

Umsetzer UART > USB 2.0

2500 V Isolationsspannung

Bis zu 921.600 Baud Übertragungsrate

## Sauber getrennt – optisch getrenntes USB-Modul U02102

Sicherheitstechnische Gründe machen es notwendig, eine Daten- bzw. Steuerverbindung zwischen einem mit einem Mikrocontroller arbeitenden Gerät und einem PC potenzialgetrennt zu betreiben. Für eine solche Datenverbindung kommt heute nahezu ausschließlich eine USB-Verbindung zum Einsatz, da serielle Schnittstellen an Computern kaum noch angeboten werden. Also ist eine Umsetzung seriell (UART) auf USB notwendig. Beide Aufgaben, die UART-USB-Umsetzung und die Potenzialtrennung werden vom U02102, dem modernisierten Nachfolger des bewährten U0100, realisiert.

Kurzbezeichnung:	U02102
Versorgungsspannung:	Primärseite: USB-powered Sekundärseite: 5 ± 0,2 V
Stromaufnahme:	Primärseite: 50 mA Sekundärseite: 50 mA
Isolationsspannung:	2500 V
Isolationswiderstand:	1 TΩ
Luft- und Kriechstrecke:	≥ 6 mm
Schnittstelle:	Primärseite: USB 2.0 Sekundärseite: UART
Ausgangspegel:	TTL
Übertragungsrate:	300–921.600 Baud
Treiber:	VCP für Windows 2000/XP/ Server 2003/Vista/7/WinCE, Macintosh OS X, Linux, USBXpress für Windows 98SE/2000/XP/ Server 2003/Vista/7/WinCE
Schutzart:	IP 20
Umgebungstemperatur:	5–35 °C
Abmessungen (B x H x T):	48,2 x 17 x 55 mm
Gewicht:	20 g

### Potenzialtrennung – warum?

Die Forderung nach einer galvanischen Trennung zwischen 2 Schaltungsteilen kann sehr vielfältige Gründe haben. Im Wesentlichen kann eine solche Forderung mit sicherheitstechnischen Aspekten oder verbesserten Eigenschaften hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit begründet werden.

Aus sicherheitstechnischer Sicht gibt es zum einen die Forderung einer sicheren Trennung des PC-Teils von berührungsgefährlichen Teilen in einem Gerät, zum anderen können aber auch Probleme auftreten, wenn Schaltungsteile durch die Verbindung zum PC auf Schutzleiterpotenzial gelegt werden. Letzteres ist beispielsweise bei PC-gesteuerten Netzgeräten der Fall. Der Gleichspannungsausgang eines geregelten Netzgeräts darf nicht berührungsgefährlich sein und muss zudem potenzialfrei sein; u. a. darf der Ausgang auch nicht auf Schutzleiterpotenzial liegen. Die Sicherheit gegen berührungsgefährliche Spannungen wird im Allgemeinen durch einen entsprechenden Netztransformator sichergestellt. Die Forderung der Potenzialfreiheit gegenüber PE wird in solchen Gerä-

ten aber oftmals durch den Anschluss eines PCs an die Schnittstelle aufgehoben. Hier schafft dann nur eine galvanische Trennung von PC und Netzgerät über einen entsprechenden Schnittstellenbaustein Abhilfe.

In Geräten, die keine galvanische Trennung vom 230-V-Netz besitzen, wie beispielsweise Geräte, die nur über ein simples Kondensatornetzteil verfügen, darf nur eine PC-Schnittstelle mit einer entsprechenden Potenzialtrennung implementiert werden. Mit anderen Konstruktionen lässt sich die gemäß einschlägiger VDE-Vorschriften geforderte Berührungssicherheit nicht gewährleisten. Auch im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit bietet eine komplette galvanische Trennung sehr große Vorteile. In solchen getrennten Systemen können sich beispielsweise keine störenden Masse- bzw. Schutzleiterströme ausbilden. Vor allem bei der vergleichsweise schnellen USB-Technik bringt die galvanische Trennung große Vorteile hinsichtlich der Funkströmaussendungen.

### Umsetzen und Trennen

Mit dem hier vorgestellten USB-Modul wird zum einen über geeignete Optokoppler die o. a. galvanische Trennung realisiert, zum anderen erfolgt über

den Schnittstellenwandler-Baustein CP2102 von Silicon Laboratories [1] eine vollständige Umsetzung der USB-Datensignale in eine serielle Schnittstelle und umgekehrt, wobei hier lediglich die relevante UART-Schnittstelle (TxD/RxD) über 2 Optokoppler an das Mikrocontrollersystem ausgegeben wird. Über diese UART-Schnittstelle verfügen nahezu alle Mikrocontroller, hingegen besitzen nur sehr wenige Microcontroller eine implementierte USB-Schnittstelle (etwa die AT90USBxx-Reihe und einige XMEGA-MCUs von Atmel). Auch ist es wesentlich einfacher, die serielle Schnittstelle eines Mikrocontrollers über das RS232-Protokoll zu programmieren, als mit dem wesentlich komplexeren USB-Protokoll umzugehen.

Das Design des neuen Moduls erinnert stark an den Vorgänger, das U0100, es hat sich schlicht bewährt. Auch die LED-Anzeigen für Senden und Empfangen sowie Platz für Montagewinkel für den einfachen Einbau in ein vorhandenes Gerät sind wieder vorhanden. Neu ist der Schnittstellenwandler CP2102, eine zeitgemäße Ein-Chip-Umsetzer-Lösung, die auch softwaremäßig vom PC aus universeller anzusprechen ist.

### Welcher Treiber?

Silicon Laboratories bieten für die CP210x-Serie VCP-Treiber für verschiedene Betriebssysteme an [2]. Ebenfalls verfügbar ist ein Direkttreiber namens USBXpress für verschiedene Windows-Betriebssysteme [3]. Die Treiber sind ebenfalls über den ELV-Webcode [4] zu beziehen.

Der VCP-Treiber ermöglicht eine einfache Software-Implementierung,

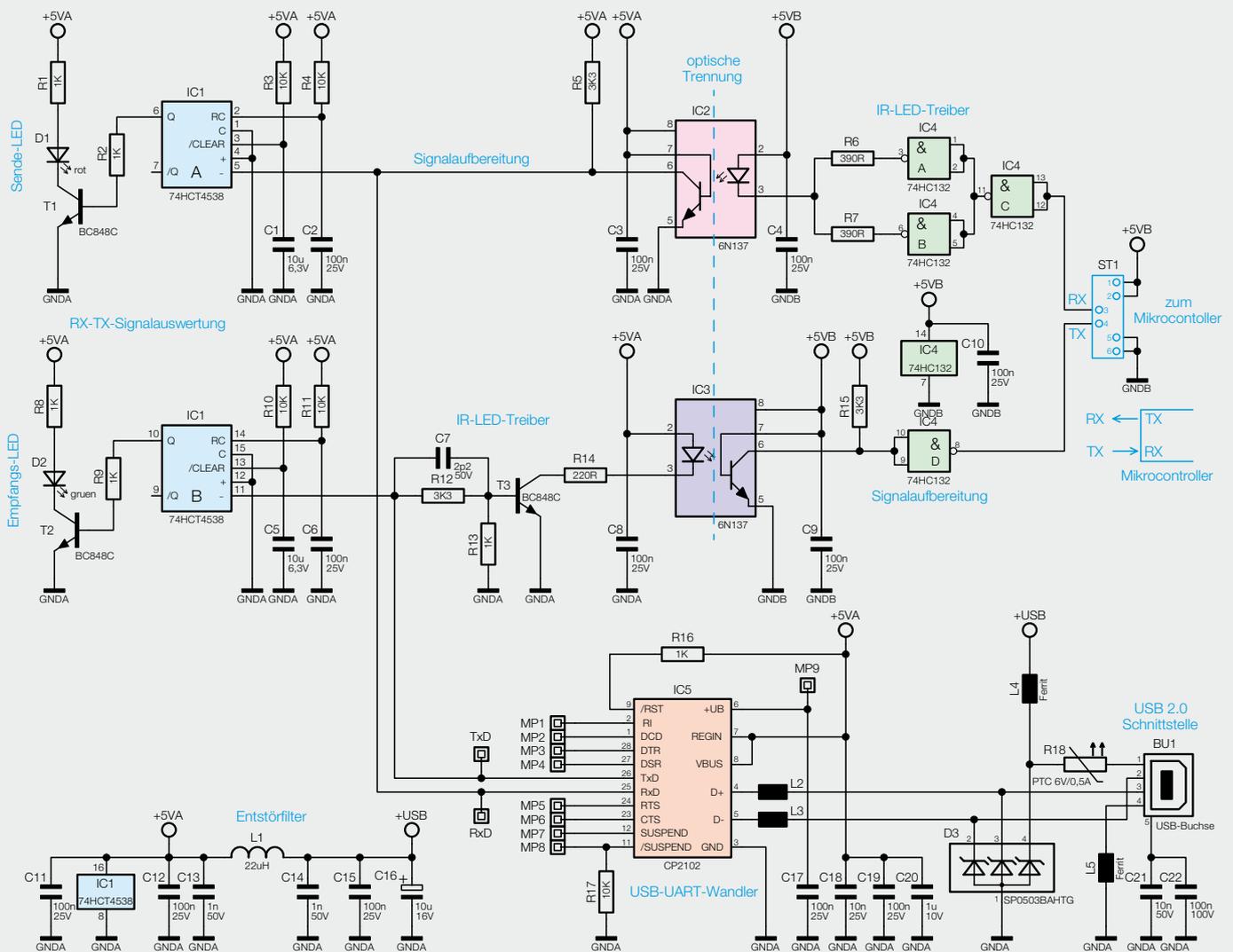


Bild 1: Die Schaltung des optisch isolierten USB-Moduls U02101

da der Zugriff auf einen COM-Port recht simpel ist und fertige Bibliotheken im Internet erhältlich sind. Auch können mehrere Module problemlos parallel an einem Rechner eingesetzt werden, jedes Modul bekommt dann einen eigenen COM-Port zugewiesen.

Mit dem USBXpress-Treiber ist eine direkte Kommunikation mit dem U02102 möglich ohne den Umweg über einen virtuellen COM-Port. Die Implementierung ist aufwendiger, da die Schnittstellen des Treibers genutzt werden müssen (eine Dokumentation [AN 169] dazu ist bei Silicon Laboratories verfügbar). Man erhält damit auch Zugriff auf die im internen EEPROM des CP2102 abgelegten Daten, wie VID (Herstellereerkennung), PID (Produktkennung), Seriennummer oder Produktname, und kann damit das Modul eindeutig identifizieren.

### Hinweis

Alle Module werden mit einer individuellen Seriennummer, aber mit derselben VID-/PID-Kombination für den VCP-Treiber ausgeliefert. Bei Verwendung des USBXpress-Treibers muss vorher noch die PID des Moduls geändert werden, dazu ist das Programm ID-Changer notwendig ([4] oder Produktseite im Web-Shop). Eine genaue Beschreibung des Programms ist dort ebenfalls verfügbar. Anschließend ist der entsprechende USBXpress-Treiber zu installieren.

## Schaltungsbeschreibung

Bild 1 zeigt die komplette Schaltung des U02102. Der Schnittstellenwandler IC5 vom Typ CP2102 übernimmt die gesamte Konvertierung der Datensignale. An Pin 4 (D+) und Pin 5 (D-) erfolgt der Anschluss an den USB-Port. Die beiden in diesen Datenleitungen liegenden Ferrite verbessern die elektromagnetische Verträglichkeit. IC-intern erfolgt dann die Umsetzung der differenziell ankommenden Datensignale in UART-Signale, die dann an den entsprechend bezeichneten Ausgängen (Pins 1, 2, 11 und 12 sowie 23–28) zur Verfügung stehen. Von Interesse sind hier aber nur die beiden Datensignale „RxD“ und „TxD“ an Pin 25 bzw. Pin 26. Die übrigen Datenleitungen sind zwar als Messpunkte (MP1–MP8) herausgeführt, werden hier allerdings nicht weiter benötigt.

Ein vom USB-Port kommendes Datensignal liegt am Ausgang „TxD“ von IC5 an und gelangt dann auf den Optokoppler (IC3). Da die Optokoppler-interne Infrarotdiode einen Strom von mindestens 15 mA für die optische Datenübertragung benötigt, ist mit T3 ein Treibertransistor notwendig. Auf der optisch entkoppelten „Sekundärseite“ des Optokopplers generiert ein IC-interner Phototransistor das elektrische Digitalsignal wieder und stellt dieses über das als Inverter geschaltete NAND-Gatter IC4 D an der Mikrocontroller-Schnittstelle (ST1, Pin 4) als „Tx“-Signal zur Verfügung. Aufgrund der Verwendung eines sehr schnellen Optokopplers könnte hier theoretisch eine Datenrate von über 1 MBit/s „gefahren“ werden.

Der umgekehrte Signalweg von der Mikrocontroller-Schnittstelle (ST1, Pin 3) zu USB geht über die NAND-Gatter IC4 A, B und C und den Optokoppler IC2. Das „Rx“-Datensignal wird zunächst mittels IC4 C gepuffert und gelangt anschließend auf die beiden parallel

geschalteten IR-LED-Treiber IC4 A und B. Die Ausgänge versorgen jeweils über einen eigenen Arbeitswiderstand (R6, R7) die IR-Sendediode in IC2. Diese Parallelschaltung reduziert die Strombelastung der einzelnen Gatter, sodass hier eine Überlastung ausgeschlossen ist. Auf der USB-Seite regeneriert wiederum ein IC-interner Phototransistor das Datensignal und gibt dieses als „RxD“ auf den Schnittstellentreiber, der dieses dann entsprechend in den USB-Datenfluss einbindet.

Trotz der sehr komplexen Funktion des eigentlichen Schnittstellenwandlers IC5 benötigt dieser zum Betrieb nur wenige externe Bauteile. Die über die USB-Buchse BU1 zugeführte USB-Spannung +USB gelangt über den PTC R18 und dem Chip-Ferrit L4 auf ein Entstörfilter, welches aus den Bauteilen L1 und C12–C16 besteht. Die hinter dem Entstörfilter anliegende Spannung +5 VA versorgt den Schnittstellenwandler und das zur Signalisierung der Sende- bzw. Empfangsaktivität verwendete IC1. Das Dioden-Array D3 dient dem Schutz vor elektrostatischer Entladung. Die Reset-Schaltung des ICs ist mit dem Widerstand R16 realisiert.

### Rx-Tx-Signalauswertung

Da der Schnittstellenwandler CP2102 selbst nicht über eine Möglichkeit verfügt, die LEDs D1 und D2 zur Signalisierung der Sende- bzw. Empfangsaktivität (TxD und RxD) zu treiben, wird dies mittels 2 monostabiler Kippstufen (IC1 A und B) mit externer Beschaltung und einer Transistorendstufe realisiert. Die beiden Kippstufen vom Typ 74HCT4538 verfügen über flankengetriggerte Eingänge, wobei die beiden positiven Triggereingänge auf Massebezug liegen. Der negative Triggereingang von IC1 A ist mit dem Signal „RxD“ und der von IC1 B mit dem Signal „TxD“ verbunden. Sobald hier ein Wechsel des anliegenden Signals von einem High-Pegel zu einem Low-Pegel vorliegt, gibt der entsprechende Ausgang Q einen High-Pegel aus, und der angeschlossene Transistor lässt die LED aufleuchten. Die Dauer des ausgegebenen Signals wird über die beiden Bauteile R4 und C2 bzw. R11 und C6 bestimmt. Die Signalzeitdauer T wird anhand der nachfolgenden Formel berechnet. In diesem Fall entspricht die Zeitdauer in etwa 700 µs.

$$T = 0.7 * R_t * C_t$$

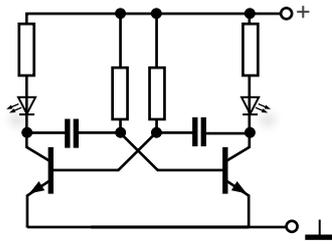
Die Spannungsversorgung des USB-Teils erfolgt, wie schon erwähnt, über die Spannung auf der USB-Leitung. Die über die USB-Buchse Pin 1 zugeführte 5-V-Spannung wird via L1 entkoppelt und steht dann als „+5 VA“ zur Verfügung. Auf der Mikrocontroller-Seite muss die Betriebsspannung für die Optokoppler und das NAND-Gatter IC5 über die Stiftleiste ST1 zugeführt werden. Die hier an Pin 1 und 2 zugeführte Spannung muss im Bereich von 4,8 bis 5,2 V liegen und eine minimale Strombelastbarkeit von 50 mA besitzen. So wie auch die Schaltung auf ein Minimum an Bauteilen beschränkt wurde, ist auch der im Folgenden beschriebene Aufbau so kompakt wie möglich ausgefallen.

## Nachbau

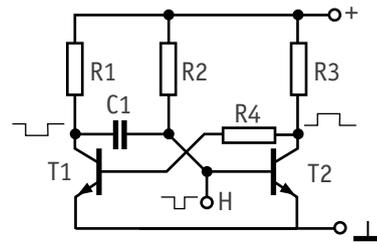
Die gesamte Schaltung des USB-Moduls U02102 findet auf einer 48,2 x 55 mm großen Platine Platz. Im komplett aufgebauten Zustand kommen so die Einbaumaße von 48,2 x 17 x 55 mm zustande.

Das U02102 wird bereits mit SMD-Bauteilen bestückt geliefert, sodass nur noch die bedrahteten Bauteile bestückt werden müssen. Um unnötige Probleme zu vermeiden, sollten die SMD-Bauteile vorweg auf exakte Bestückung und eventuelle Lötfehler kontrolliert werden. Die Bestückung der bedrahteten Bauteile erfolgt in gewohnter Weise anhand der Stückliste und des Bestückungsplans, aber auch die dargestellten Platinenfotos (Bild 2) liefern hilfreiche Zusatzinformationen.

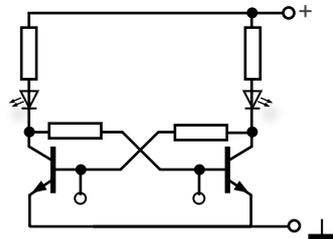
Die Bestückung der bedrahteten Komponenten wird mit der Stiftleiste ST1 und den beiden Optokoppler-ICs begonnen. Beim folgenden Einbau der Leuchtdioden D1 und D2 und des Elektrolyt-Kondensators C16 ist die richtige Polung zu gewährleisten. Dabei sind auch die Leuchtdioden vor dem Einbau entsprechend vorzubereiten: Die LEDs sind so abzuwinkeln,



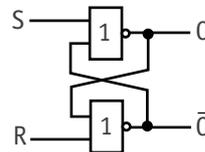
① Astabile Kippstufe in Transistorschaltung



② Monostabile Kippstufe in Transistorschaltung



③ Bistabile Kippstufe, links in Transistorschaltung, Mitte/rechts: RS-Flip-Flop mit Logikgattern und zugehörige Wahrheitstabelle



S	R	Q	$\bar{Q}$	Zustand
H	L	H	L	Setzen
L	L	X	X	Speichern
L	H	L	H	Rücksetzen
H	H	L	L	Nicht gespeichert

## Kippstufen

Kippstufen, auch Multivibratoren genannt, sind in der Digitaltechnik Schaltungen, die an ihrem Ausgang 2 logische Zustände (L/H) darstellen (und je nach Art speichern) können, sie sind in verschiedenen funktionellen Formen zu finden. Als Auslöser für das Umschalten zwischen den beiden Zuständen dienen entweder wechselnde logische Zustände oder Impulse am Eingang der Schaltung.

### ① Astabile Kippstufe

Eine astabile Kippstufe wird aus 2 Schaltstufen gebildet, die sich durch Umladevorgänge eines zeitbestimmenden Glieds in einem Mitkopplungsweig der jeweils anderen Schaltstufe laufend gegeneinander auslösen. Ein stabiler Zustand stellt sich aufgrund des Arbeitsprinzips hier nicht ein. Im Bild oben ist die bekannteste und einfachste Grundschaltung dazu dargestellt, hier als Blinker.

### ③ Bistabile Kippstufe

Die bistabile Kippstufe, auch Flip-Flop genannt, speichert den letzten Schaltzustand, bis ein neues Eingangssignal angelegt wird. Er ist damit die einfachste Form des digitalen Speichers. Die Grundform ist der oben mit seiner Wahrheitstabelle dargestellte RS-Flip-Flop. Seine Funktion kann man anhand der dazu dargestellten funktionsgleichen Transistorschaltung nachvollziehen, die aus 2 sich gegenseitig sperrenden Schaltstufen besteht, jeder Transistor ist also immer entweder gesperrt oder leitet. Legt man eine Basis an Masse, wird der entsprechende Transistor in den jeweils anderen Zustand geschaltet und durch den nun fließenden Steuerstrom für

den anderen Transistor wechselt dieser wiederum zwangsweise seinen Schaltzustand.

In der Wahrheitstabelle findet sich ein weiterer Zustand (Nicht gespeichert). Werden beide Eingänge auf H gelegt, ist der Zustand der Ausgänge nicht kalkulierbar, da in diesem Fall die sogenannte Race-Condition auftritt.

### ② Monostabile Kippstufe

Die monostabile Kippstufe (Monoflop, Trigger) – im Bild oben sind die Urschaltung mit Transistoren und die in der Schaltung des U02102 eingesetzte Schaltung des retriggerbaren Monoflops 74HCT4538 abgebildet – hat die Eigenschaft, bei einem Zustandswechsel an einem Eingang einen durch die Daten eines Zeitglieds (in der Transistorschaltung R2 und C1) in der Länge bestimmten Ausgangsimpuls (H) zu erzeugen.

Man kann die Funktion mit der eines Treppenlichtautomaten vergleichen. Im Grundzustand leitet T2, er bekommt seinen Basisstrom über R2. Die Spannung über R4 ist zu gering, so bleibt hier T1 gesperrt.

Wird die Basis von T2 nun durch ein kurzes L-Eingangssignal auf Masse gelegt, sperrt T2, und über R3 und R4 wird T1 in den leitenden Zustand geschaltet. Nun wird der Kondensator via T1 an Masse gelegt und lädt sich auf. Ist der Kondensator so weit aufgeladen, dass die erreichte Spannung ausreicht, um T2 durchzuschalten, leitet dieser, und T1 wird wieder gesperrt.

Wir haben also am Kollektor von T2 so lange eine positive Spannung, wie er gesperrt ist (positiver Impuls). Gleiches gilt für den Kollektor von T1, hier hingegen erscheint für diese Zeit ein negativer Impuls. Die Zeitdauer wird vereinfacht durch die Beziehung  $R2 \times C1$  bestimmt. Im Grundzustand wird C1 über R1 und R2 wieder entladen.

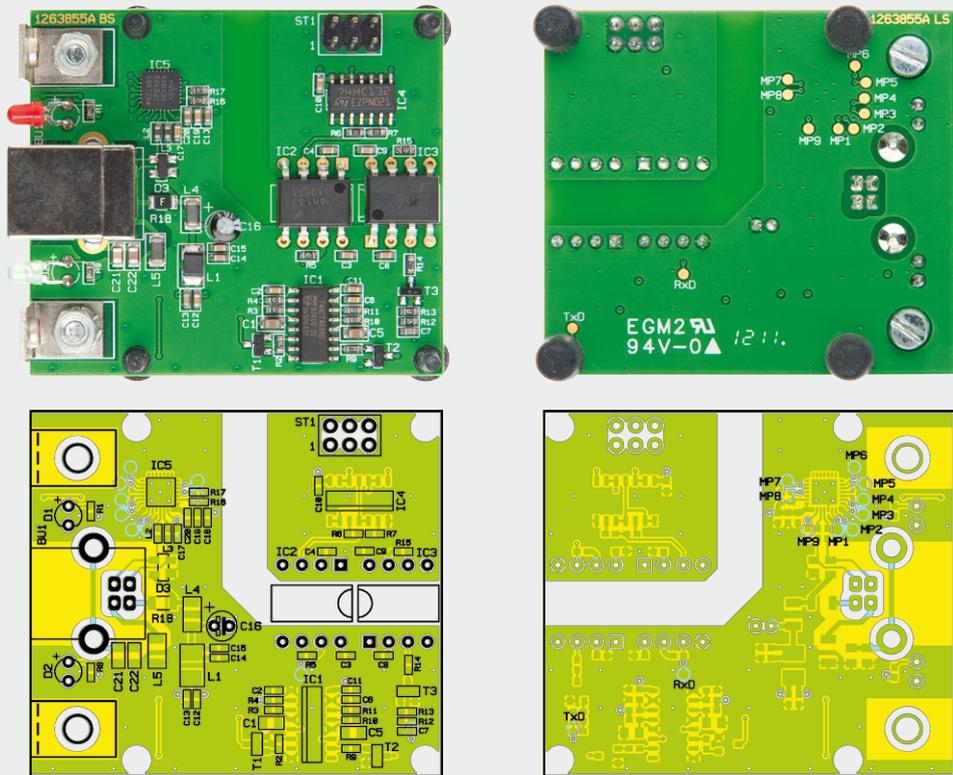


Bild 2: Die komplett bestückte Platine des U02102 mit dem zugehörigen Bestückungsplan. Hier ist das Modul sowohl mit den Befestigungswinkeln als auch mit den Gummifüßen bestückt.

dass sie in evtl. vorhandene Bohrungen in einer Front- bzw. Rückplatte passen. Für die Standardmontage gemäß der in Bild 3 dargestellten Zeichnung sind die Anschlüsse der LEDs zunächst in 5 mm Abstand vom Diodenkörper um 90° abzuwinkeln. Anschließend erfolgt der Einbau unter Beachtung der Polung in einem Abstand von 5,5 mm (zwischen Platinenoberseite und Diodenkörpermitte gemessen).

Nun ist noch die USB-Buchse BU1 zu bestücken und anzulöten. Bitte bei der Montage dieses Bauteils besonders darauf achten, dass das Gehäuse plan auf der Platine aufliegt, bevor die Anschlüsse verlötet werden.

Zur Befestigung des Moduls in einem Gehäuse besitzt dieses 2 Metallwinkel, die wie folgt zu montieren sind: Die Winkel werden auf der Bestückungsseite positioniert und mit 2 Schrauben M3 x 6 mm, die von der Platinenunterseite durch Platine und Winkel zu führen sind, und den zugehörigen Fächerscheiben und Muttern fixiert. Vor dem Festziehen der Schrauben

sind die Winkel so auszurichten, dass diese bündig mit dem Platinenrand abschließen.

Wer das USB-Modul nicht in einem Gehäuse betreiben möchte, kann mittels der beiliegenden Gummifüße (siehe Bild 2) verhindern, dass die Lötanschlüsse der Platine auf einer eventuellen metallischen Unterlage aufliegen und so einen Kurzschluss erzeugen.

Nach dem Abschluss der Bestückungsarbeiten muss die Platine vor der folgenden ersten Inbetriebnahme auf Lötzinnbrücken und korrekte Bestückung hin untersucht werden.

### Inbetriebnahme und Gehäuseeinbau

Die Inbetriebnahme des optisch getrennten USB-Moduls U02102 beschränkt sich auf die Installation des Treibers und dem Verbinden des Moduls mit einem Computer. Arbeitet die USB-Kommunikation, d. h., das Modul wurde vom angeschlossenen Rechner korrekt erkannt, so kann davon ausgegangen werden, dass auch das gesamte Modul ordnungsgemäß funktioniert. Die komplette Funktion lässt sich dann allerdings erst prüfen, wenn das Modul im Zielsystem eingesetzt ist und auch die gesamte Kommunikationsstrecke einem Test unterzogen werden kann.

In Bild 4 ist die Schnittstelle zum Zielsystem (Stiftleiste ST1) mit allen Signalbezeichnungen dargestellt. Neben der Betriebsspannung „+5 VB“ und dem Massepotenzial „GNDB“ sind dies die beiden Datenleitungen „Tx“ und „Rx“ einer UART-Schnittstelle.

Zur Vereinfachung des mechanischen Einbaus ist in Bild 5 eine Montagezeichnung abgebildet. Hierin sind ein Bohrplan mit der Lage der Befestigungsbohrungen und die Bemaßungen der Aussparung für die

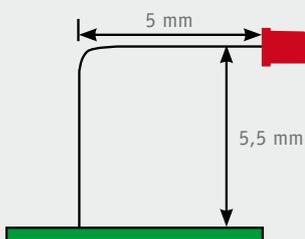


Bild 3: Die Anschlüsse der LEDs sind wie hier gezeigt abzuwinkeln.

**Widerstände:**

220 $\Omega$ /SMD/0603	R14
390 $\Omega$ /SMD/0603	R6, R7
1 k $\Omega$ /SMD/0603	R1, R2, R8, R9, R13, R16
3,3 k $\Omega$ /SMD/0603	R5, R12, R15
10 k $\Omega$ /SMD/0603	R3, R4, R10, R11, R17
Polyswitch/6 V/0,5 A/SMD/1206	R18

**Kondensatoren:**

2,2 pF/SMD/0603	C7
1 nF/SMD/0603	C13, C14
10 nF/SMD/0603	C18
10 nF/SMD/0805	C21
100 nF/SMD/0603	C2-C4, C6, C8-C12, C15, C17, C19
100 nF/100 V/SMD/0805	C22
1 $\mu$ F/SMD/0603	C20
10 $\mu$ F/SMD/0805	C1, C5
10 $\mu$ F/16 V/SMD	C16

**Halbleiter:**

74HCT4538/SMD/NXP (Philips)	IC1
6N137	IC2, IC3
74HC132/SMD/SGS	IC4
ELV121133/SMD/USB-Controller	IC5
BC848C	T1-T3
LED/3 mm/rot	D1
LED/3 mm/grün	D2
SP0503BAHTG	D3

**Sonstiges:**

SMD-Induktivität, 22 $\mu$ H, 250 mA	L1
Chip-Ferrit, 0603, 420 $\Omega$ bei 100 MHz	L2, L3
Chip-Ferrit, 1206, 120 $\Omega$ bei 100 MHz	L4, L5
Stiftleiste, 2x 3-polig, gerade, print	ST1
USB-B-Buchse, winkelprint	BU1
2 Befestigungswinkel, vernickelt	
4 Zylinderkopfschrauben, M3 x 6 mm	
4 Fächerscheiben, M3	
2 Muttern, M3	
4 Gummi-Gehäusefüße, halbkonisch, 0,75 mm	
1 Mini-CD Software U02102	

Stückliste

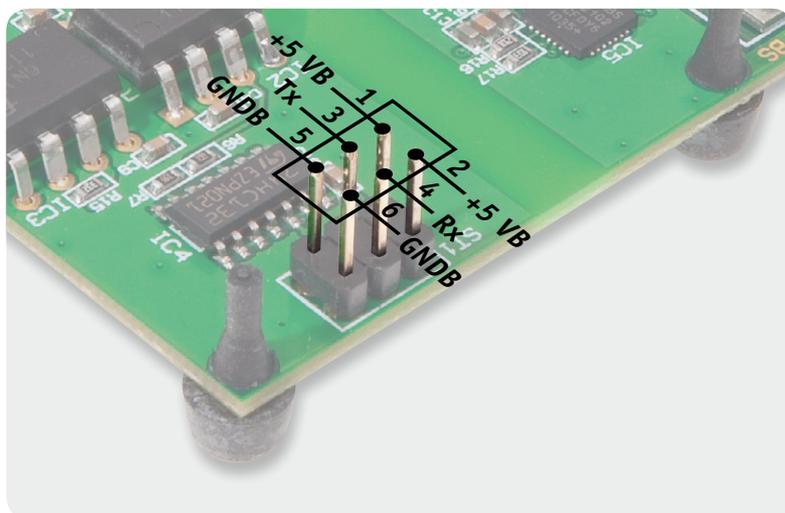


Bild 4: Die Anschlussbelegung von ST1, der Schnittstelle zum Zielsystem

USB-Buchse enthalten. Ein Montagebeispiel ist in Bild 6 zu sehen. Dieses Bild zeigt das fertig aufgebaute USB-Modul in einer entsprechend bearbeiteten Geräterückwand eingebaut. **ELV**

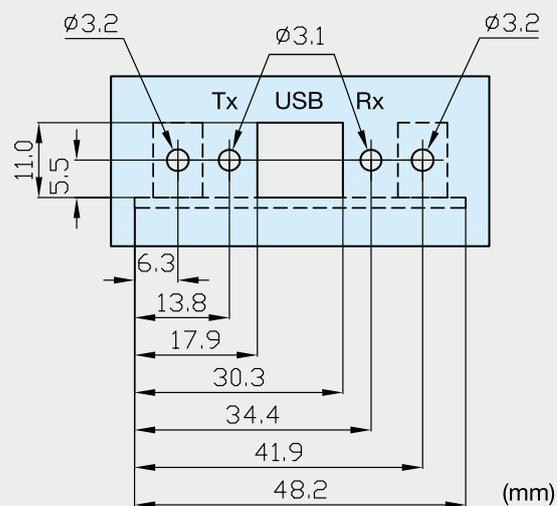


Bild 5: Montagezeichnung und Bohrplan für den Einbau des Moduls in ein Gehäuse

**Weitere Infos:**

- [1] [www.silabs.com](http://www.silabs.com)
- [2] [www.silabs.com/products/mcu/Pages/USBtoUARTBridgeVCPDrivers.aspx](http://www.silabs.com/products/mcu/Pages/USBtoUARTBridgeVCPDrivers.aspx)
- [3] [www.silabs.com/products/mcu/Pages/USBXpress.aspx](http://www.silabs.com/products/mcu/Pages/USBXpress.aspx)
- [4] Webcode: #1240



Bild 6: Montagebeispiel für die Montage in einer Gehäuserückwand