

den zunächst gemeinsam auf L gelegt und erlauben so die dynamische Steuerung mit L-H-Flanken an C und die Übernahme der gerade an D anstehenden Information in das Flip-Flop. Die Verbindung \bar{Q} und D ermöglicht die 2:1-Teilung wie bereits beschrieben.

Verwechseln Sie bei der Verbindung mit den D-Eingängen nicht Q und \bar{Q} , das hat die fatale Folge, daß der Gesamtzähler in umgekehrter Richtung zählt, wenn man das Signal an den Ausgängen später mit einem Decoder „entschlüsselt“ - man erhält wider Willen einen Rückwärtszähler.

Als Takterzeuger dient wieder unsere bekannte Entprellschaltung aus Abbildung 21. Deren Ausgang wird einfach mit dem Eingang C des ersten Flip-Flops verbunden, wie in Abbildung 32 dargestellt.

An dieser Stelle ein Wort zu den Leuchtdioden an den Ausgängen. Eine Leuchtdiode stellt für so einen Gatterausgang eigentlich eine recht hohe Last dar, weshalb für Daueranwendungen die LEDs meist mit einem nachgeschalteten Transistor oder parallelgeschalteten Gattern angesteuert werden. Für unsere ersten Experimentierzwecke mit langsamen Takten und den betriebssicheren CMOS-D-Flip-Flops ist die direkte Ansteuerung über einen recht hohen Vorwiderstand jedoch möglich.

Nach dem Anschluß der Stromversorgung kann man jetzt sofort an das Probieren gehen (wegen der relativ vielen Leuchtdioden und der gleich folgenden Erweiterung mit einer Ziffernanzeige sollte man nun doch ein Netzteil bemühen). Bei jeder zweiten Betätigung des Tasters sollte nun die LED am ersten Flip-Flop aufleuchten bzw. verlöschen, folgend jeweils die anderen LEDs.

Haben wir nun gesehen, daß alle vier Leuchtdioden „irgendwann“ einmal leuchten, so nehmen wir uns jetzt ein Blatt Papier und wollen die Botschaft des Zählers erkunden. Richten Sie fünf Spalten ein, in die erste kommt „Takt“, in die zweite und ff. tragen wir QA, QB, QC und QD für die vier Ausgänge des Zählers laut Abbildung 32 ein.

In die erste Spalte tragen wir nun untereinander die Zahlen 0 bis 15 als Zeilen ein.

Nun kann es losgehen. Betätigen Sie den Taster so oft, bis alle vier LEDs erloschen

Digitaltechnik - ganz einfach Teil 4

Nachdem wir uns im vorangegangenen Teil unserer Serie ausführlich mit den Flip-Flop beschäftigt haben, wollen wir diese Kenntnisse auch ausreizen, wir bauen einen Zähler bis 16 und lernen dabei Weiteres über das Binärsystem. Damit wir unsere ersten Zählergebnisse auch standesgemäß auswerten können, machen wir einen Ausflug in die Welt der Decoder und Ziffernanzeigen.

Binär bis 16

Wie bereits ausführlich betrachtet, eignen sich das flankengetriggerte D-Flip-Flop, das T-Flip-Flop und das JK-Flip-Flop hervorragend als Frequenzteiler, d. h., je eines dieser Flip-Flops kann eine an C anliegende Eingangsimpulsfolge durch 2 teilen. Damit eignen sich diese digitalen Grundschaltungen für die Realisierung unseres ersten Zählers.

Wir wählen aus Gründen des Aufwands das D-Flip-Flop in Form eines CMOS-Typs CD 4013, das zwei dieser Flip-Flops beherbergt. So können wir einen vierstufigen Zähler bereits mit zwei dieser Bausteine sehr schnell und einfach realisieren und

auf unserem Experimentierboard aufbauen (Abbildung 32).

Die Grundschaltung entspricht unserer Konfiguration aus Abbildung 27 b, jeweils am Q-Ausgang wird der nachfolgende Takteingang des nächsten Flip-Flops angeschlossen, so daß das „Zählergebnis“ des vorherigen Flip-Flops immer weiter zum nächsten Flip-Flop durchgeschoben wird.

An den Q-Ausgängen werden noch unsere Leuchtdioden-„Indikatoren“ angeschlossen, und fertig ist unser erster, vierstufiger Zähler.

Die beiden Setzeingänge S und R wer-

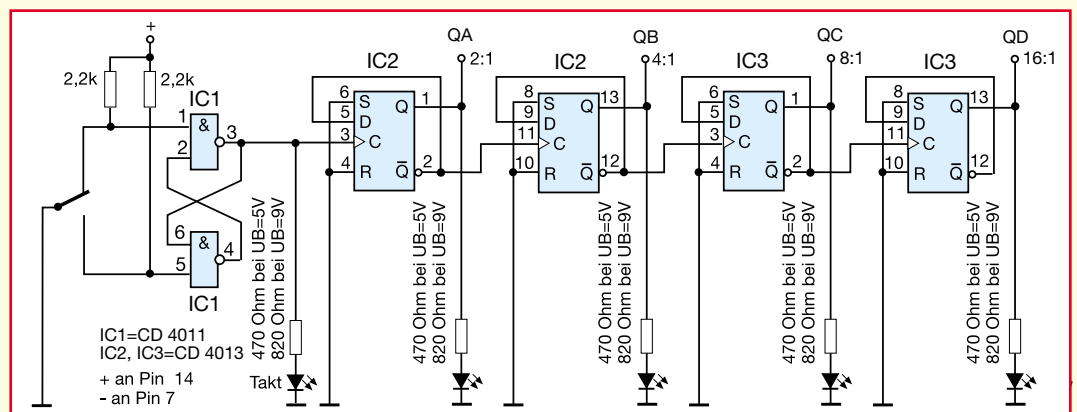


Bild 32: Unser mit 2 x CD 4013 aufgebauter, vierstufiger Zähler.

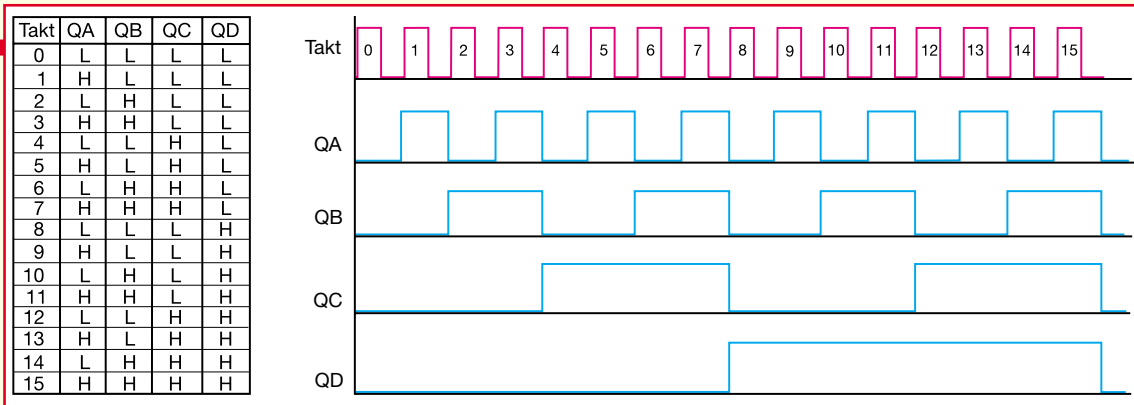


Bild 33: Wahrheitstabelle des vierstufigen Zählers mit zugehörigem Impulsdiagramm.

sind. Tragen Sie nun in Zeile 0 für die vier Ausgänge jeweils ein L ein, und füllen Sie für jeden weiteren Tastendruck den Zustand der vier LEDs ein. Dabei bedeutet „LED aus“ L und „LED an“ H.

Irgendwann kommen Sie wieder da an, wo viermal L angezeigt wird und erkennen daran, daß der Zählumfang des Zählers erreicht war und er nun anfängt, wieder von vorn zu zählen.

Das Ergebnis Ihrer Bemühungen sollte dann genauso aussehen wie die Wahrheitstabelle in Abbildung 33.

Ist das so, haben wir beim Aufbau unseres ersten Zählers alles richtig gemacht und können uns entspannt zurücklehnen.

Faßt man das Ergebnis aus Abbildung 33 in einem Impulsdiagramm zusammen, so erkennt man auf einen Blick, daß jeweils der nachfolgende Zähler nur die halbe Frequenz des vorangegangenen Zählers ausgibt, jede Stufe teilt durch zwei.

Kehren wir nun zum schon einmal erwähnten Binärsystem zurück, so erkennen wir, daß jedem Dezimalwert in der ersten Spalte der Wertetabelle ein ganz bestimmter Code, bestehend aus vier Binärziffern, genannt Bit, zugeordnet ist.

Wir können es drehen und wenden, wie wir wollen, mehr als 16 unterschiedliche Kombinationen können wir aus diesen Zuständen nicht erzeugen.

Weshalb wir nun gerade vier Teilzähler hintereinander geschaltet haben, hat einen einfachen Grund.

Um letztendlich eine einstellige Dezimalzahl nach dem Auswerten des Zählvorgangs zu erhalten, braucht man vier Bit, die in der aufsteigenden Priorität der Zweierpotenzen der Dualrechnung begründet sind.

Ohne lange zu rechnen und zu weit an lange zurückliegende Schulzeiten zurückzudenken, veranschaulichen wir uns einmal das Zählergebnis der achten Zeile (Takt 7):

Ausgang:	QD	QC	QB	QA
Bit:	4	3	2	1
Anzeige:	L	H	H	H
Dualreihe:	2^4	2^2	2^1	2^0
Wertigkeit:	-	4	2	1

Zählt man nun die Wertigkeiten zusammen, erhält man tatsächlich 7, denn L erhält keine Wertigkeit. Dies wäre dann

auch die maximale Zahl, die folglich ein dreistufiger (3-Bit-) Zähler zählen könnte.

Das Zählen muß immer beim niederwertigsten Bit, also hier QA beginnen, ein Grundsatz, den man besonders beim Aufbau mehrstufiger Zählaltungen im Hinterkopf haben sollte.

Dualzahlen werden ja auch stets von hinten, also der niederwertigsten Stelle gesehen, 4-Bit-weise gezählt.

Beispiel: 0001000101111111
 Aufteilung in 4-Bit-Worte:
 0001 0001 0111 1111
 Dezimal: 1 1 7 15

Diese Anzeige würde also in einer vierstelligen Ziffernanzeige, über einen Decoder an einen 16stufigen Binärzähler angeschlossen, erscheinen. Da es die Zahlen 10 bis 15 in einer einstelligen Ziffernanzeige nicht geben kann, werden diese Stellen bei Zählern, die bis 16 zählen, auch Pseudoterminen genannt, die, entsprechend decodiert, die „Werte“ A bis F darstellen. Einige spezielle Decoder tun dies auch, andere unterdrücken diese Stellen einfach - die Anzeige bleibt dunkel.

Wozu auch bis 16 zählen - wir zählen doch einstellig bis 9 und fangen bei 0 wieder an. Das nennt sich Dezimalsystem, uns allen bekannt. Das System bis 16, also genauer 0 bis 15, heißt Hexadezimalsystem und findet vor allem in der Rechen- und Speichertechnik Anwendung. Wohl jeder hat sicher schon die „kryptischen“, sog. Hex-Listings von Speicherbausteinen (1F, AE, 05, DF...) gesehen, die, wie schon im vorherigen Teil erwähnt, auf der Grundlage von hintereinandergeschalteten Flip-Flops arbeiten. Hier nutzt man das Dualsystem voll aus und erkennt wieder einmal, daß unsere Computer in ihrer Gesamtstruktur tatsächlich nicht weiter als bis 2 zählen können. Doch zurück zu unserem Zählerbau.

Dezimal angezeigt

Sicher geht es Ihnen auch so, das etwas kryptische Aufleuchten der vier Leuchtdioden macht es nur EDV-Programmierern der ersten Stunde, die noch Lochstreifen (die nichts anders als Loch = H, kein Loch = L darstellten) auf einen Blick „le-

sen“ können, auf Anhieb leicht, eine Dezimalzahl daraus zu entschlüsseln.

Wir wollen etwas „Handfesteres“ sehen, also eine Ziffer wie auf der Digitaluhr, wir wollen „richtig“ zählen.

Also besorgen wir uns einen Ziffernanzeigebaustein, etwa den bekannten DJ 700A (Abbildung 34).

Schon die Anschlußbelegung und der Blick auf den Baustein in Abbildung 34 machen klar, daß das Ding nicht so ohne weiteres einfach an unseren Zähler, der nur vier Ausgänge hat, anschließbar ist.

Hinter jedem Anschluß verbirgt sich eine gegen die positive Betriebsspannung geschaltete (tun Sie das noch nicht!) Leuchtdiode. Schalten Sie nun nach Abbildung 35 an jeden der sieben Anschlüsse A bis G einen 1,5k Ω -Widerstand (der LED-Vorwiderstand, wie wir ihn kennen), verbinden Sie die Anschlüsse 8 und 3 mit der positiven Betriebsspannung (+5 V). Die freien Anschlüsse der Widerstände können nun nacheinander an Masse gelegt werden, und die zugehörigen LED's, Segmente genannt, leuchten auf. Mit den insgesamt sieben Segmenten der Anzeige sind so alle Ziffern von 0 bis 9 und diverse andere Kombinationen darstellbar. Daher heißt diese Art der Anzeige 7-Segment-Anzeige.

Um diese Anzeige mit unserem 4-Bit-Zähler, der ja streng binär ausgibt, ansteuern zu können, wird etwas gebraucht, das den 8-4-2-1-Code in das Dezimalsystem „übersetzt“ und „mundgerecht“ für die 7-Segment-Anzeige ausgibt. So ein Übersetzer heißt Decoder.

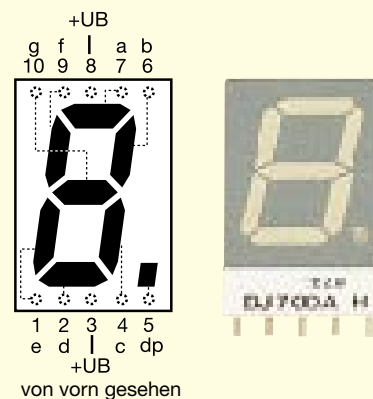


Bild 34: Für die Ziffernanzeige kommt der gängige Typ DJ 700 A zum Einsatz.

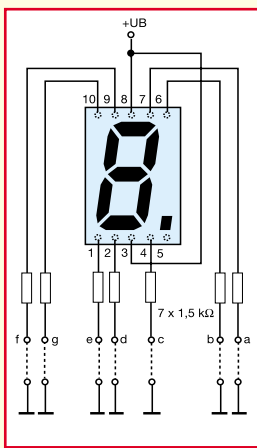


Bild 35: So kann man die 7-Segment-Anzeige testen.

Decodiert

Machen wir also einen Riesensatz quer durch die ganze Digitaltechnik und setzen ohne weitere Betrachtung einen solchen Decoder als kompletten Baustein ein. Auf seinen Aufbau, seine Verwandten und seine Wirkungsweise kommen wir ausführlich im Rahmen eines späteren Beitrags dieser Reihe zurück. Nur soviel, er besitzt ein beachtliches Innenleben, Scharen von Einzelgattern sind so kombiniert, daß die gewünschte Codeübersetzung zwischen dem Binärsystem und dem 7-Segment-System der Anzeige erfolgt.

Die gesamte Übersetzung zwischen Binärsystem und Dezimalsystem wird BCD-Code genannt, das kommt von **B**inär, **C**odiert und **D**ezimal. Behalten Sie den Begriff einfach im Hinterkopf, er wird uns noch begegnen, z. B. als Ausdruck für die Wahrheitstabelle in Abbildung 33 (strenggenommen deren Teil bis zur Ziffer 9). Man sagt einfach, dies ist eine BCD-Tabelle.

Besorgen wir uns also einen solchen

Decoder. Wir wählen wiederum einen CMOS-Typ, den CD 4056. Dieser kann nicht nur LED-Anzeigen wie unsere DJ 700 A bedienen, sondern auch die später noch betrachteten Flüssigkristallanzeigen (LCD).

Wir verdrahten ihn auf unserem Board nun nach Abbildung 36 mit der 7-Segment-Anzeige und achten dabei penibel darauf, daß die richtigen Segmente der Anzeige mit den richtigen Anschlüssen des Decoders verbunden werden.

Die Eingänge A bis D legen wir zunächst an Masse.

Schalten wir nun unsere Betriebsspannung zu, so zeigt die Ziffernanzeige „0“ an. Nun können Sie nach der BCD-Tabelle in Abbildung 33 die Anschlüsse A bis D einfach einmal an +UB legen und erhalten dann die Ziffernanzeigen entsprechend der BCD-Tabelle. Statt 10 bis 15 erscheinen L, H, P, A - und schließlich alle Segmente dunkel.

Ist dies exakt erfolgt, verbinden Sie nun die Eingänge A bis D des Decoders mit den Ausgängen QA bis QD des 4-Bit-Zählers (Abbildung 37). Auch hier darf nichts verwechselt werden, was angesichts des nun schon ziemlich dichten Aufbaus auf unserem Experimentierboard schon schnell geschehen kann - also Konzentration.

Hat man alles glücklich verdrahtet, heißt es Spannung an zur großen Premiere!

Bei jedem Tastendruck auf unseren Eingabetaster müßte nun unsere Ziffernanzeige

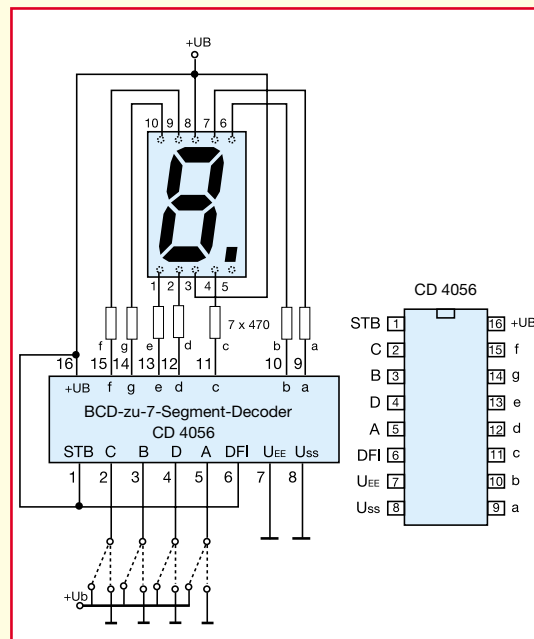


Bild 36: So werden 7-Segment-Anzeige und Decoder verbunden.

um eine Stelle weiterzählen, von 0 bis „F“, also einmal alle Segmente dunkel, bis wieder 0 erscheint.

Unser Zähler zählt nun richtig sichtbar bis 16 und der Erfolg ist unser!

Wer will und genug Nerven für die dann schon beachtliche Verdrahtung hat, kann bis zum nächsten Heft einen weiteren Zähler dieser Art aufbauen, dessen Eingang an den letzten Q-Ausgang des ersten Zählers „hängen“ und so einen zweistelligen 8-Bit-Zähler realisieren.

In der nächsten Folge bringen wir unserem Zähler bei, daß er nur bis 10 zählt, mitten im Zählen auf Null zurückgehen kann, nach dem Einschalten automatisch anfängt, ab Null zu zählen, und wir werden sehen, wie wir ihn automatisch zählen lassen können. Dazu lernen wir das Monoflop, den Schmitt-Trigger und die Torschaltung kennen und beschäftigen uns mit der Impulserzeugung durch Digital-

ELV

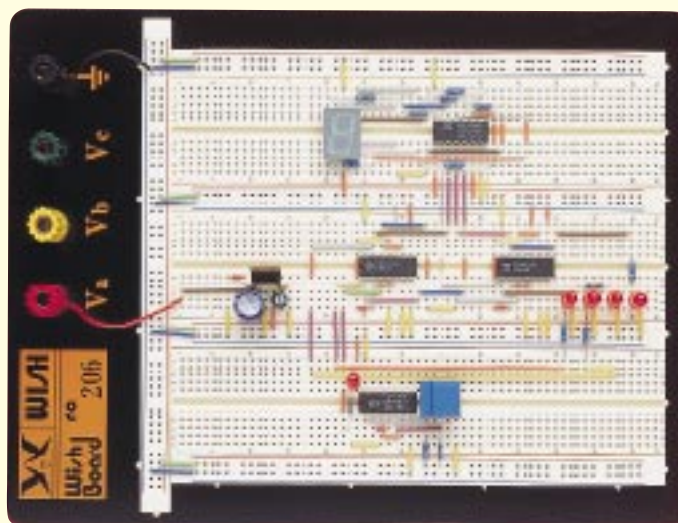
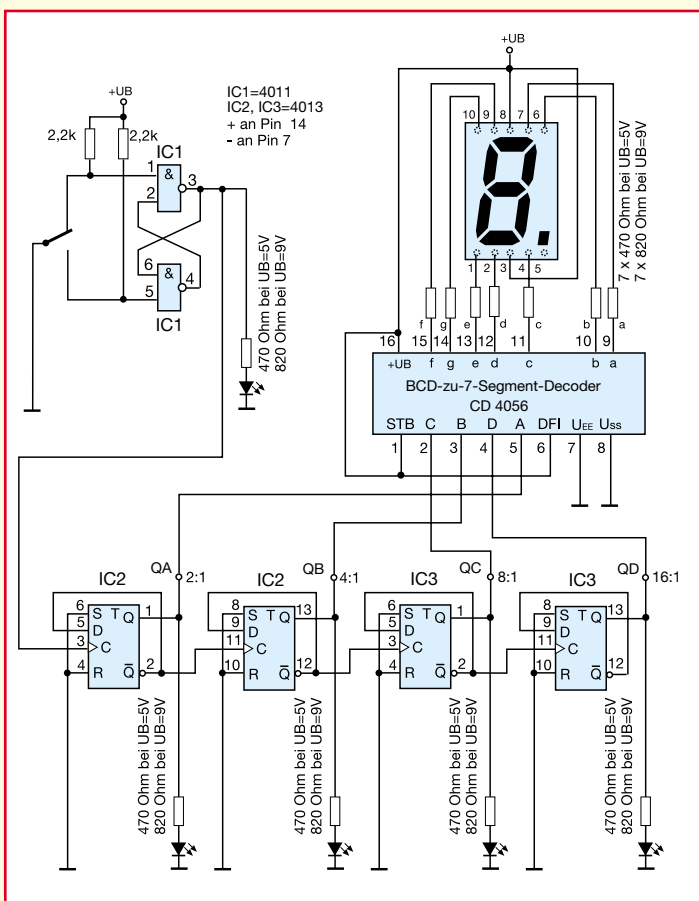


Bild 37: Die Gesamtschaltung unseres ersten 4-Bit-Zählers mit dezimaler Anzeige. Das Foto verdeutlicht, daß es nun schon recht eng auf dem Experimentierboard zugeht.