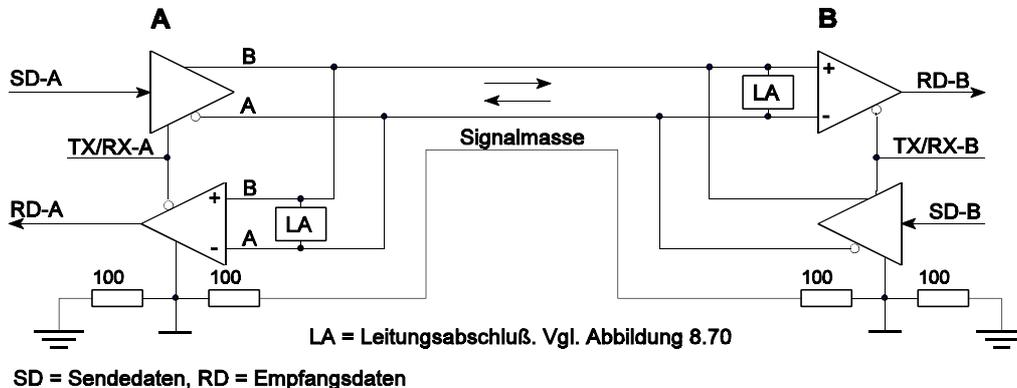


Abbildung 8.72 Zweidrahtverbindung (Halbduplexbetrieb)

Erklärung zu Abb. 8.72:

Der Halbduplexbetrieb beruht auf der Möglichkeit, die Treiber zu deaktivieren:

- Übertragung von A nach B: TX-/RX-A aktiv, TX/RX-B inaktiv,
- Übertragung von B nach A: TX-/RX-A inaktiv, TX/RX-B aktiv.

Abbildung 8.73 veranschaulicht, wie die Interfacewandler zwischen Senden und Empfangen umgeschaltet werden. Es gibt zwei typische Verfahren: die RTS-gesteuerte Umschaltung und die automatische (datengesteuerte) Umschaltung.

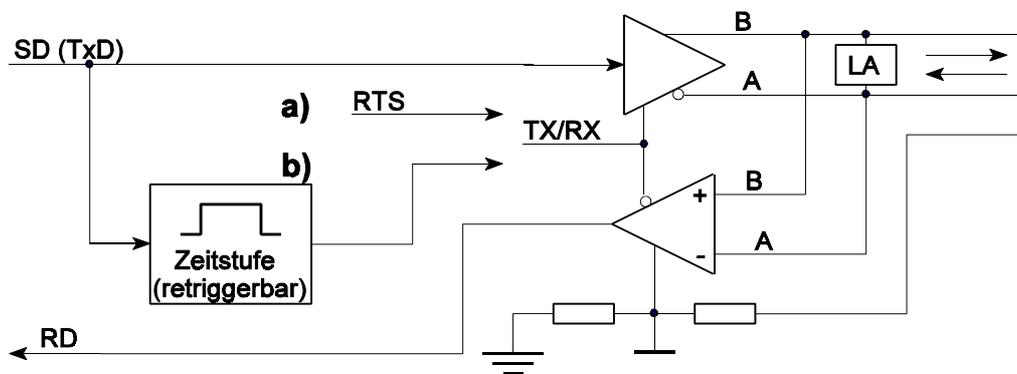


Abbildung 8.73 Umschalten zwischen Senden und Empfangen (Halbduplexbetrieb)

Erklärung:

Die Abbildung zeigt nur eine der beiden Seiten. Die andere ist gleichartig aufgebaut.

- a) RTS-gesteuerte Umschaltung (RTS Control). Das Sende-Empfangs-Umsteuersignal (TX/RX) wird von einem Schnittstellensignal angesteuert (vorzugsweise RTS). RTS inaktiv = Empfangen, RTS aktiv = Senden.
- b) datengesteuerte Umschaltung (Automatic Send Data (SD) Control). Es wird dann gesendet, wenn Sendedaten ankommen. Hierzu ist eine retriggerbare Zeitstufe an den Sendedateneingang SD angeschlossen. Beginnt die Einrichtung zu senden, so triggert der erste Übergang von Mark nach Space (das Startbit) die Zeitstufe. Hierdurch wird der Treiber sofort aktiviert. Werden nun fortlaufend Zeichen gesendet, so kommen immer wieder Mark-Space-Übergänge zustande (z. B. vom letzten Stop- zum nächsten Startbit). Die Zeitstufe wird so ständig aktiv gehalten. Setzt hingegen das Senden aus, so verharrt SD auf Mark-Pegel (Ruhezustand). Die Zeitstufe schaltet dann zurück und deaktiviert so den Treiber. Einstellung der Zeitstufe: sie muß nach dem Triggern wenigstens für die Dauer eines Zeichens aktiv bleiben. Beispiel: 9 600 Bits/s. 1 Zeichen (zu typischerweise 10 Bits (8, N, 1) dauert 1,04 ms. Demgemäß ist die Zeitstufe für etwas mehr als 1 ms einzustellen. Einstellung in der Praxis:
 - von Hand: typischerweise über Steckbrücken (Jumper) oder über DIL-Schalter. Die Steckanweisung ist oft eine Art Tabelle, die für jede unterstützte Datenrate die zugehörige Steckposition oder Schalterstellung angibt.
 - automatisch (Switchless Baudrate Adjust o. dergl.). Ein eingebauter Mikrocontroller mißt die Datenrate (z. B. anhand der kürzesten Impusdauer) und stellt demgemäß die Zeitstufe ein.

Hinweis:

Manche USB-Wandlerschaltkreise haben eine eingebaute Sende-Empfangs-Umschaltung (vgl. das Signal 3 (TXDEN) in Abbildung 8.66). Mit solchen Schaltkreisen kann man nicht nur RS-232- sondern auch RS-485-Wandler aufbauen (das erfordert lediglich eine andere Treiber-Empfänger-Kombination).

8.6.5.5. Masse und Erde

Die Standards fordern einen Rückleiter vom Empfänger zum Sender. Das kann eine weitere Leitung im Kabel sein (Signalmasse); es ist aber auch nicht grundsätzlich verboten, hierfür die vorhandenen Verbindungen zum Erdpotential (sprich: den Schutzleiter) auszunutzen.

Wird eine Signalmasseleitung verwendet, so sind Serienwiderstände zur Strombegrenzung einzufügen (vgl. die Abbildungen 8.71 bis 8.73).

Was ist besser - die Erdverbindung (über den Schutzleiter) oder die Signalmasseleitung? - Ausprobieren...

Die Signalmasseleitung verringert die Impedanz der Rückleitung vom Empfänger zum Sender, kann aber nie Unterschiede zwischen den Erdpotentialen abbauen - dazu ist die Erdung viel zu niederohmig. Vielmehr fließen Ausgleichsströme (Schleifenströme), die durch die Serienwiderstände begrenzt werden. Es kann sein, daß man sich über die Signalmasseverbindung überhaupt erst ein Erdschleifenproblem einhandelt.

Hinweis:

RS-485 arbeitet noch bei einer Erdpotentialdifferenz von -7 V bis - 12 V und verträgt kurzzeitige Gleichtaktstörungen bis ± 25 V. Diese zulässigen Erdpotentialdifferenzen genügen typischerweise für Verkabelungen innerhalb eines Gebäudes (d. h. dort, wo alle Netzstromkreise mit dem selben Betriebs-erder verbunden sind).

8.6.5.6. Galvanische Trennung (Isolation)

Hiermit lassen sich größere Erdpotentialdifferenzen überbrücken. Es gibt Interfacewandler (Converter) und Repeater mit teilweiser und mit vollständiger Isolation (vgl. Abschnitt 8.6.2.4.). Zum Unterdrücken von Störspitzen können zudem Überspannungsableiter eingesetzt werden. Tabelle 8.19 zeigt, welcher Aufwand - in Hinsicht auf solche Schutzvorkehrungen - in Abhängigkeit von der Art der Installation typischerweise erforderlich ist. Abbildung 8.74 veranschaulicht einen ziemlich häufigen Fall der Störeinkopplung.

Konfiguration	Überspannungsableitung	galvanische Trennung
beide Geräte im selben Raum, Anschluß am selben Stromkreisverteiler	-	-
beide Geräte in verschiedenen Räumen, Anschluß am selben Stromkreisverteiler	-	+
beide Geräte im gleichen Gebäude, Anschluß an verschiedene Stromkreisverteiler, aber an den selben Betriebsender	+	++
beide Geräte in verschiedenen Gebäuden (Anschluß an verschiedene Betriebsender)	++	++

:- nur selten erforderlich; +: oft sinnvoll; ++: unbedingt erforderlich

Tabelle 8.19 Verkabelungs-Konfigurationen und Schutzvorkehrungen

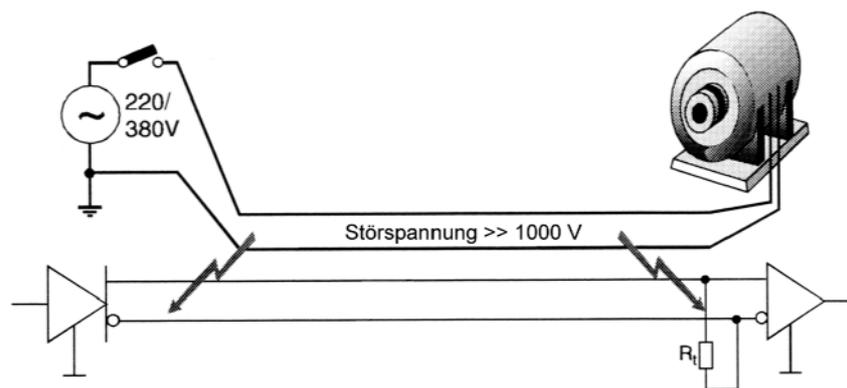


Abbildung 8.74 Ein typischer Störfall (Texas Instruments)

Erklärung:

Beim Ein- und Ausschalten leistungsfähiger Elektromotore können Störspannungsspitzen von mehreren tausend Volt entstehen. Verläuft das Interfacekabel in der Nähe einer entsprechenden Versorgungsleitung, so werden die Störungen in das Interface eingekoppelt. Richtwert: 10% der ursprünglichen Störampplitude werden am Interface als Gleichtaktstörung wirksam. Störimpulsdauer: zwei Kabellängen. Für die Schaltkreise wirkt das Kabel als Störspannungsquelle, und zwar mit einem Innenwiderstand von rund 100 Ohm (= Wellenwiderstand). Somit können Gleichtaktspannungen von einigen hundert Volt und Differenzspannungen (Gegentaktspannungen)* von einigen zehn Volt wirksam werden. Das hält kein Schaltkreis aus! Abhilfe: galvanische Trennung + Überspannungsableiter (an beiden Kabelenden). In ganz schlimmen Fällen hilft nur der Übergang auf Glasfaserkabel.

*) als Spannungsabfälle über den Widerständen in den Signalwegen (vgl. Abbildung 8.69).

Hinweis: Was schon öfter vorgekommen ist: die Schnittstellenverkabelung wurde sorgfältig geplant und ausgeführt - und es lief auch alles bestens. Zwei Jahre später werden aber in der benachbarten Werkhalle neue Maschinen aufgestellt. Um sie ans Stromversorgungsnetz anzuschließen, wurden in alle möglichen Kabelschächte und -kanäle neue Versorgungsleitungen eingezogen...

Die folgenden Abbildungen 8.75 bis 8.77 sollen in typische Praxisprobleme einführen.

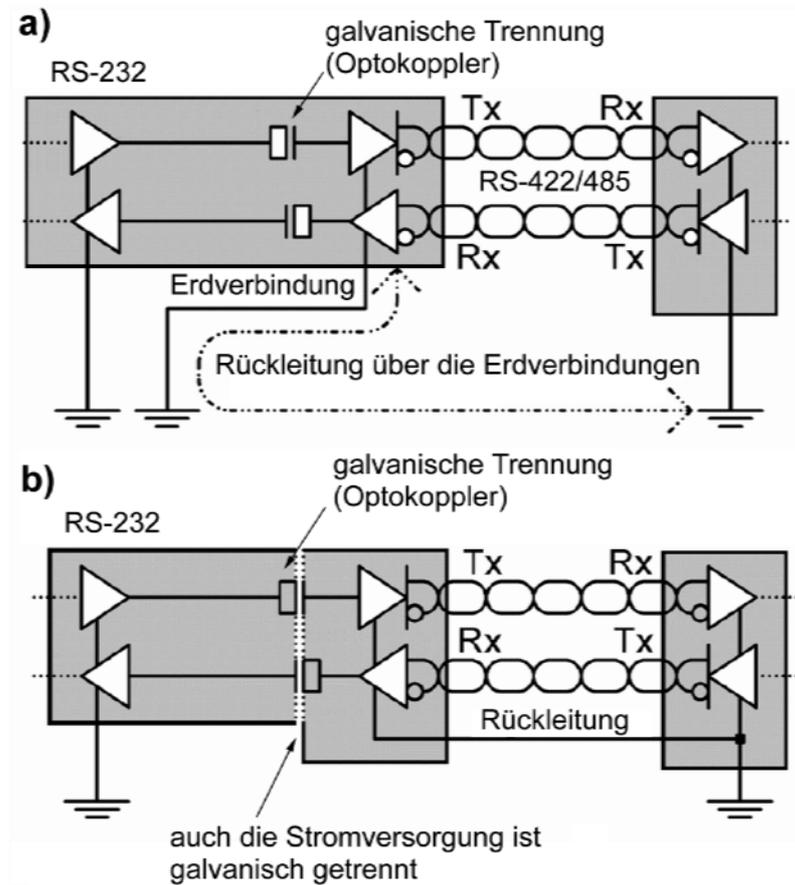


Abbildung 8.75 Erdung und Isolation (Robust Data Comm, Inc.)

Erklärung:

- a) Interfacewandler mit teilweiser Isolation (2-Port-Isolation; Datensignale galvanisch getrennt, Stromversorgung nicht). Es ist möglich, die an sich vorhandenen Erdverbindungen als Rückleiter auszunutzen (Stromweg: Schutzleiter - Stromversorgung - Schaltkreismasse).
- b) Interfacewandler mit vollständiger Isolation (3-Port-Isolation; sowohl Datensignale als auch Stromversorgung galvanisch getrennt). Da es jetzt keine Erdverbindung zwischen Schaltkreismasse und Schutzleiter mehr gibt, *muß* eine Signalmasseleitung als Rückleiter vorgesehen werden - sonst funktioniert die Schnittstelle nicht... (Die Anwendungsschriften der Hersteller enthalten Tips für den Fall, daß es nicht möglich ist, so eine Leitung zu ziehen (schon unter Putz verlegte Kabel usw.). Es wird u. a. empfohlen, den Rückleiteranschluß doch mit dem Schutzleiter zu verbinden (womit man wieder bei der 2-Port-Isolation angelangt wäre), den Schirm des Kabels auszunutzen usw. Das ist aber stets mit einer Einbuße an Störsicherheit verbunden.)

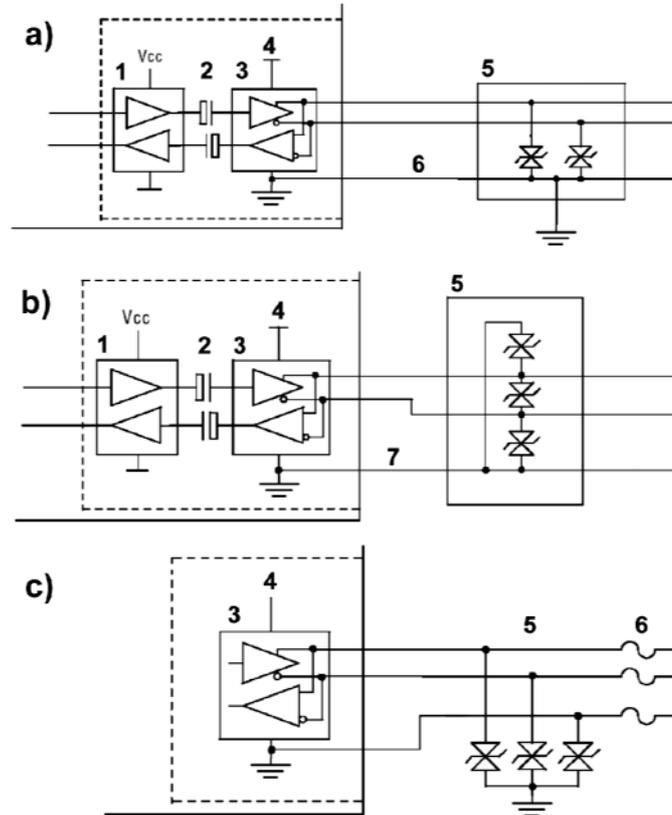


Abbildung 8.76 Interfacewandler mit Überspannungsableitern (B&B Electronics)

Erklärung:

1 - RS-232-Koppelstufen; 2 - Optokoppler; 3 - RS-422/485-Koppelstufen; 4 - isolierte Stromversorgung;
5 - Überspannungsableiter; 6 - Erdleitung (in der Praxis: der Schutzleiter); 7 - Signalmasseleitung; 8 -
Masse der Stromversorgung 4; 9 - Sicherungen in den Signalleitungen.

- a) die Überspannungsspitzen werden direkt zur Erde hin abgeleitet (gesondertes Erdungskabel, Schutzleiter). Die Vorzugslösung.
- b) die Überspannungsspitzen werden in die Signalmasse abgeleitet. Eine Notlösung, wenn keine entsprechende Erdverbindung vorhanden ist. Schutzwirkung beschränkt. Die Überspannungsableiter können nur Gegentaktstörungen in Gleichtaktstörungen umwandeln. Die galvanische Trennung 2 schützt zwar die restliche Hardware vor diesen Gleichtaktstörungen, es kann aber sein, daß die Koppelstufen 3 diese nicht aushalten.
- c) Schutz gegen Kurzschlüsse mit Leitungen, die Netzspannung führen. Hierzu werden Sicherungen (Richtwert: 125 mA) in die Signalleitungen eingefügt. Einsatz: in der Industrie (wo es schon mal vorkommen kann, daß ein Draht abrutscht und auf eine Klemme fällt, die Netzspannung führt...).

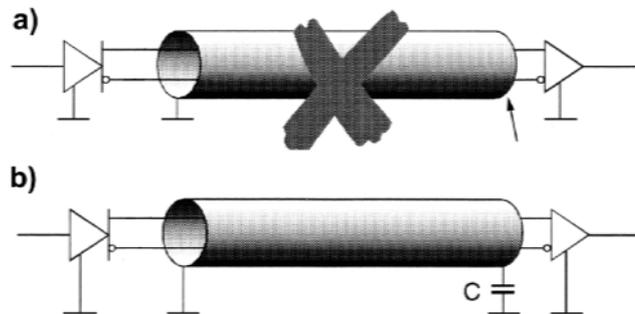


Abbildung 8.77 Geschirmtes Kabel im Einsatz (Texas Instruments). a) falsch; b) richtig

Erklärung:

Es liegt nahe, geschirmtes Kabel (STP) einzusetzen, um die Störeinkopplungen zu verringern. Ein falsch angeschlossener Schirm kann aber als Koppelkapazität zwischen Störquelle und zu schützendem Kabel, als Signalweg für Erdschleifen und als Antenne für die eigene Störstrahlung wirken (Verschlimm-besserung).

Hinweise:

1. Der Schirm muß an beiden Enden Masseverbindung haben. Beim Anschließen und beim Konfektio-nieren von Kabeln handwerklich sauber arbeiten! (Der Schirm muß an seinem gesamten Umfang kontaktiert werden, nicht nur an einzelnen Zipfeln bzw. Litzen-Adern...)
2. Hat die Bezugsmasse des Interfaces an beiden Enden Verbindung zum Schutzleiter, so führen Erdpotentialdifferenzen dazu, daß Schleifenströme über den Schirm fließen. Die Abhilfe der alten Praktiker: der Schirm wird nur einseitig angeschlossen. So wirkt er aber als Antenne (empfängt fremde Störungen und strahlt eigene ab).
3. Das einseitige Anschließen (Abbildung 8.77a) kommt nur bei niedrigen Frequenzen in Frage (es ist z. B. im Audio-Bereich üblich). Richtwert: bis ca. 9 600...19 200 Bits/s.
4. Um bei höheren Frequenzen Erdschleifen zu vermeiden, den Schirm auf der einen Seite direkt und auf der anderen über einen Kondensator mit Masse verbinden (Wechselspannungskopplung; Abbildung 8.77b).

8.6.5.7. Schnittstellenwandler

Die Hersteller bieten oft ganze Typenreihen in nahezu gleich aussehenden Gehäusen an (mit oder ohne Isolation, mit oder ohne Überspannungsableiter, für RS-422 oder RS-485, mit Speisung aus der RS-232-Schnittstelle (Port Powered) oder aus einem Steckernetzteil usw. (beim Bestellen achtgeben!). Anhand der Abbildungen 8.78 bis 8.81 wollen wir einige Ausführungsbeispiele vorstellen.

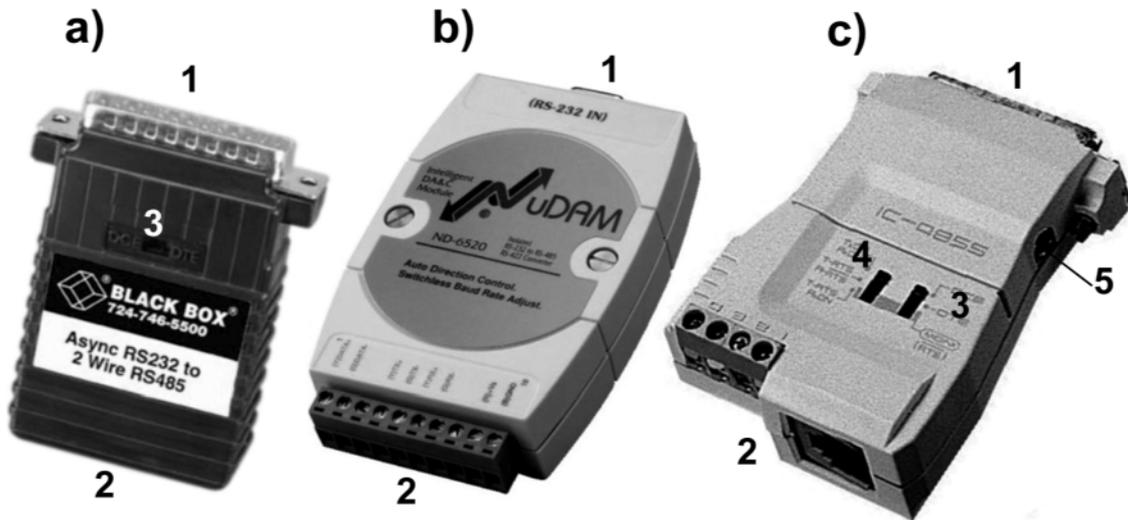


Abbildung 8.78 Schnittstellenwandler - eine kleine Auswahl

Erklärung:

a) - RS-232 auf RS-485 (Zweidrahtverbindung); b), c) - RS-232 auf RS-485 (Zwei- und Vierdrahtverbindung). Die Wandler sind stets paarweise einzusetzen. b) mit automatischer Betriebsartenwahl (DTE/DCE) und Sende-Empfangs-Umschaltung (Auto Direction Control, Switchless Baudrate Adjust). a) und c) sind von Hand einzustellen. 1 - RS-232-Steckverbinder; 2 - RS-485-Anschluß (Klemmen oder Westernstecker); 3 - DTE/DCE-Wahlschalter; 4 - Wahlschalter für RTS-gesteuerte Sende-Empfangs-Umschaltung; 5 - Erdungsklemme.

Hinweis:

Klemmverbindungen sind handwerklich einfach herzustellen, bei liebloser Installation aber ein Zuverlässigkeitsproblem (der Draht bricht an den Klemmstellen viel schneller, als man denkt...).

Praxistips:

1. Litzenraht: Enden vor dem Klemmen mit Aderendhülsen versehen. Richtig verpressen!
2. Volldraht nicht für bewegliche Kabel verwenden.
3. Soll Volldraht (fest verlegtes Kabel) angeklemt werden, dann das Kästchen nicht einfach irgendwo einwerfen, sondern richtig befestigen (für nahezu alle Typen gibt es Montagezubehör zur Wand- und Hutschienenmontage - wenn nicht, lassen Sie sich was einfallen...). Draht nicht scharf abknicken, sondern mit vernünftigem Biegeradius zuführen. Reserven lassen...

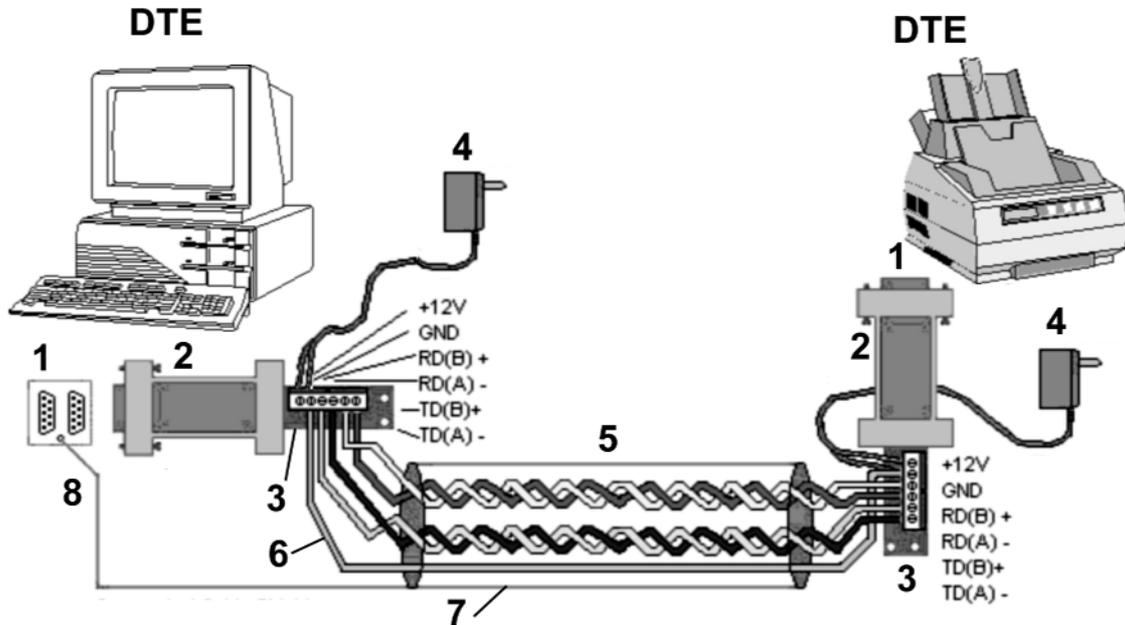


Abbildung 8.79 DTE-DTE-Vierdrahtverbindung (Ausführungsbeispiel; nach: B&B Electronics)

Erklärung:

1 - RS-232-Schnittstellen; 2 - Schnittstellenwandler (als DCE konfiguriert; mit galvanischer Trennung); 3 - Klemmanschlüsse; 4 - Steckernetzteile; 5 - Kabel; 6 - Signalmasseleitung; 7 - Schirm; 8 - einseitige Verbindung des Schirms mit der Gehäusemasse (= Schutzleiter). Vgl. aber die Hinweise zu Abbildung 8.77. Die Adernpaare sind über Kreuz angeschlossen (Nullmodemverbindung). Die hier gezeigten Schnittstellenwandler sehen wie 9-polige D-Sub-Stecker mit langen Gehäusen aus. Sie können direkt an die Geräte angesteckt werden. So spart man die Zwischenkabel und hat auch keine lose herumliegenden Kästchen. Diese Ausführung hat aber auch ihre Nachteile: große Einbautiefe an der Geräterückseite, unbequeme Montage, D-Sub-Steckverbindung muß durch Verschraubung arretiert werden (eine bloße Steckverbindung dürfte nicht lange halten), Gefahr des Kabelbruchs an den Klemmstellen.

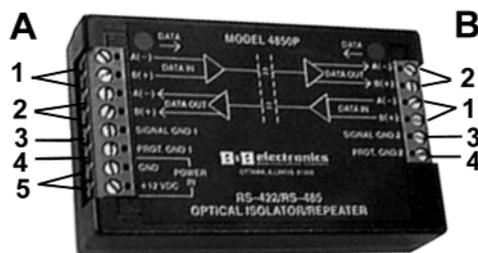


Abbildung 8.80 RS-485-Repeater (Isolator) mit galvanischer Trennung und Überspannungsableitung (B&B Electronics). Auf beiden Seiten A, B wird ein RS-485-Interface angeschlossen (Zweidraht- oder Vierdrahtverbindung)

Erklärung:

1 - Sendesignale; 2 - Empfangssignale; 3 - Signalmasse; 4 - Schutzleiter; 5 - Stromversorgung (Stecker-netzteil). Abmessungen: rund 97 · 61 · 26 mm.

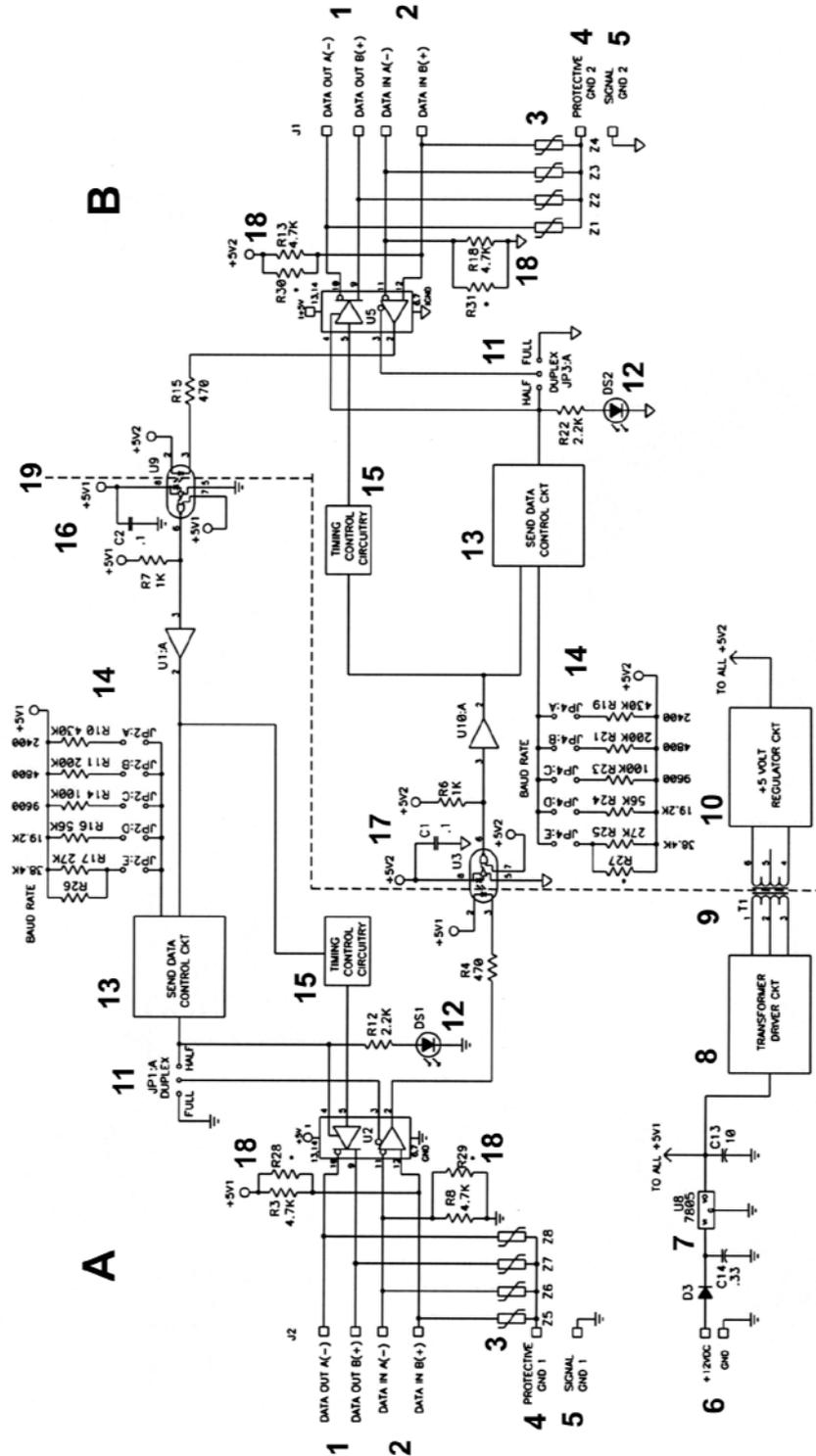


Abbildung 8.81 Der Repeater von Abbildung 8.80 im Schaltbild (B&B Electronics)

Erklärung zu Abb. 8.81:

Fürsorgliche Hersteller liefern solche Schaltbilder mit oder halten sie im Internet bereit. Die Nutzanwendung: zu Orientierungszwecken (einzustellende Jumper oder Schalter, Masseverbindungen, Stromversorgung, wichtige Meßpunkte, Interfaceanschlüsse, Art der Schutzvorkehrungen). 1 - Empfangssignale, 2 - Sendesignale; 3 - Überspannungsableiter (hier: MOVs^{*)}); 4 - Schutzleiteranschlüsse; 5 - Signalmasseanschlüsse; 6 - Stromversorgungsanschluß (Steckernetzteil, + 12 V =); 7 - Linearregler (+ 5 V) für Seite A; 8 - Wechselrichter; 9 - Transformator; 10 - Gleichrichter/Regler (+ 5 V) für Seite B; 11 - Jumper zur Wahl zwischen Voll- und Halbduplexbetrieb; 12 - Sendeanzeigen (LEDs); 13 - Zeitstufen zur automatischen Sende-Empfangs-Umschaltung (bei Halbduplexbetrieb); 14 - Zeiteinstellung für die Zeitstufen 13 (Jumper, die jeweils einen zeitbestimmenden Widerstand durchschalten); 15 - Impulsformer für Sendesignale; 16 - Optokoppler für Richtung B - A; 17 - Optokoppler für Richtung A - B; 18 - Fail-Safe-Beschaltung der Empfängereingänge; 19 - die gestrichelte Linie bezeichnet die Trennstelle (Isolation) zwischen A und B. Isolationsspannung: 1500 V. Zugelassen: 2000 V RMS für eine Minute. Auch die Schutzleiter- und Masseanschlüsse beider Seiten A, B sind voneinander getrennt.

*) kritisch betrachten: reicht deren Schutzwirkung aus? - Datenblattwert: $\pm 6,5$ V Spitzenspannung; Verlustleistung maximal 600 W.

Das Installieren eines solchen Apparates will verstanden sein:

- Vierdrahtverbindung: Jumper 11 auf Vollduplex. Leitungspaare 1, 2 entsprechend anklemmen^{*)}.
- Zweidrahtverbindung: Jumper 11 auf Halbduplex. Jumper 14 gemäß der jeweiligen Datenrate stecken. Für andere Datenraten (bis zu 460 kBits/s) ggf. Widerstände einbauen (es gibt eigens Bestückungspositionen; Werte stehen in der Dokumentation). Klemmen der Sende- und Empfangsleitungen entsprechend miteinander verbinden (A mit A und B brücken^{*)}).
- Fail-Safe-Beschaltung prüfen. Widerstände ggf. auswechseln (zum Einlöten eigener Widerstände gibt es eigens Bestückungspositionen).
- Leitungsabschluß: falls nötig, Abschlußwiderstand einbauen. Falls keine entsprechende Bestückungsposition auf der Leiterplatte vorgesehen ist, außen mit anklemmen (zwischen A und B).
- die Überspannungsableiter 3 wirken nur dann, wenn sie Erdverbindung haben. Abbildung 8.76a, b zeigt die typischen Konfigurationen (gesonderter Schutzleiteranschluß (Klemme 4) oder Ableitung über die Signalmasse (kein Anschluß an Schutzleiter; Klemmen 4 und 5 brücken)). Die entsprechende Verbindung ist für jede Seite gesondert herzustellen (Schutzleiterverbindung zum Netzstromkreis des jeweiligen Gerätes oder entsprechende Signalmasseverbindung). Ein gemeinsamer Schutzleiteranschluß für beide Seiten hebt die Isolationswirkung z. T. auf.
- Verbindung zwischen Signalmasse und Schutzleiter ggf. mit Widerstand 100 Ohm, (wenigstens 0,5 W) brücken (Strombegrenzung; vgl. z. B. Abbildung 8.71),
- nach dem Installieren ausgiebig (= längere Zeit unter verschiedenen Betriebsbedingungen) erproben (Testsoftware, Probeläufe mit den Anwendungen).
- Installation und ggf. vorgenommene Änderungen vernünftig dokumentieren. Falls im Gerät geändert wurde, ggf. ein zweites auch ändern und erproben (Ausfallreserve).

*) es ist auch möglich, auf der einen Seite eine Vierdraht- und auf der anderen eine Zweidrahtverbindung zu installieren (Konverterfunktion; auch von RS-422-Vierdraht auf RS-485-Zweidraht).

8.6.5.8. Kabellänge und Datenrate

Je länger das Kabel, desto geringer die Datenrate (Abbildung 8.82).

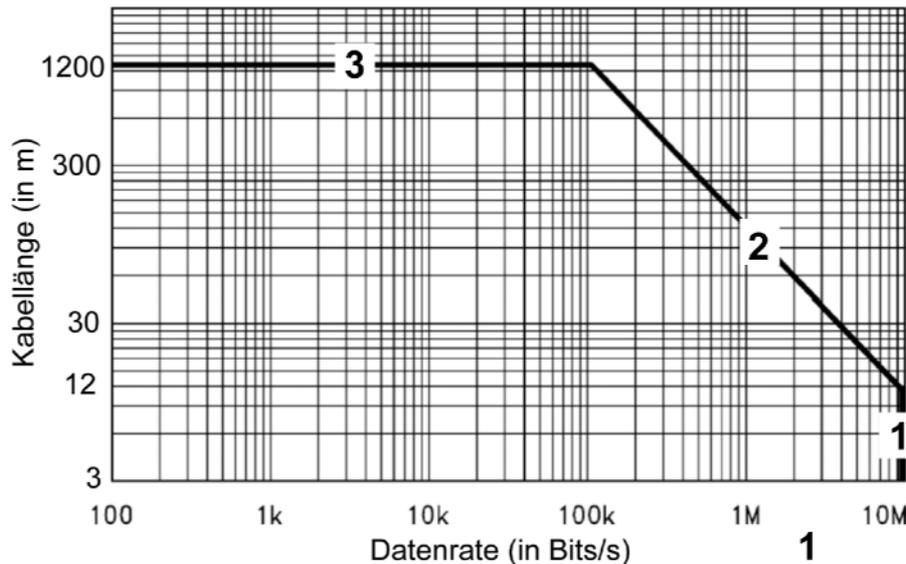


Abbildung 8.82 Kabellänge und Datenrate

Erklärung:

- 1) kurzes Kabel (ca. 10...12 m). Leitungsverluste vernachlässigbar. Datenrate hängt von der Anstiegszeit ab, also vom Treibvermögen. In den Standards ist angegeben, wie Anstiegszeit t_r und kleinstes Einheitsintervall UI zusammenhängen (Abbildung 8.83).
- 2) mittlere Kabellänge. Datenrate wird durch Signalverformungen infolge der Leitungsverluste begrenzt (z. B. durch den Skineneffekt).
- 3) langes Kabel (1000 m und mehr). Datenrate wird vor allem durch den ohmschen Leitungswiderstand begrenzt.

Faustformel: Datenrate (in Bits/s) · Leitungslänge in m $\leq 10^8$.

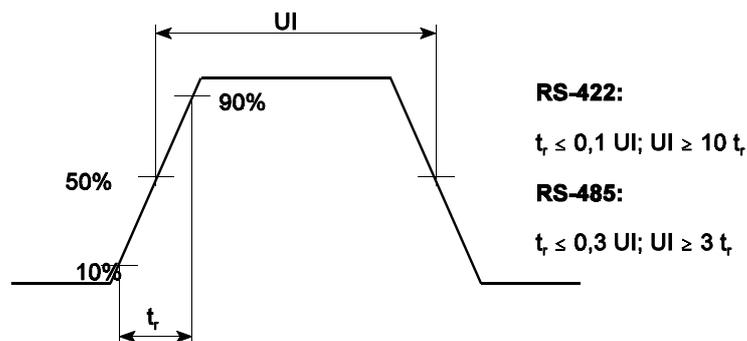


Abbildung 8.83 Anstiegszeit und Einheitsintervall

Kabellängen

Die Standards geben keine Maximal-Kabellängen an. Die maximale Dämpfung sollte aber 6 dB nicht übersteigen (das heißt praktisch: über den weitesten Weg sollte am Empfänger der halbe Spannungshub des Treibers ankommen).

Faustregel: mit paarweise verdrehtem Kabel (Twisted Pair) mit 24 AWG Leiterquerschnitt sind Leitungslängen bis 1,2 km zu verwirklichen. 24 AWG (SWG) entsprechen rund 0,6 mm Durchmesser bzw. 0,25 mm² Querschnitt. 1000 m Kabel haben einen Leitungswiderstand von etwa 80 Ohm.

8.6.6. Schnittstellenverlängerung über Lichtwellenleiter

Da man über ein Glasfaserkabel nur in eine Richtung übertragen kann, braucht man stets zwei Kabel, eines zum Senden, eines zum Empfangen. Im Vergleich zur Schnittstellenverlängerung mit Kupferkabel gibt es nur eine einzige handwerkliche Schwierigkeit: das Konfektionieren und Verlegen der Glasfaserkabel (und ggf. das Messen und Prüfen). Der Einsatz von Lichtwellenleitern (LWL) soll im folgenden anhand von Beispielen veranschaulicht werden (Abbildungen 8.84 bis 8.90). Wir beschränken uns hierbei auf (vergleichsweise) preisgünstige Geräte.

Wichtige Auswahlgesichtspunkte:

- die maximale Kabellänge. Typisch sind einige (2...10) km. Beim Kalkulieren und Bestellen immer daran denken, daß jede Verbindung *zwei* Kabel braucht...
- das einzusetzende Kabelmaterial. Es handelt sich zumeist um Multimode-Glasfaserkabel. Die optische Übertragung entspricht typischerweise einem Privatstandard^{*)}. Die Schnittstellenwandler sind somit stets paarweise einzusetzen; mit Geräten verschiedener Hersteller an einem Kabelpaar dürfte es kaum funktionieren.
- die maximale Datenrate. Sie wird typischerweise von der Elektronik begrenzt, nicht vom Lichtwellenleiter. Beispiel: RS-232 bis 115 200 Bits/s, RS-485 bis 460 kBits/s. Werden an der RS-232-Schnittstelle höhere Datenraten unterstützt, ist typischerweise eine entsprechende Umschaltung der Anstiegsgeschwindigkeit erforderlich (vgl. Abbildung 8.38).
- unterstützte Interfacesignale (Datensignale, Handshake-Signale),
- unterstützte Interfacestandards (RS-232, RS-422, RS-485),
- Spannungsversorgung (aus den Schnittstellensignalen (Port powered) oder über Steckernetzteil),
- konstruktive Ausführung (Kästchen mit Steckverbindern, Modul zum Aufschnappen auf Hut-schienen usw.),
- Ausführung der Anschlüsse für Schnittstellen und Lichtwellenleiter (D-Sub, RJ-45, Klemmen, LWL-Anschlüsse mit Bajonett- oder mit Schraubverriegelung usw.).

^{*)}: oft ist es ganz einfach: die elektrischen Empfänger sind mit den optischen Treibern verbunden und umgekehrt; Mark = Licht, Space = kein Licht.

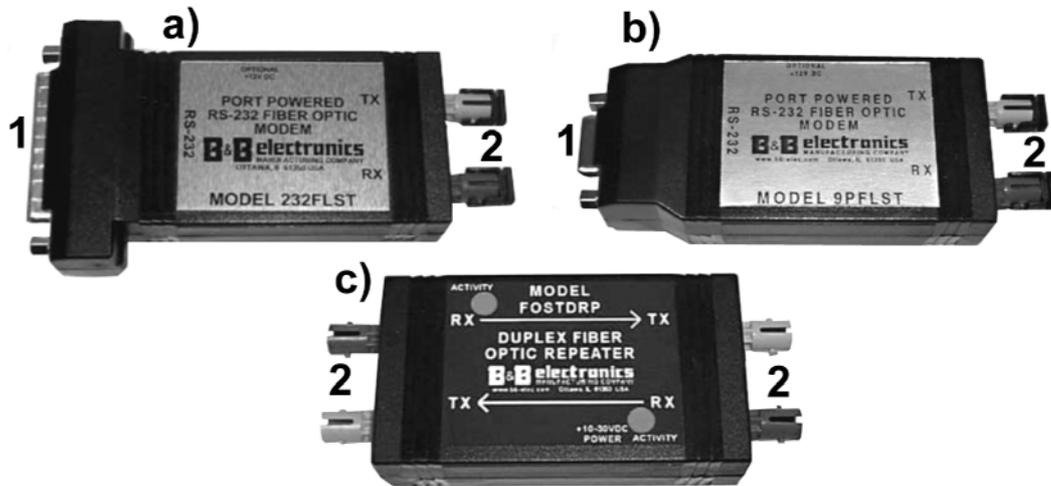


Abbildung 8.84 Schnittstellenwandler und Repeater - eine kleine Auswahl (B&B Electronics)

Erklärung:

a) - RS-232 auf LWL; mit 25-poligem D-Sub-Anschluß. b) - RS-232 auf LWL; mit 9-poligem D-Sub-Anschluß. c) - LWL-Repeater. 1 - D-Sub-Anschluß für Schnittstelle; 2 - Anschlüsse für LWL. Es handelt sich hier um sog. ST-Steckverbinder mit Bajonettverriegelung. Die Wandler a), b) können aus den Schnittstellensignalen versorgt werden (Port powered), der Repeater c) braucht ein Steckernetzteil.

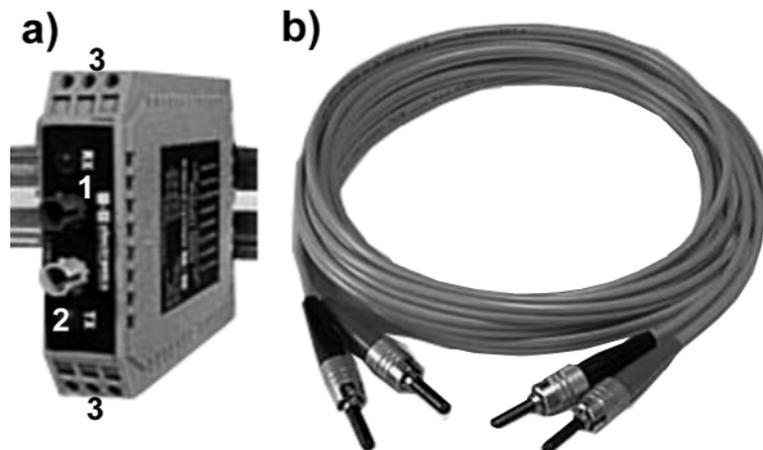


Abbildung 8.85 Schnittstellenwandler und Lichtwellenleiter (B&B Electronics)

Erklärung:

a) - universeller Schnittstellenwandler RS-232/422/485 auf LWL. Hutschienenmontage. b) - ein LWL-Kabelpaar mit ST-Steckverbindern. 1 - Anschluß des ankommenden LWL-Kabels (RX). Darüber Leuchtanzeige. 2 - Anschluß des abgehenden LWL-Kabels (TX). Darunter Leuchtanzeige. 3 - Klemmen für Schnittstellensignale und Stromversorgung.

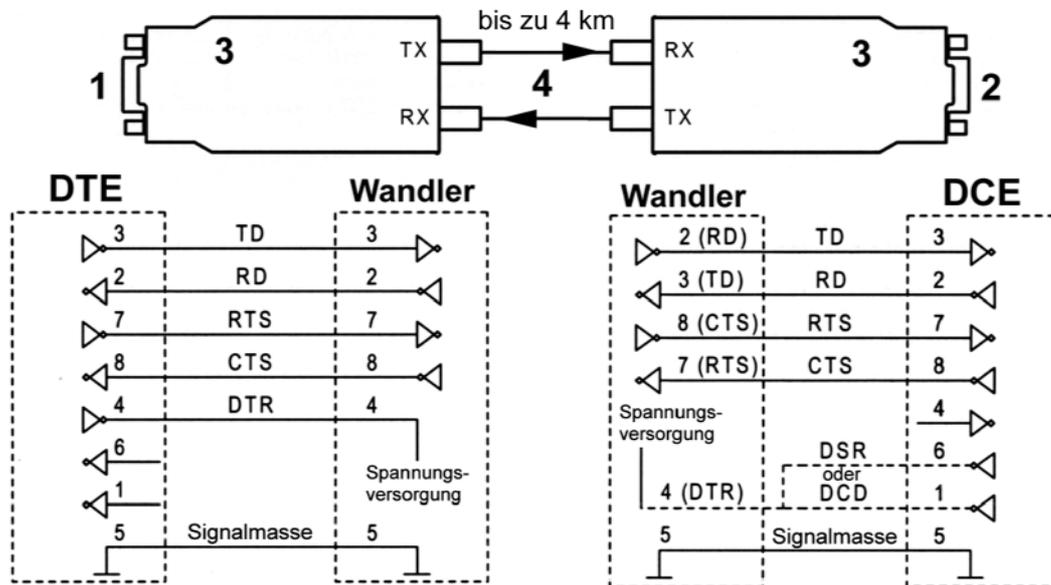


Abbildung 8.86 RS232-Schnittstellenwandler im Einsatz (B&B Electronics)

Erklärung:

1 - DTE-Anschluß; 2 - DCE-Anschluß; 3 - zwei Interfacewandler (gemäß Abbildung 8.84b); 4 - Glasfaserkabel.

Schnittstellenanschlüsse

Die Abbildung zeigt eine DTE-DCE-Verbindung. Beide Interfacewandler 3 sind vom gleichen Typ. Es gibt keine Umschaltung zwischen DTE und DCE. Die Steckverbinder der Wandler sind 9-polige D-Sub-Buchsen. Auf der DTE-Seite gibt es eine 1:1-Verbindung zwischen den 9-poligen D-Sub-Steckverbindern am Computer und am Interfacewandler. Auf der DCE-Seite braucht man eine entsprechende Nullmodem-Verbindung (TD und RD sowie RTS und CTS jeweils überkreuzt (vgl. Abbildung 8.22a).

Unterstützte Schnittstellensignale:

- Datenübertragung: TD und RD (TxD, RxD),
- Handshaking: RTS und CTS.

Stromversorgung

Die Interfacewandler können über die Schnittstellensignale gespeist werden (Port powered):

- auf der DTE-Seite: über RTS, TD und DTR,
- auf der DCE-Seite : über CTS, RD und DSR oder DCD (entsprechende Verbindung mit Anschluß 4 des Wandlers (= DTR) erforderlich).

Strombedarf: ca. 50 mA. Kann die Schnittstelle den Strom nicht liefern, ist ein Steckernetzteil anzuschließen.

LWL-Verkabelung

Jeweils ein Kabel vom TX-Ausgang des einen zum RX-Eingang des anderen Wandlers. Signalübertragung: mit einer Wellenlänge von 820 nm (Infrarotbereich). Kabellänge: bis 4 km. Maßgebend: der Leistungsverlust zwischen Lichtsender und Lichtempfänger. Zulässig: höchstens 12,1 dB. Gängiges LWL-Material hat typischerweise 3 dB/km, so daß sich bei einem durchgehenden Kabel (ohne Spleißstellen, Verzweigungen usw.) die besagten 4 km ergeben. Faustregel: jede Trennstelle bewirkt einen Verlust von 0,5 dB bzw. von 166 m Kabellänge. Bei Speisung über die Schnittstellensignale kann es sein, daß die verfügbare Leistung nicht für die volle Kabellänge ausreicht. In Zweifelsfällen: Verbindung vor dem endgültigen Installieren provisorisch aufbauen (z. B. mit LWL auf Kabeltrommel). Übertragungsverluste meßtechnisch ermitteln oder Verbindung eingehend ausprüfen (Bitfehlerratenmessung über längere Zeit und unter wechselnden Betriebsbedingungen (Grenzwertprüfung)). Ggf. mit Sicherheitszuschlägen („Overkill“) planen: Speisung nicht über die Schnittstelle, sondern grundsätzlich aus Netzteilen, Repeater alle 2 km usw.

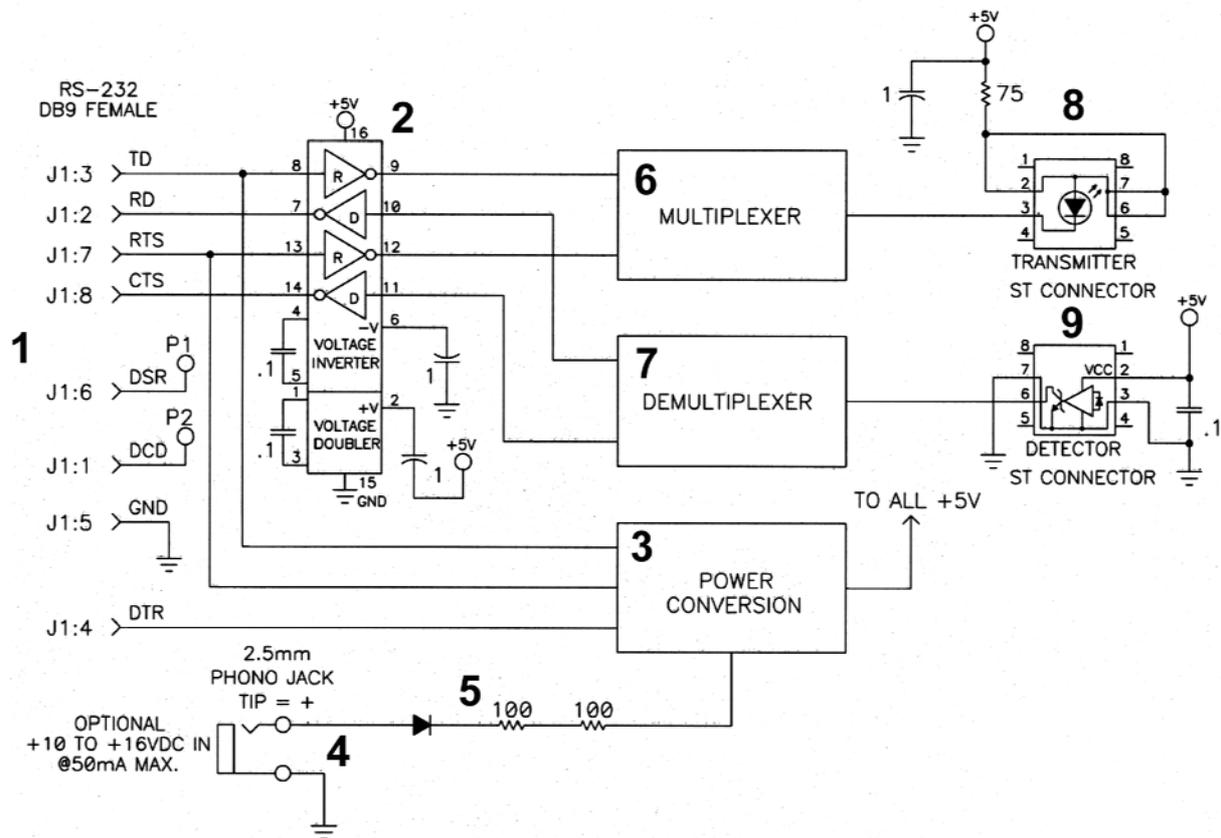


Abbildung 8.87 RS-232-Schnittstellenwandler im Schaltbild (B&B Electronics)

Erklärung:

1 - RS-232-Anschluß; 2 - Treiber-Empfänger-Kombination (mit Ladungspumpen); 3 - Gleichspannungswandler; 4 - Netzteilanschluß; 5 - Schutzbeschaltung gegen Falschpolung; 6 - Sendemultiplexer für TD und RTS, 7- Empfangsdemultiplexer für RD und CTS; 8 - Lichtsender (LED); 9 - Lichtempfänger. In jede Richtung sind jeweils zwei Signale zu übertragen (TD, RTS und RD, CTS). Dies erfolgt seriell über

jeweils ein Glasfaserkabel. Serialisierung zum Senden über den Multiplexer 6, Deserialisierung nach dem Empfangen über den Demultiplexer 7. Die serielle Übertragung mehrerer Interfacesignale erfordert auf der LWL-Seite eine entsprechend höhere Datenrate.

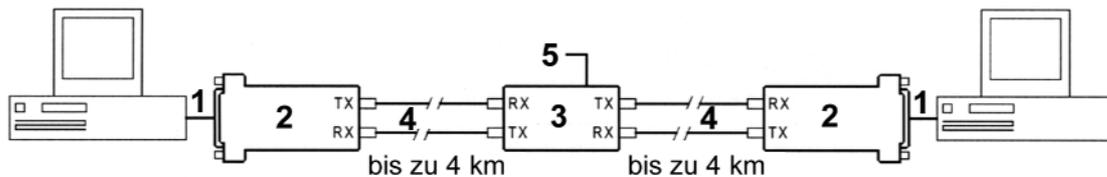


Abbildung 8.88 Repeater im Einsatz (B&B Electronics)

Erklärung:

Größere Entfernungen können durch Zwischenschalten von Repeatern überbrückt werden. 1 - serielle Schnittstellen; 2 - Interfacewandler (z. B. gemäß den Abbildungen 8.84a, b, 8.86 und 8.87); 3 - Repeater (vgl. Abbildung 8.84c); 4 - Glasfaserkabel (jeweils paarweise); 5 - Stromversorgung des Repeaters (über Steckernetzteil). Maximale Datenrate: 1 MBits/s.

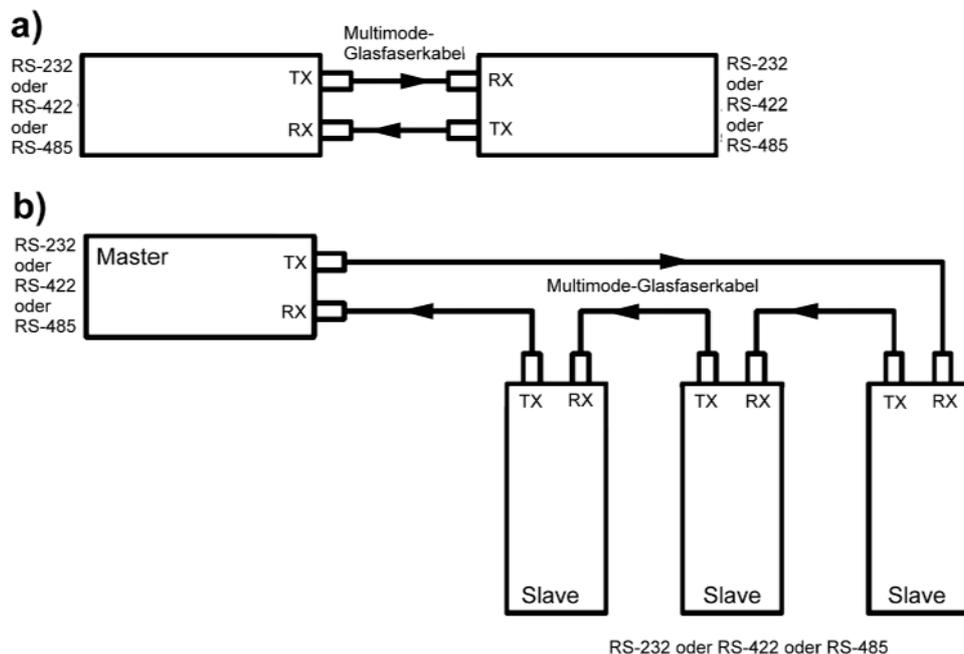


Abbildung 8.89 Typische Konfigurationen mit universellen Schnittstellenwandlern (B&B Electronics)

Erklärung:

a) - Punkt-zu-Punkt-Verbindung; b) - Mehrfachverbindung (Multidrop Ring). Prinzip der Mehrfachverbindung: die als Slaves bezeichneten Einrichtungen reichen das empfangene Signal direkt zum Sender weiter (Repeater-Betrieb). Sie können aber die ankommenden Signale selbst empfangen und auch selbst senden. Daß eine Slave-Einrichtung nur dann sendet, wenn sie das Interface gleichsam für sich hat, ist Angelegenheit höherer Protokollebenen. Naheliegende Prinzipien: (1) Kennzeichenweitergabe (Token Passing), (2) Abfrage (Polling).

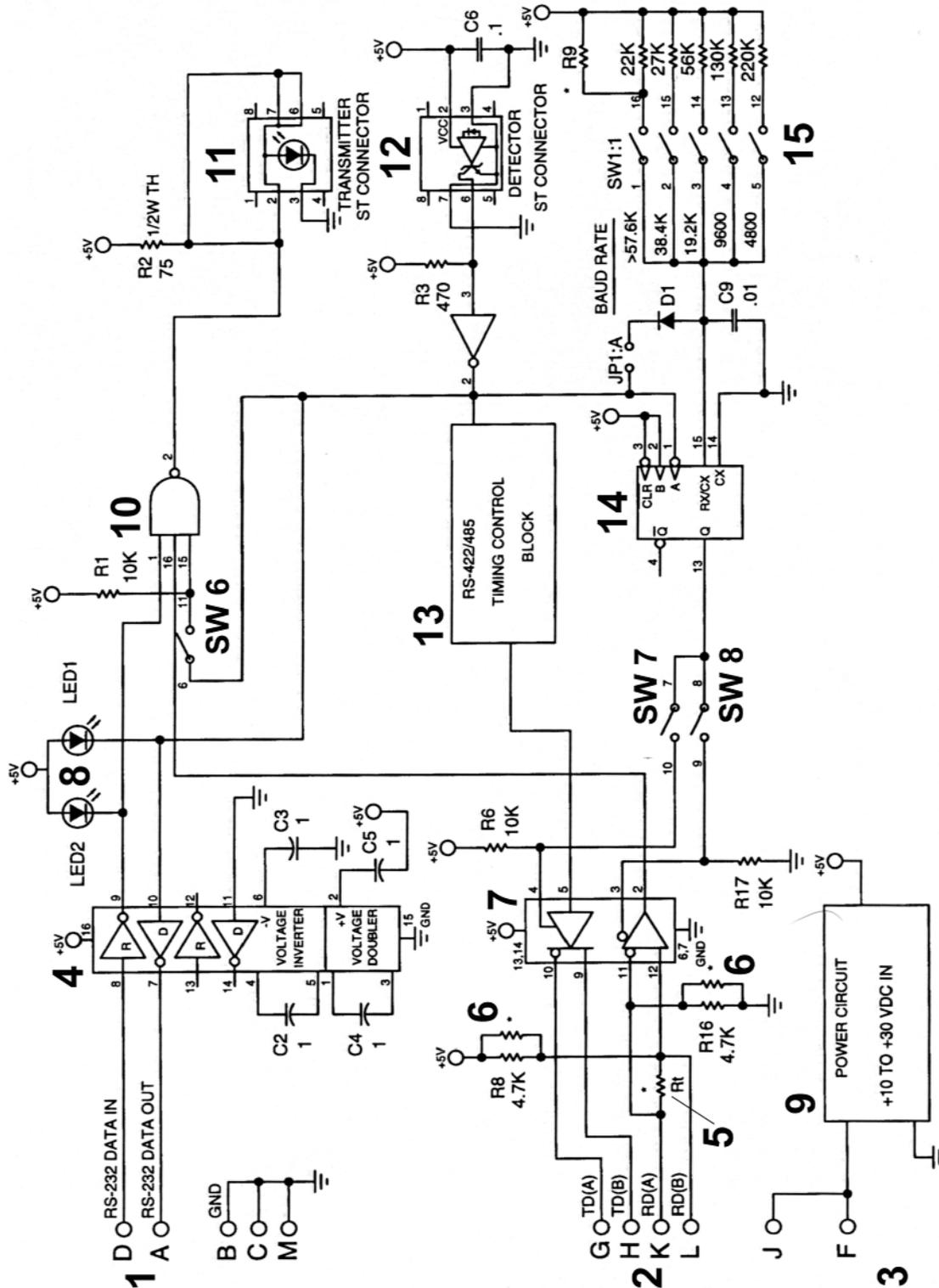


Abbildung 8.90 Ein universeller Schnittstellenwandler im Schaltbild (B&B Electronics)

Erklärung zu Abb. 8.90:

Der Schaltplan betrifft den in Abbildung 8.85a vorgestellten Schnittstellenwandler. Er kann wahlweise an eine Schnittstelle nach RS-232, RS-422 oder RS-485 angeschlossen werden. Es werden nur die Datensignale unterstützt. 1 - RS-232-Anschlüsse; 2 - RS-422/485-Anschlüsse, 3 - Stromversorgungsanschlüsse; 4 - Treiber-Empfänger-Kombination RS-232 (mit Ladungspumpen); 5 - Abschlußwiderstand; 6 - Fail-Safe-Beschaltung; 7 - Treiber-Empfänger-Kombination RS-422/485; 8 - Anzeige-LEDs (Senden und Empfangen); 9 - Spannungsregler; 10 - Sende-Oder; 11 - Lichtsender; 12 - Lichtempfänger; 13 - Impulsformer für Sendesignale (RS-422/485); 14 - Zeitstufe zur automatischen Sende-Empfangs-Umschaltung; 15 - Zeiteinstellung für die Zeitstufe 14 (DIL-Schalter, die jeweils einen zeitbestimmenden Widerstand durchschalten).

Ausgewählte Einzelheiten im Überblick:

- Senden. Die über LWL zu sendenden Signalverläufe werden über das Sende-Oder 10 zum Lichtsender 11 durchgereicht. Gesendet werden können:
 - ankommende RS-232-Signale,
 - ankommende RS-422/485-Signale,
 - ankommende LWL-Signale (bei geschlossenem Schalter SW 6 (Repeater- bzw. Slave-Betrieb)).
- Empfangen. Die empfangenen LWL-Signale werden zum RS-232-Treiber direkt und zum RS-422/485-Treiber über den Impulsformer 13 weitergeleitet.
- RS-422/485-Beschaltung. Abschlußwiderstand 5 und Fail-Safe-Beschaltung 6 können ggf. ausgebaut oder abgeändert werden (entsprechende Bestückungspositionen sind vorgesehen).
- Sende-Empfang-Umschaltung (RS-485). Vom Lichtempfänger 12 empfangene Signale sind über die RS-485-Schnittstelle zu senden. Die Signale triggern die Zeitstufe 14 (ein retriggerbarer monostabiler Multivibrator). Solange immer wieder Impulse empfangen werden, bleibt Zeitstufe 14 erregt und aktiviert dementsprechend den Schnittstellentreiber. Zeiteinstellung: über die DIL-Schalter 15 gemäß der jeweiligen Datenrate (Aktivierung wenigstens für die Dauer eines Zeichens). Die Gerätedokumentation enthält eine entsprechende Tabelle.
- DIL-Schalter:
 - SW 6: aus = Wandlerbetrieb (Punkt-zu-Punkt-Verbindung oder Multidrop Master), ein = Repeaterbetrieb (Multidrop Slave; die empfangenen Datensignale werden direkt zum Lichtsender 11 weitergeleitet),
 - SW 7: aus = RS-422 (Treiber stets aktiv), ein = RS-485 (Treiber wird von Zeitstufe 14 aktiviert),
 - SW 8: aus = Vollduplexbetrieb (Empfänger stets aktiv); ein = Halbduplexbetrieb (Empfänger wird über Zeitstufe 14 dann deaktiviert, wenn gesendet wird).

Hinweis:

Die Anordnung ähnelt dem RS-485-Repeater von Abbildung 8.81. Zur Installationspraxis vgl. die Ausführungen im Anschluß an diese Abbildung.