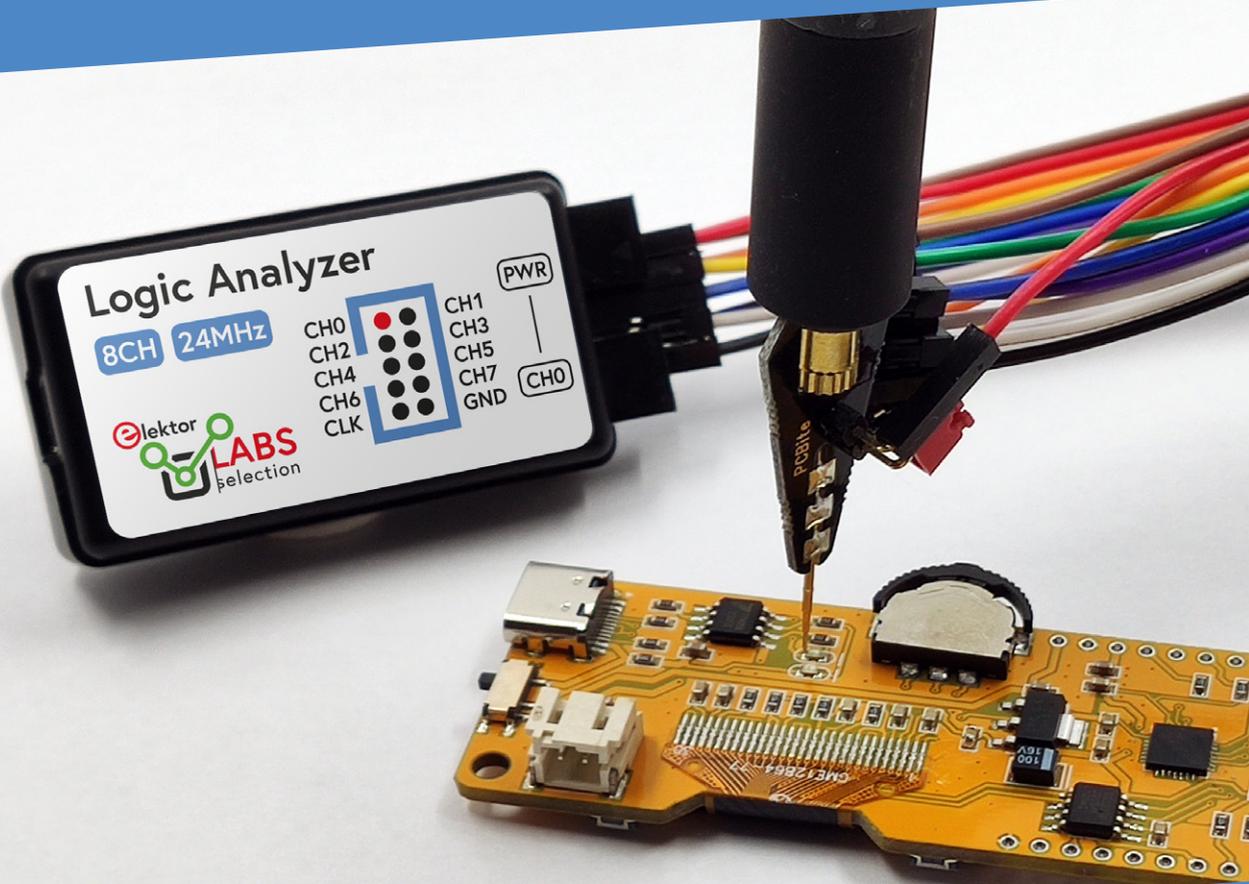


USB-Logikanalysatoren am
PC mit Arduino, Raspberry Pi und Co

Logic Analyzer im Einsatz



Jörg Rippel



Logic Analyzer im Einsatz

USB-Logikanalysatoren am PC mit
Arduino, Raspberry Pi und Co



Jörg Rippel

● © 2023: Elektor Verlag GmbH, Aachen.

1. Auflage 2023

● Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Die Informationen im vorliegenden Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Die in diesem Buch erwähnten Soft- und Hardwarebezeichnungen können auch dann eingetragene Warenzeichen sein, wenn darauf nicht besonders hingewiesen wird. Sie gehören dem jeweiligen Warenzeicheninhaber und unterliegen gesetzlichen Bestimmungen.

Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autor können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

● Erklärung

Autor, Übersetzer und Verlag haben sich nach besten Kräften bemüht, die Richtigkeit der in diesem Buch enthaltenen Informationen zu gewährleisten. Sie übernehmen keine Haftung für Verluste oder Schäden, die durch Fehler oder Auslassungen in diesem Buch verursacht werden, unabhängig davon, ob diese Fehler oder Auslassungen auf Fahrlässigkeit, Versehen oder eine andere Ursache zurückzuführen sind, und lehnen jegliche Haftung hiermit ab.

Umschlaggestaltung: Elektor, Aachen

Korrekturlesen: Andreas Riedenauer

Satz und Aufmachung: D-Vision, Julian van den Berg | Oss (NL)

Druck: Ipskamp Printing, Enschede, Niederlande

● **ISBN 978-3-89576-563-6** Print

ISBN 978-3-89576-564-3 eBook

● Elektor-Verlag GmbH, Aachen

www.elektor.de

Elektor ist die weltweit wichtigste Quelle für technische Informationen und Elektronik-Produkte für Maker, Ingenieure und Elektronik-Entwickler und für Firmen, die diese Fachleute beschäftigen. Das internationale Team von Elektor entwickelt Tag für Tag hochwertige Inhalte für Entwickler und DIY-Elektroniker, die über verschiedene Medien (Magazine, Videos, digitale Medien sowie Social Media) in zahlreichen Sprachen verbreitet werden. www.elektor.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	8
Kapitel 1 • Was man über einen Logikanalysator wissen muss	9
1.1 Was ist ein Logikanalysator?	9
1.1.1 Welche Software benötigt ein Logikanalysator?	15
1.1.2 Ist ein einfacher Logikanalysator ausreichend?	16
1.2 Wofür brauche ich einen LA?	17
1.3 Was macht den Logikanalysator besonders?	19
1.4 Was ist ein Logikanalysator nicht?	20
1.5 Wie schließt man einen Logikanalysator an?	23
1.6 Was kostet ein Logikanalysator?	26
1.6.1 Die günstigen Modelle	26
1.6.2 Die mittlere Preisstufe	27
1.6.3 Das hochpreisige Segment	28
Kapitel 2 • Die Auswahl eines Logikanalysators	30
2.1 Kriterien und Spezifikationen für die Auswahl	30
2.2 Die Bandbreite und Abtastrate	30
2.3 Logik-Pegel und Threshold-Voltage	34
2.3.1 Was sind Logik-Pegel?	34
2.3.2 Was ist eine Threshold-Voltage?	34
2.3.3 Wie interpretiert ein Logikanalysator Signale?	34
2.3.4 Test der Threshold-Voltage	38
2.4 Positive und Negative Logik	41
2.5 Analoge und digitale Eingänge	42
2.6 Synchron und asynchrone Abtastung	43
2.6.1 Synchron Abtastung	43
2.6.2 Asynchrone Abtastung	44
2.6.3 Wann nutzt man die synchrone oder asynchrone Abtastung?	45
2.7 Buffer- und Stream-Modus	45
2.7.1 Buffer-Mode	46
2.7.2 Stream-Mode	47

2.7.3 Vor- und Nachteile	48
2.8 USB-Anschluss	49
2.9 Einfache und komplexe Trigger	50
2.10 Checkliste für die Auswahl eines Logikanalysators	51
2.10.1 Eine Checkliste für die eigenen Anforderungen	51
2.10.2 Was ist wirklich wichtig?	53
2.10.3 Reine Logikanalysatoren	53
2.10.4 Mixed-Signal Geräte	54
2.10.5 Die Qual der Wahl	56
Kapitel 3 • Protokolle und Hardware	58
3.1 Versuchsschaltungen	58
3.1.1 Benötigte Hardware	58
3.1.2 Weitere Hilfsmittel.	62
3.2 Bedienkonzepte der Software	65
3.3 Der I ² C Bus	68
3.3.1 Die I ² C Wetterstation	72
3.3.2 Eine I ² C Analyse.	75
3.3.3 Quellcode Wetterstation.	83
3.4 Der SPI-Bus	86
3.4.1 Raspberry Pi Pico mit grafischem SPI-Display.	90
3.4.2 SPI-Analyse	94
3.4.3 Quellcode SPI-Display	101
3.5 UART / RS-232	103
3.5.1 Raspberry Pi Pico und die serielle Datenübertragung	104
3.5.2 UART-Analyse.	107
3.5.3 Quellcode UART Pico	111
3.6 NeoPixel und WS281x	112
3.6.1 RGB-LED Adapterplatine	114
3.6.2 WS28xx Analyse.	116
3.6.3 Quellcode RGB-LED.	121
3.7 HD44780 LCD-Display	122

3.7.1 Bus Pirate und LCD-Adapter	123
3.7.2 HD44780 Analyse	127
3.8 Das 1-Wire Protokoll	131
3.8.1 Quellcode DS1820	135
3.9 Abschließende Bemerkungen zu den Protokollen	136
Kapitel 4 • Fallstricke	137
4.1 Fehler und Probleme bei Messungen	137
4.2 Die Tastköpfe	137
4.3 Der ideale Testaufbau	139
4.4 Ground Loops	144
4.5 Masseverbindungen bei hohen Frequenzen	145
4.6 Probe Loading	146
4.7 Der richtige Kontaktpunkt	147
4.8 Eingangsspannungsbereich	148
4.9 Einen Logikanalysator als Oszilloskop verwenden	149
Nachwort	150
A1 - Anhang - Arbeitsumgebung einrichten	151
A1.1 Raspberry Pi Pico und Thonny mit MicroPython	151
A1.2 Raspberry Pi Pico und Thonny mit CircuitPython	158
A1.3 Arduino UNO und die Arduino IDE	164
A1.4 Raspberry Pi und Python	170
Literaturverzeichnis	173
Stichwortverzeichnis	174

Vorwort

Digitale Signale und komplexe Protokolle sind heutzutage in fast jeder elektronischen Schaltung zu finden.

Es ist einfach geworden, mit ein paar Zeilen Software und einem Raspberry Pi oder Arduino, Sensoren und Displays an unsere Mikrocontroller anzuschließen. Dabei hoffen wir, dass alles fehlerfrei funktioniert. Manchmal tut es das allerdings nicht und es wäre notwendig, die digitalen Signale und das verwendete Protokoll im Detail anzuschauen.

Aber wie macht man das? Die heutigen Protokolle sind so komplex geworden, dass man bei dem Versuch diese zu überprüfen und zu entschlüsseln vor einem Rätsel steht.

Genau an diesem Punkt kann Ihnen ein Logic Analyzer, im Deutschen auch Logikanalysator genannt, weiterhelfen. Dieses Buch bietet Ihnen eine Hilfestellung für einen Sprung in die digitale Welt an und zeigt anhand einer breiten Basis, mit vielfältigen Beispielen, die Methoden, um die gängigen Protokolle zu entschlüsseln. Es hilft Ihnen die ersten Schritte mit einem Logikanalysator erfolgreich zu bewältigen. Es vermittelt Ihnen eine strukturierte Vorgehensweise mit dem am besten für die Fehlersuche in digitalen Schaltungen geeigneten Werkzeug, dem Logikanalysator.

Dieses Buch verwendet mehrere Modelle flexibler und weit verbreiteter USB-Logikanalysatoren und zeigt die Stärken und Schwächen jeder Preisklasse. Sie werden kennenlernen, welche Kriterien für Ihre Arbeit wichtig sind und in der Lage sein das für Sie passende Gerät zu finden.

Egal ob Arduino, Raspberry Pi oder Raspberry Pico: Die abgebildeten Beispielschaltungen ermöglichen einen schnellen Start in die Protokollanalyse und können auch als Grundlage für eigene weitere Experimente dienen.

Sie werden alle wichtigen Begriffe und Zusammenhänge kennenlernen, eigene Experimente durchführen, selbstständig Protokolle analysieren und nach der Lektüre dieses Buches, im Bereich der digitalen Signale und Protokolle, ein umfassendes Wissen aufgebaut haben.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß dabei!

Kapitel 1 • Was man über einen Logikanalysator wissen muss

1.1 Was ist ein Logikanalysator?

Ein Logikanalysator ist dafür gedacht mehrere digitale Signale gleichzeitig zu erfassen und aufzuzeichnen. Stellen Sie ihn sich wie eine Videokamera vor, die je nach Auflösung einen mehr oder weniger langen Film aufzeichnen kann. Hat das Video eine 8K Auflösung, ist der Platz auf der SD-Karte schnell voll. Nimmt man nur mit VGA-Auflösung auf, dann erkennt man zwar weniger Details, kann aber einen viel längeren Film aufzeichnen. Ein Logikanalysator arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip. Mit einer hohen Sample-Rate bekommt man mehr von dem mit, was auf dem Bus passiert, allerdings ist die Aufzeichnungsdauer dann relativ kurz.

Was unterscheidet Oszilloskop und Logikanalysator? Ein Logikanalysator ähnelt einem Oszilloskop, aber mit seiner speziellen Funktionsweise wird der Logikanalysator hauptsächlich in der digitalen Hardwareentwicklung und bei der Fehlersuche eingesetzt. Dabei bietet er gegenüber dem Oszilloskop den Vorteil, über mehr Kanäle zu verfügen und gezielt für diesen Einsatz entwickelt worden zu sein. Während ein Oszilloskop 2 oder 4 Kanäle ausweist, verfügt ein heutiger einfacher Logikanalysator schon über 8 oder 16 Kanäle, besser ausgestattete Modelle bieten sogar mehr als 32 Kanälen. Im professionellen Bereich sind Geräte mit 128 Kanäle keine Seltenheit. Bei der Analyse der ersten Mikroprozessor-Schaltungen hatte man schon früh den Bedarf für diese vielen Kanäle bemerkt. Protokolle können aber nicht nur auf vielen parallelen Leitungen ablaufen, sie können auch sehr unübersichtlich sein. Um dieser Unübersichtlichkeit Herr zu werden, muss der Logikanalysator noch weitere Fähigkeiten im Repertoire haben. Dazu misst der Logikanalysator die angeschlossenen Signale zeitgleich parallel auf allen angeschlossenen Kanälen und kann spezielle Vorkommnisse im Protokoll, mithilfe eines Triggers, gezielt erfassen. So können auch komplexe Abhängigkeiten der parallelen Signale zueinander sichtbar gemacht werden.

Vieles erinnert an ein Oszilloskop, Parallelen sind nicht zu leugnen. Aber die Schöpfer dieser beiden Geräte hatten unterschiedliche Anforderungen beim Bau im Kopf. Der Logikanalysator ist, im Gegensatz zu dem für die analoge Elektronik gedachten Oszilloskop, in jeder Hinsicht für digitale Signale entwickelt und optimiert worden.

Um die Komplexität, der in digitalen Schaltungen verwendeten Protokolle noch durchdringen zu können, ist ein Logikanalysator für die Protokollanalyse einer Schaltung unverzichtbar geworden. Tritt in einer digitalen Schaltung ein Problem auf und beispielsweise ein mit dem I²C-Protokoll angesteuertes Display funktioniert nicht wie erwartet, kann ein Entwickler zwar im Quellcode und bei den verwendeten Bibliotheken einiges ausprobieren, um den Fehler zu finden, aber die Hardware-Seite bleibt ihm dabei verwehrt. Basiert der Fehler auf einem Timing- oder Takt-Problemen, einer Störung auf der Signalleitung oder Kollisionen auf dem Bus, dann hilft zum exakten Eingrenzen des Problems oft nur noch der Logikanalysator weiter.

Allerdings ist der Logikanalysator aber auch nicht das ultimative Werkzeug zur Fehlersuche. Die Nutzung eines Logikanalysators ist gelegentlich zeitaufwändig und kompliziert. Manchmal verbringt man mehrere Tage mit Datenblättern, Protokollbeschreibungen, Protokollanalysatoren und der Erstellung von Triggern, um dem Fehler überhaupt nahezukommen.

Aber wenn man vorher schon mit der Fehlersuche auf der Softwareseite nicht mehr weitergekommen ist, bleibt einem nichts anderes übrig, als der Sache mit einem Logikanalysator auf den Grund zu gehen und die entsprechende Zeit zu investieren.

Wenn Sie einen Logikanalysator das erste Mal verwenden, werden Sie möglicherweise bei der Fehlersuche von Informationen erschlagen werden. Verzweifeln Sie nicht! Es wird von Mal zu Mal besser und nach einiger Zeit werden Sie geübt und routiniert mit einem Logikanalysator umgehen können und auch bei neuen Protokollen und Problemen Ihren effizienten Weg gefunden haben, den Fehler systematisch einzugrenzen und zu finden.

Um einen Logikanalysator besser zu verstehen, müssen Sie sich ein paar Grundlagen seiner Funktionsweise klar machen. Ein Logikanalysator visualisiert nicht nur den zeitlichen Verlauf der digitalen Signale, die er erfasst, er kann sie auch interpretieren, wenn man es wünscht. Dies wird mit speziellen Protokollanalysatoren gemacht, die das jeweilige Protokoll analysieren und in einer für das Auge verständlichen Form entschlüsseln. Jedes Protokoll benötigt dafür einen eigenen Protokollanalysator.

Dem Logikanalysator steht das Oszilloskop gelegentlich bei der Fehlersuche zur Seite. Dieses ist am besten dafür geeignet analoge Signale sehr genau und präzise darzustellen, da es über eine deutlich höhere Abtastrate und Bandbreite als ein Logikanalysator verfügt. Das Oszilloskop ist immer die erste Wahl, wenn es um die Betrachtung von analogen Signalen geht. Es ist zwar auch in der Lage, die gleichen digitalen Signale zu sehen, die auch ein Logikanalysator sieht, aber es ist von seinem Aufbau her meist nicht dafür optimiert. Und da es nur bis zu vier Eingänge hat, ist solch ein Gerät kaum von irgendeinem Nutzen, wenn man eine digitale Schaltung mit einem 32-Bit Datenbus und einen 64-Bit Adressbus vor sich liegen hat.

Wofür ist das Oszilloskop gut? Das Oszilloskop ist dafür gemacht Signale möglichst genau abzubilden. So sind kleine Unregelmäßigkeiten, Spitzen oder auch ein Überspringen von Signalen deutlich sichtbar. Es ist beispielsweise besonders gut geeignet für eine Untersuchung der Signalintegrität. Dies ist wiederum keine Stärke der meisten Logikanalysatoren. Ein Logikanalysator zeigt all diese Unregelmäßigkeiten nicht an, da seine Funktionsweise einen anderen Schwerpunkt hat. Er stellt die idealisierte Form der Signale dar, weil er die Signale anhand ihres Logik-Pegels als ein High oder Low Signal einstuft. Der Logikanalysator hat eine andere Sicht auf die Signale, da seine Erfassung und Messung der Eingangssignale anders aufgebaut ist als bei einem Oszilloskop. Es ist für ihn nur wichtig, alle 0en und 1en zu erfassen, es geht nicht um die genaue Form des Signals. Im Extremfall wird ein Signal mit dem Verlauf einer Sinuswelle von einem Logikanalysator als Rechteck-Signal dargestellt.

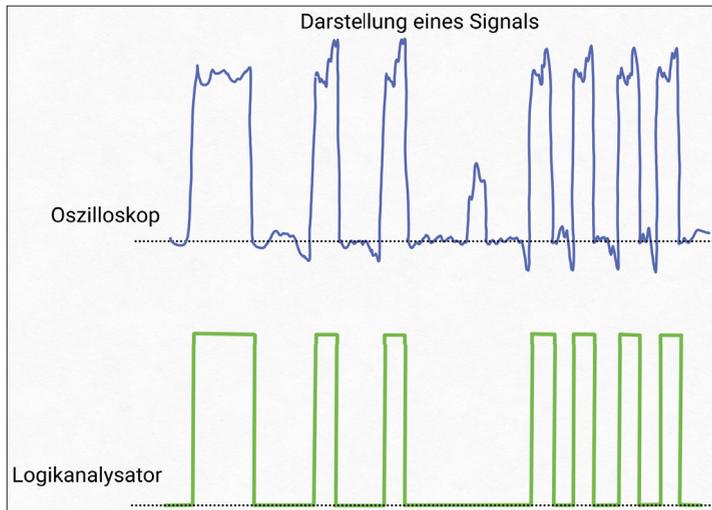


Bild 1.1 Die unterschiedliche Darstellung eines Signals durch ein Oszilloskop und einen Logikanalysator

Behalten Sie diesen Unterschied im Hinterkopf: Bei der Fehlersuche in digitalen Signalen kann Ihnen also ein Oszilloskop manchmal weiterhelfen, weil manche Probleme der Signale von einem Logikanalysator verschluckt werden können. Wie Sie in dem Bild 1.1 sehen, wird ein recht schwaches Signal in der Mitte der Sequenz nicht vom Logikanalysator als ein High erkannt und somit bleibt seine Interpretation der Signal-Sequenz an dieser Stelle auf Low. Aber was ist nun mit diesem möglichen Signal? War das ein Signal, welches zu schwach ist? Ist dies ein Störsignal, welches, wenn es nur ein wenig stärker gewesen wäre, als High interpretiert worden wäre und hätte die Logik gestört? Ist dieses Signal gedämpft, weil der Logikanalysator angeschlossen ist? (Der Anschluss eines Logikanalysators kann Effekte auf die Schaltung haben, dies wird noch später im Buch besprochen.) Dieses Rätsel gilt es zu lösen und dabei kann einem ein Oszilloskop helfen, da dies für die Analyse einzelner Signale gemacht ist. Bei einer bestimmten Art von Fehlern hilft einem ein Oszilloskop auch bei digitalen Schaltungen weiter. Fehler und Probleme, die mit den Protokollen zu tun haben, sind allerdings die Stärke eines Logikanalysators.

Aufbau und Geschichte eines MSO

Früher war ein Oszilloskop noch analog aufgebaut. Diese Geräte haben das Signal, das am Eingang anliegt, direkt auf dem Bildschirm sichtbar gemacht. Das an der Eingangsbuchse empfangene Signal wurde aufbereitet und als Elektronenstrahl auf die Innenseite der Bildröhre gelenkt. Dabei wurde die Phosphorschicht auf der Bildschirminnenseite zum Leuchten angeregt, eine Linie wurde auf dem Bildschirm sichtbar.



Diese Geräte sind heutzutage fast vollständig vom Markt verschwunden. In einigen Werkstätten sieht man manchmal noch das damals sehr verbreitete Hameg 203.

Die heutigen auf dem Markt verwendeten Oszilloskope werden DSO genannt, eine Abkürzung für Digitales Speicher Oszilloskop. Sie arbeiten digital und verwandeln das analoge Eingangssignal in ein digitales Signal um, das im Datenspeicher abgelegt wird. Von dort wird die Signalinformation mit einem FPGA und einer Menge Software weiterverarbeitet, wobei es auch auf einem Bildschirm zur Darstellung kommt.

Der Aufbau und die Arbeitsweise sind also komplett anders als bei früheren analogen Oszilloskopen. Und damit ist auch der größte bauartbedingte Unterschied zwischen einem Oszilloskop und einem Logikanalysator verschwunden.

Das Ergebnis dieser Entwicklung ist nun das MSO. Das Mixed Signal Oscilloscope. Der digitale Aufbau eines heutigen Oszilloskops ermöglicht die Kombination beider Einsatzzwecke. Da das Signal an der Eingangsbuchse ohnehin in ein digitales Signal umgewandelt wird, ist der Weg zu einem Logikanalysator nicht mehr weit. Der Logikanalysator und das Oszilloskop verschmelzen miteinander. Einige Hersteller bieten aus diesem Grund mit ihren MSO zwei Geräte in einem an, ein Oszilloskop mit einem integrierten Logikanalysator.



Bild 1.2 Bei einem MSO ist meist unter dem Bildschirm die Anschlussleiste des Logikanalysators zu sehen

Zurück zum Logikanalysator. Der Logikanalysator ist also ein Messgerät, welches digitale Signale simultan über all seine Kanäle abgreifen, aufzeichnen, anzeigen, messen und dekodieren kann. So kann bei der Analyse der aufgezeichneten Signalverläufe, die zeitliche Korrelation und Abhängigkeit zwischen den Signalen untersucht werden. Protokolle können dabei mit Protokollanalytoren entschlüsselt und visualisiert werden, um die Steuer- und Datensignale für das Auge erkennbar zu machen.



Bild 1.3 Ein DSLogic Plus Logikanalysator – Modern und leistungsfähig

Für den Hobby-Elektroniker und auch den Profi bieten moderne Logikanalysatoren, die mittels USB an dem Computer angeschlossen werden, viele Möglichkeiten. In Zusammenarbeit mit der dazugehörigen Software wird eine Analyse digitaler Signale ermöglicht, die vor einigen Jahren nur in professionellen Geräten zu einem Vielfachen des Preises enthalten waren. Die ständige Weiterentwicklung von Plugins für diese Software, bietet eine ständige Erweiterung des Funktionsumfangs, der für die Dekodierung von ständig neuen Protokollen nötig ist. Dies ist ein deutlicher Vorteil gegenüber früheren Geräten, die in Ihrer Ausstattung statisch waren. Die Dekodierung neuer digitaler Protokolle ist so auch noch lange nach dem Kauf des Logikanalysators möglich, einfach indem die Software aktualisiert wird.

Einsatzzweck eines Protokollanalytors

In Bezug auf die Protokollanalytoren gibt es einen wichtigen Punkt zu beachten, um ihren Einsatzzweck zu verstehen: Ein Protokollanalyator macht den Inhalt des Protokolls sichtbar und nachvollziehbar. Das bedeutet aber nicht, dass es einfach zu verstehen ist, was dieses Protokoll macht und überträgt. Oft werden z.B. Inhalte von Registern aus einem Sensor übertragen, in denen einen Zahlenwert in Hex codiert ist. Damit tut sich eine weitere Ebene auf, in der es darum geht, den erhaltenen Inhalt weiter zu entschlüsseln, indem beispielsweise dieser Zahlenwert erst umgerechnet werden muss, um an die Grad-Zahl in Celsius oder in Fahrenheit zu gelangen. Dieser letzte Schritt passiert dann in der Software des Gerätes. Diesen Teil sehen Sie aber nicht in der Übertragung zwischen dem Sensor und dem Mikrocontroller. Der Hersteller des Sensors gibt im dazugehörigen Datenblatt die notwendigen Schritte an, die dann in der Firmware implementiert werden müssen, um an den letztendlich im Display zu visualisierenden Wert zu gelangen. Genau hier liegt oft die Schwierigkeit, die viele Anwender scheitern lassen, wenn Sie einen Logikanalysator das erste Mal verwenden, und danach enttäuscht in die Ecke werfen. Sie können mit einem Protokollanalyator viel sichtbar machen und nachvollziehen, er nimmt Ihnen die Arbeit aber nicht ab, er macht sie nur einfacher.



Logikanalysatoren sind, wie schon angesprochen, auch als Bestandteil eines Oszilloskops verfügbar. Als zusätzliches Modul, parallel zu den normalen Analogeingängen des Oszilloskops, kann der Anwender so weitere 16 oder 32 digitale Kanäle nutzen. In solch einem MSO (Mixed Signal Oszilloskop) bietet sich so die Möglichkeit, analoge und digitale Signale in einer Schaltung zum gleichen Zeitpunkt – in Abhängigkeit zueinander – auszuwerten. Bei der gleichen Analyse, mit zwei getrennten Geräten, einem USB-Logikanalysator und einem Oszilloskop, ist sowas nicht so einfach möglich. Um mit zwei getrennten Geräten analoge und digitale Signale in Abhängigkeit zueinander zu analysieren, ist oft eine Synchronisation des Triggers zwischen beiden Geräten notwendig. Die zeitgleiche Erfassung und Analyse ist so zwar möglich, das Ergebnis muss aber trotzdem noch – über die Gerätegrenze hinweg – zusammengeführt werden. Entweder durch das Auge oder durch eine Übertragung der erfassten Samples zu einem weiteren System, um dort mit geeigneten Mitteln die Fehleranalyse weiterzuführen. Hört sich schwierig, fehleranfällig und kompliziert an, oder?

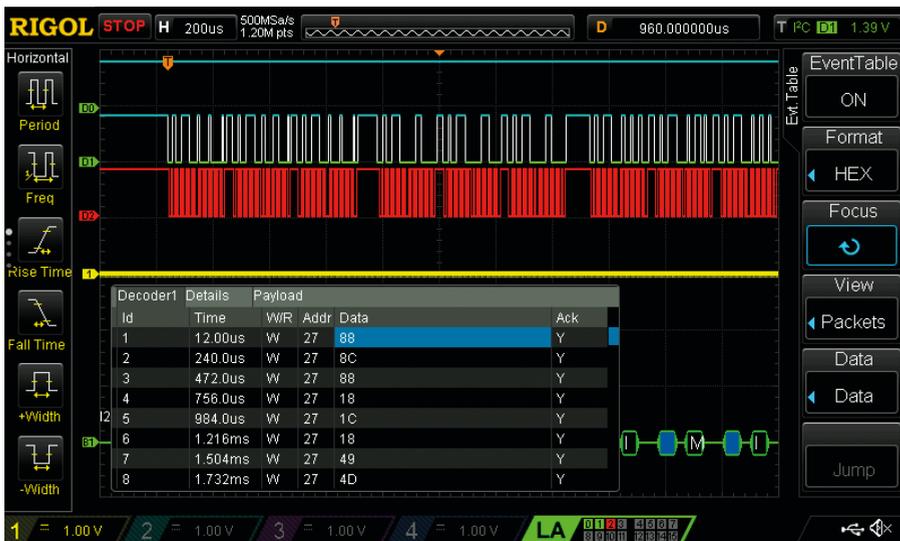


Bild 1.4 Analyse eines I²C-Protokolls mit einem Rigol MSO

Fairerweise muss man sagen, dass die Notwendigkeit solch einer komplizierten Fehlersuche recht selten der Fall ist, meist das Auge dabei ausreicht und komplexere Fälle fast immer mit etwas Kreativität anders gelöst werden können.

Wesentlich negativer ist die Eigenheit mancher MSO, beim Einsatz des integrierten Logikanalysators einen oder zwei der analogen Eingänge zu deaktivieren, oder nur die in der Anzeige sichtbaren digitalen Signale zu dekodieren und nicht den kompletten Signalverlauf, der im Speicher gehalten wird. Ein USB-Logikanalysator ist da weit flexibler und leistungsfähiger als die in den MSO der Einstiegsklasse enthaltenen Logikanalysatoren.

Verwerfen Sie aber nicht jetzt schon die Nutzung eines MSO für Ihre Zwecke. Es gibt auch Stärken bei diesen Geräten, auf die ich später noch zu sprechen kommen. Für jede Fehlersuche gibt es das richtige Gerät, in einigen Fällen ist auch ein MSO das Mittel der Wahl.

Über die Hardware eines Logikanalysators wissen Sie jetzt schon einiges. Kommen wir nun zur Software.

1.1.1 Welche Software benötigt ein Logikanalysator?

Zu jedem USB-Logikanalysator gehört grundsätzlich eine Software, die zur Hardware des Logikanalysators passen muss. Die Software muss die einzelnen Kanäle steuern können, die Aufzeichnung der Signale ermöglichen und die Analyse der aufgezeichneten Signale möglich machen. Letzteres geschieht mit Protokollanalytoren, die zumeist als Plugins in der Software bereitgestellt werden.

Eine sehr bekannte Software dafür ist die Open-Source-Software Sigrok. Sie unterstützt eine Vielzahl von Logikanalysatoren. Oft kann auch die vom Hersteller des Logikanalysators mitgelieferte Software durch Sigrok ersetzt werden. Dies ist von Vorteil, wenn Sie einen alten Logikanalysator weiterverwenden möchten, der nicht mehr weiter gepflegt wird, oder wenn Ihr Logikanalysator selbst aus der Open-Hardware-Szene kommt. Sigrok ist dabei das Kommandozeilen-Programm im Hintergrund, die Anzeige und Bedienoberfläche wird durch das Programm Pulseview bereitgestellt.

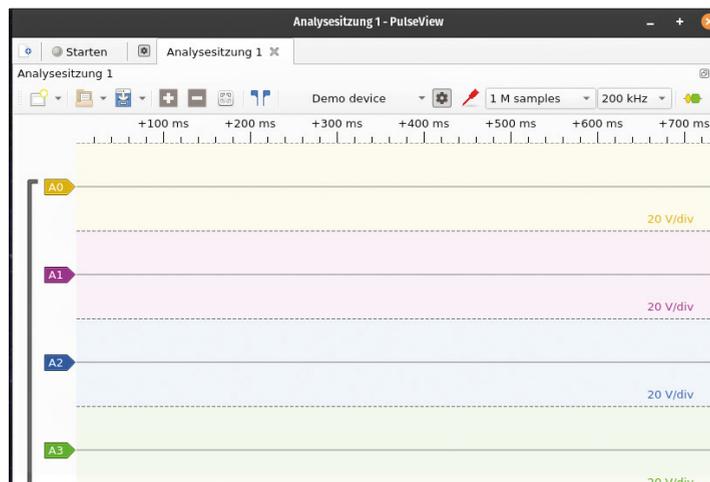


Bild 1.5 Sigrok Pulseview Analysefenster – Übersichtlich und einfach aufgebaut

Der Ansatz in diesem Buch ist ein möglichst einfacher Einstieg in die Arbeit mit einem Logikanalysator. Ein hier im Buch verwendetes Gerät ist ein einfaches und kostengünstiges Modell, welches über die gängigen Online-Plattformen für wenig Geld gekauft werden kann. Der Kosten-Nutzen-Faktor dieses einfachen Noname-USB-Logikanalysators ist unschlagbar. Und mit seinen 8-Kanälen und bis zu 25 MHz Bandbreite ist er für die meisten Aufgaben bestens geeignet.



Bild 1.6 Ein günstiger 8-Kanal Logikanalysator für den Einstieg in die Protokollanalyse

Die Nutzung dieses Logikanalysators erfolgt dann mit Sigrok und Pulseview. Die aktuellen Pakete dieser Open-Source-Software können Sie im Internet unter <http://sigrok.org> herunterladen. Der Einstieg in die Welt des Dekodierens digitaler Signale ist so schnell geschafft

1.1.2 Ist ein einfacher Logikanalysator ausreichend?

Moderne Mikrocontroller besitzen oft eine I²C oder SPI-Schnittstelle. Die Einfachheit des SPI und I²C Protokolls, die breite Unterstützung in der Peripherie der Mikrocontroller, der günstige Preis und die recht einfache Implementation solch einer Schnittstelle beim Design von Platinen führte dazu, dass diese Protokolle mittlerweile überall anzutreffen sind. Die serielle Schnittstelle RS-232 wird auch noch gerne verwendet. Deshalb reicht im Allgemeinen in der heimischen Werkstatt ein Logikanalysator mit 8 Kanälen und einer Bandbreite bis 20 MHz aus.

Der Bedarf für einen Logikanalysator mit deutlich mehr Kanälen, um breite Daten- oder Adressbusse, wie beispielsweise bei einem Speicherriegel zu analysieren, ist im Hobby-Bereich sehr selten. Die Taktfrequenzen bei solchen Bussen sind oft so hoch, dass deutlich teureres und professionelles Equipment notwendig wäre, um dort eine Analyse durchführen zu können. Sparen Sie sich in der Anfangszeit das Geld, welches Sie in einen Logikanalysator investieren müssten, um überhaupt in den Bereich dieser Profiligena zu kommen. Im Verlauf des Buches werden Sie noch die Knackpunkte kennenlernen, auf die es ankommt. Und am Ende des Buches werden Sie genau wissen, welcher Logikanalysator Ihr nächster Schritt nach diesem einfachen 8-Kanal 24 MHz Modell sein könnte. Versprochen! Aber das Prinzip ist im Großen und Ganzen dasselbe: Können Sie mit einem Logikanalysator gut umgehen, finden Sie sich auch schnell in der Bedienung eines anderen Modells zurecht.

Wie viel Kanäle sind nötig bei einem Logikanalysator?

Die bei modernen Mikrocontrollern verwendeten Protokolle benötigen wenige Leitungen. Beim Anschluss eines Logikanalysators benötigt man, neben einem GND-Anschluss, nur Kanäle für folgende Leitungen:



SPI = 4 Leitungen (SDO/MOSI, SDI/MISO, SCK, SS)

I²C = 2 Leitungen (SCL, SDA)

1-Wire = 1 Leitung (DQ)

RS-232 = 2 Leitungen (TX, RX) (mit Flusssteuerung 4 Leitungen / + CTS, RTS)

HD44780 = 7 oder 11 Leitungen (4 oder 8 Datenleitungen, RW, RS, E)

1.2 Wofür brauche ich einen LA?

Sie brauchen einen Logikanalysator, weil digitale Schaltungen nicht mehr mit Logikgattern aufgebaut werden, in denen das Signal in seinem Verlauf und seinen Zuständen einfach verfolgt werden kann. Früher konnte man die korrekte Funktion einer digitalen Schaltung mit einem Logiktester, einer so genannten "Logic Probe", überprüfen. An den verschiedenen Testpunkten einer Schaltung, oder an den Anschlussbeinchen der ICs konnte man so nach einem High oder Low Signal schauen und dem Signalverlauf durch die Reihen der ICs folgen, bis man den Fehler gefunden hatte. Daraufhin reparierte man die fehlerhafte Stelle, der betroffenen IC wurde ausgewechselt, und die Schaltung funktionierte wieder. Die Logik war in den ICs "fest verdrahtet". Heute wird die Logik durch Software definiert.

Manche Logic Probes konnten auch binär zählen, solche Luxusmodelle wurden dann "Logic Scope" genannt.



Bild 1.7 Ein Logic Scope aus den 1980er Jahren welches auch binär zählen kann

Außer bei der Reparatur von alten Schaltungen aus den 1970er und 1980er Jahren, trifft man heute nicht mehr auf solch einen Schaltungsaufbau. Digitaltechnik von heute arbeitet mit Protokollen, die weit komplexere Abläufe haben als die alten Logik-Schaltungen. Durch die große Anzahl von Varianten heutiger Mikrocontroller und Mikroprozessoren sind eine Vielzahl von Protokollen in den Schaltungen im Einsatz. Insgesamt ist auch die Dichte der Schaltungen durch die viel höhere Integration deutlich gestiegen.

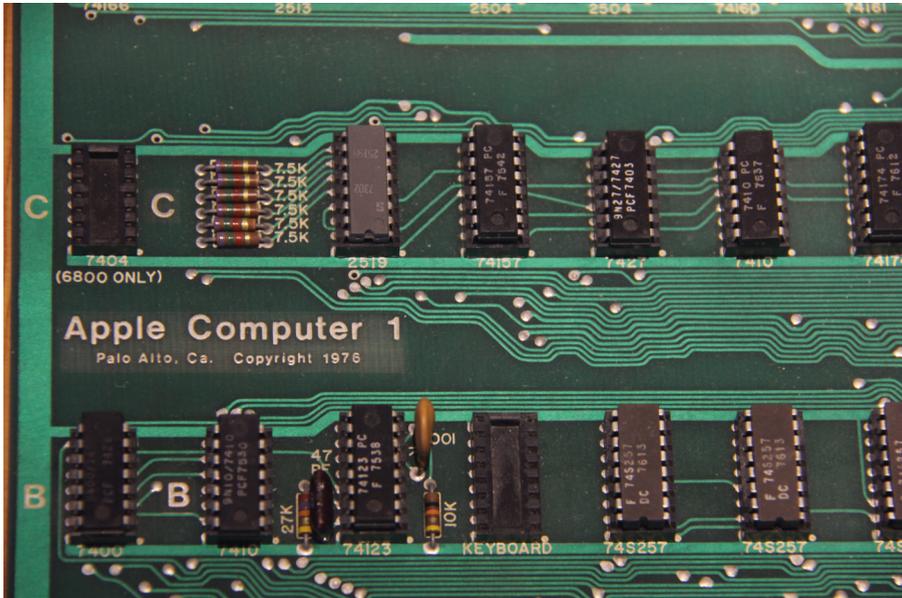


Bild 1.8 Die Logikgatter des ersten Apple-Computers mit großen Abständen

Obwohl Hobby-Elektroniker heutzutage schon mehrheitlich digital arbeiten – fast jeder nutzt heutzutage einem Arduino oder Raspberry Pi oder Pico in seinen Projekten – verwendet kaum jemand einen Logikanalysator, wenn es um die Fehlersuche geht.

Diese Geräte sind nur in wenigen Fällen in einer Amateur-Werkstatt zu finden, denn früher waren sie selten und teuer. Obwohl Logikanalysatoren seit einigen Jahren schon zu erschwinglichen Preisen zu haben sind, haben sie sich noch nicht weit außerhalb der professionellen Elektronikentwicklung verbreitet. Da aber auch der Hobby-Elektroniker heutzutage seinen Temperatursensor mit einem digitalen Protokoll ausliest und auch vermeintlich einfache Sachen schon ein eigenes Protokoll verwenden, gehört ein einfacher Logikanalysator mittlerweile zur Grundausstattung einer Elektronikwerkstatt. Denn selbst farbige LEDs werden heute mit einem digitalen Protokoll gesteuert.

Verschiedene Anbieter haben deshalb günstige Logikanalysatoren entwickelt, die via USB an einen PC angeschlossen und mit der dazugehörigen Software bedient werden. Da sich die digitale Welt mit ihren Protokollen ständig und schnell weiterentwickelt, wird auch die Software flexibel gehalten, indem die Protokollanalysatoren als Plugins in der Software eingebunden werden und so jederzeit erweiterbar sind.

Nicht verwechseln!

Logikanalysator = Ein Gerät zum Erfassen und Analysieren digitaler Signale
Protokollanalysator = Ein Bestandteil der Software eines Logikanalysators, der die digitalen Protokolle entschlüsselt und verständlich macht.

