

# Aus Logik wird Sound

## Digitales Experimentierboard DEB100

### Anwendungsbeispiel Sounderzeugung

Mit unserem Digital-Experimentierboard DEB100 haben wir ein ideales Werkzeug, um Logikschaltungen, deren Funktionsweisen und Hintergründe zu verstehen. Im folgenden Anwendungsbeispiel zeigen wir Schritt für Schritt, wie man mit den auf dem Board vorhandenen CMOS-Bauteilen CD4060, CD4040 und CD4011, ein pulsierendes Signal auf einem Piezo-Summer generiert.

#### Erzeugung von Signaltönen

In unserem zweiten Anwendungsbeispiel für das DEB100 [1], [2] widmen wir uns der Erzeugung von akustischen Signaltönen mithilfe von Logikbausteinen. In vielen Schaltungen, ob nun analog oder digital, werden immer wieder Signaltöne benötigt, sei es zur Signalisierung oder als Alarm- bzw. Warnsignal.

Zweckmäßigerweise nimmt man als Schallgeber einen Piezosummer, der sehr kostengünstig und stromsparend ist. Solche Piezosummer, oder einfach Piezo genannt, gibt es in diversen Bauformen und Größen. Eines haben alle gemein: Sie sind keine Lautsprecher und können bauartbedingt nur einen sehr begrenzten Frequenzbereich wiedergeben. In der Regel haben Piezos eine Resonanzfrequenz im Bereich von ca. 2 bis 5 kHz, bei der die höchste Lautstärke erreicht wird. Aus diesem Grund sollte die Frequenz immer auf die Resonanzfrequenz angepasst sein, die in den technischen Daten angegeben wird.

Auf unserem DEB100-Board steht uns ein Piezo mit einer Resonanzfrequenz von 4,5 bis 5,5 kHz zur Ver-

fügung. Bild 1 zeigt diesen Piezo (PZ1) als mechanisches Bauteil mit zugehörigem Platinaufdruck.

Ein einfaches Rechtecksignal zur Ansteuerung für diesen Piezosummer zu erzeugen ist recht einfach. So ein Dauerton klingt allerdings langweilig und kann auch nervig sein. Wir wollen zeigen, wie man einen individuellen und pulsierenden Ton erzeugen kann, wie man ihn auch in kommerziellen Geräten verwendet. In solchen Geräten wird dafür ein Mikrocontroller verwendet, der beliebige Sequenzen erzeugen kann.



Bild 1: Piezosummer PZ1 mit Platinaufdruck

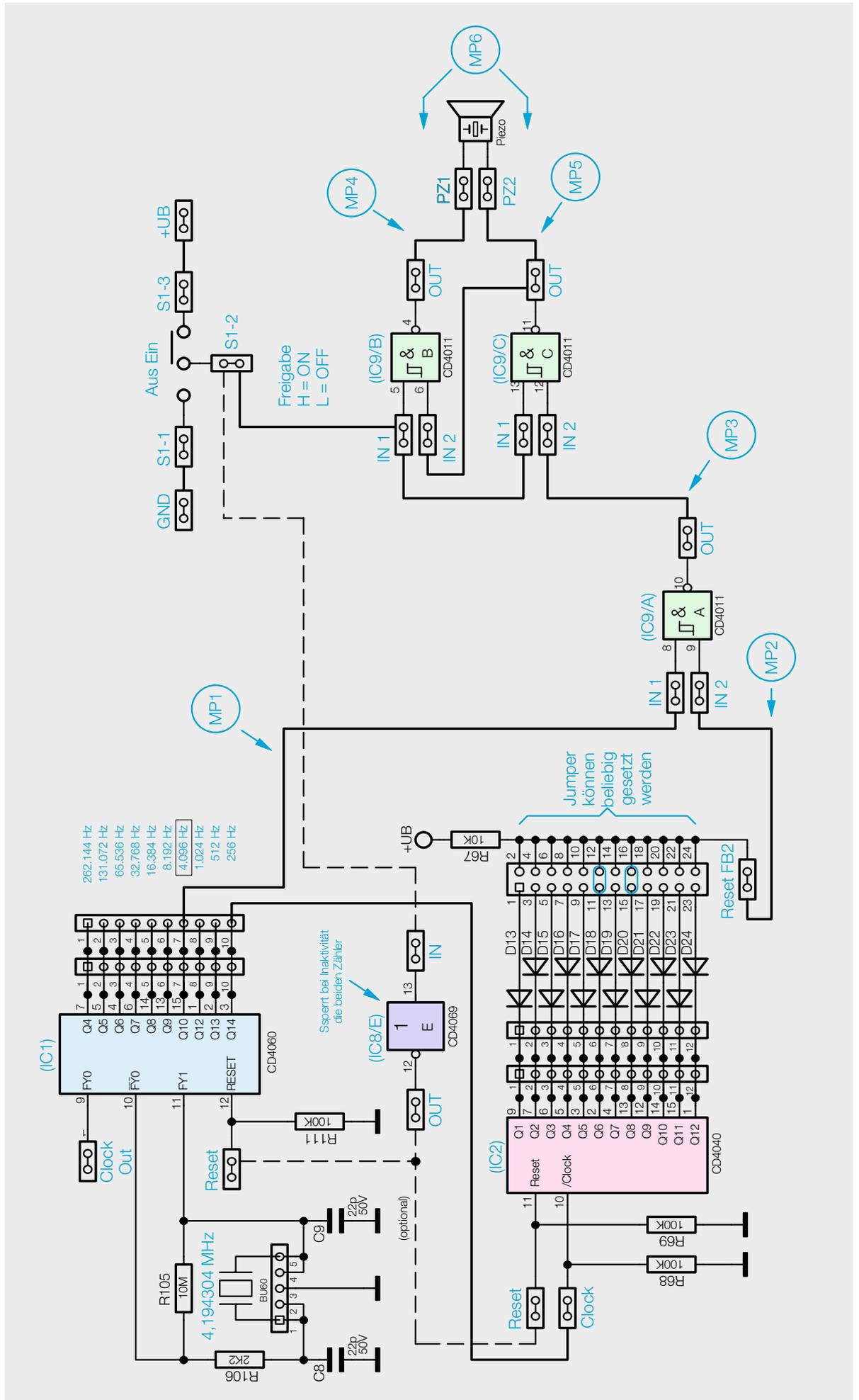


Bild 2: Schaltbild



Dass man mit einfachen Logikbausteinen und ohne Programmierkenntnisse auch professionell klingenden Signaltöne erzeugen kann, zeigt die folgende Beschreibung.

### Schritt 1: Frequenzerzeugung für den Piezo

Die Grundüberlegung ist erst einmal, dass wir einen Oszillator, d. h. ein schwingungsfähiges System, zur Frequenzerzeugung brauchen. Unser Piezo weist eine Resonanzfrequenz von 4,5 bis 5,5 kHz auf, die wir erzeugen müssen. Hierfür bietet sich der CD4060 an, bei dem neben einer Oszillatorschaltung auch gleich ein Binärteiler zur Verfügung steht.

Wenn der CD4060 mit dem beiliegenden Quarz von 4,194304 MHz betrieben wird, stehen uns ohne großen Aufwand zahlreiche Frequenzen an den Teilerausgängen – sprich Q4 bis Q14 (Q1–Q3 und Q11 werden nicht herausgeführt) – zur Verfügung.

Bei einem Binärteiler wird an jedem Ausgang die eingespeiste Taktrate (an „Clock“) jeweils um  $2^n$  geteilt. Das bedeutet beispielsweise, dass mit unserem Quarz am Ausgang Q4 eine Frequenz von  $4,194304 \text{ MHz}/(2^4) = 262,144 \text{ kHz}$  anliegt. In [Tabelle 1](#) sind alle verfügbaren Frequenzen an den Ausgängen dargestellt (Quarz = 4,194304 MHz).

**Ausgänge und Teilerfaktoren beim CD4060**

Ausgänge CD4060	Teilerfaktor	Ausgangsfrequenz bei $f_0 = 4,194304 \text{ MHz}$
Q4	16	262144 Hz
Q5	32	131072 Hz
Q6	64	65536 Hz
Q7	128	32768 Hz
Q8	256	16384 Hz
Q9	512	8192 Hz
Q10	1024	4096 Hz
Q11	2048	nicht herausgeführt!
Q12	4096	1024 Hz
Q13	8192	512 Hz
Q14	16384	256 Hz

Tabelle 1

**Ausgänge und Teilerfaktoren beim CD4040**

Ausgänge CD4040	Teilerfaktor	Ausgangsfrequenz bei Clock = 256 Hz
Q1	2	128 Hz
Q2	4	64 Hz
Q3	8	32 Hz
Q4	16	16 Hz
Q5	32	8 Hz
Q6	64	4 Hz
Q7	128	2 Hz
Q8	256	1 Hz
Q9	512	0,5 Hz
Q10	1024	0,25 Hz
Q11	2048	0,125 Hz
Q12	4096	0,0625 Hz

Tabelle 2

Am Teilerausgang Q10 ( $\text{Takt}/2^{10} = 1024$ ) liegt damit eine Frequenz von  $4,194304 \text{ MHz}/1024 = 4,096 \text{ kHz}$  an, die wir für die Ansteuerung unseres Piezos benutzen können (siehe [Bild 3](#), MP1). Durch weitere Maßnahmen könnten wir auch eine Frequenz von exakt 4,5 kHz generieren, was aber die Schaltung unnötig kompliziert machen würde. Eine geringfügige Abweichung von der Resonanzfrequenz zieht nur eine geringfügige Lautstärkereduzierung nach sich.

Mit diesem Signal von Ausgang Q10 könnten wir den Piezo bereits speisen – es würde ein (ständiger) Ton mit der generierten Schwingungsfrequenz ausgegeben werden.

### Schritt 2: Pulsierender Ton

Da wir einen pulsierenden Ton erzeugen wollen, der entsprechende Pausenzeiten beinhalten muss, benötigen wir weitere niedrige Frequenzen für diese Pausen. Daher wird mit dem CD4040 ein weiterer Binärteiler benutzt, dessen Takteingang („Clock“) mit dem Ausgang Q14 des CD4060 verbunden ist. Am Takteingang des CD4040 haben wir damit eine Frequenz von  $4,194304 \text{ MHz}/16384 = 256 \text{ Hz}$  anliegen, die wir mit den Teilerausgängen des CD4040 weiter heruntersetzen können. Welche Frequenzen hier zur Verfügung stehen, zeigt die [Tabelle 2](#).

Der entscheidende Punkt ist nun, diverse Ausgänge über eine UND-Funktion miteinander zu verknüpfen. Dafür nutzen wir die Wired-AND-Funktion mittels der Dioden D13 bis D24. Wie so eine Wired-AND-Logik funktioniert, ist im Abschnitt „CD4040 – 12-stufiger Binärteiler“ bei der Beschreibung zum DEB100 im ELVjournal 5/2019 [\[2\]](#) ausführlich beschrieben. Mittels Jumper (Steckbrücken, siehe Schaltbild [Bild 2](#)) können die Dioden auf den Anschluss „Reset FB2“ geschaltet werden. Für eine weitere Erklärung schauen wir uns das Impulsdiagramm in [Bild 3](#) an.

Wenn die Jumper Q6 und Q8 gesteckt sind, ergibt sich an Messpunkt MP2 ein Signal, das nur dann High wird, wenn beide Ausgänge gleichzeitig High-Pegel führen. Dies ist in [Bild 3](#) gelb hinterlegt dargestellt. Wir führen nun dieses an MP2 liegende Signal und das Oszillatorsignal mit einer Frequenz von  $\sim 4,1 \text{ kHz}$  (MP1) auf ein UND-Gatter (IC9/A) zusammen, besser gesagt auf ein NAND, denn der Ausgang ist negiert. Als Resultat erhalten wir ein 4,1-kHz-Signal, das periodisch wiederkehrt (MP3).

Durch andere Kombinationen der Ausgänge vom CD4040 können unterschiedlichste Sequenzen erzeugt werden. Dies hört sich wie folgt an: piep-piep – Pause – piep-piep – Pause usw. Hier ist Kreativität gefragt, alle Jumper an CD4040 können beliebig gesteckt werden, und man erhält somit auch unterschiedliche Tonsequenzen.

### Schritt 3: Spannungsverdopplung für eine höhere Lautstärke

Aufmerksame Leser werden sich jetzt fragen, warum geben wir dieses generierte Signal nicht einfach direkt auf den Piezosummer? Jetzt kommt die Spannungsverdopplung ins Spiel. Je höher die Signalspannung an einem Piezo, desto höher ist auch die Lautstärke. In z. B. Rauchmeldern ist eine möglichst hohe Lautstärke erwünscht. Die Versorgungsspannung limitiert aber die maximale Amplitude der Signalspannung. Bei analogen Audiosignalen wird eine Erhöhung der Signalspannung oft durch eine Brückenschaltung realisiert. Bei digitalen Signalen reicht ein zusätzlicher Inverter, um die Signalspannung am Piezo zu verdoppeln.

Schauen wir uns das im Schaltbild ([Bild 2](#)) genauer an. Da wir unser generiertes Ansteuersignal ein- und ausschalten möchten, benötigen wir eine zusätzliche UND-Funktion. Dies wird mit IC9/C erreicht, wobei ein High an IN 1 das Freigabesignal darstellt. Zur Demonstration haben wir diesen Eingang mit einem Umschalter (S1) verbunden. Am Ausgang des Gatters IC9/C sieht die Signalspannung unverändert aus, mit dem Unterschied, dass nur dann eine Signalspannung anliegt, wenn das Freigabesignal (Schalter S1) auf High liegt. Das Signal an MP5 ist zum einen direkt mit dem Piezo (PZ2) und zum anderen mit dem Eingang IN 2 des Gatters IC9/B verbunden. Mit IC9B wird die Signalspannung invertiert (MP4). Da der Piezo nicht gegen Masse oder UB, sondern zwischen den



beiden Gatterausgängen geschaltet ist, ergibt sich zwischen MP4 und MP5 eine doppelte Spannung, da beide Signale MP4 und MP5 gegenphasig sind. Dies ist im Diagramm (Bild 3) erkennbar. Einfach erklärt muss man sich das so vorstellen: Man nimmt eine Spannungsquelle, z. B. eine Batterie, und verbindet diese mit einem Piezosummer und polt dabei die Spannung periodisch um. Die Spannung der Batterie bleibt dabei immer gleich. Der Piezosummer sieht das ständige Umpolen zeitlich gesehen, als Spannungsverdopplung an.

Hier noch ein Hinweis: Ein Piezosummer bzw. der eigentliche Piezokristall mag keine dauerhafte Gleichspannung, da dies zu einer Schädigung führt. Daher wird das invertierte Signal (IC9/B) bei Nichtaktivität durch das Freigabesignal abgeschaltet und (ganz wichtig) auf dem gleichen Logiklevel gehalten wie der zweite Anschluss des Piezos. Da beide Ausgänge von IC9/B und IC9/C dann High-Pegel führen, ist die Differenz am Piezosummer deshalb 0 V. Dies sollte man bei Eigenentwicklungen immer beachten. Im Prinzip kann auch ein Koppelkondensator in Reihe zum Piezo verwendet werden, der die DC-Spannung blockt.

Das Freigabesignal wird in unserem Beispiel mit einem Schalter (S1) generiert. In der Praxis kann dieses Freigabesignal auch von einem anderen Schaltungsteil generiert werden. Mit dem Freigabesignal können auch der Oszillatorbaustein CD4060 und der Teiler CD4040 deaktiviert werden. Hierzu wird das Freigabesignal mit IC8/E invertiert und mit den

Reset-Eingängen beider ICs verbunden (siehe Bild 2). Dies ist optional und nicht zwingend erforderlich. Durch diese Maßnahme sinkt der Stromverbrauch auf nur wenige Mikroampere, was wichtig ist, falls man diese Schaltung in eigene Entwicklungen integrieren möchte. **ELV**



## Weitere Infos:

- [1] ELV Komplettbausatz  
Digital-Experimentierboard DEB100:  
Bestell-Nr. 153788
- [2] Vorstellung des DEB100 im ELVjournal:  
ELVjournal 4/2019: Best-Nr. 250937  
ELVjournal 5/2019: Best-Nr. 251006

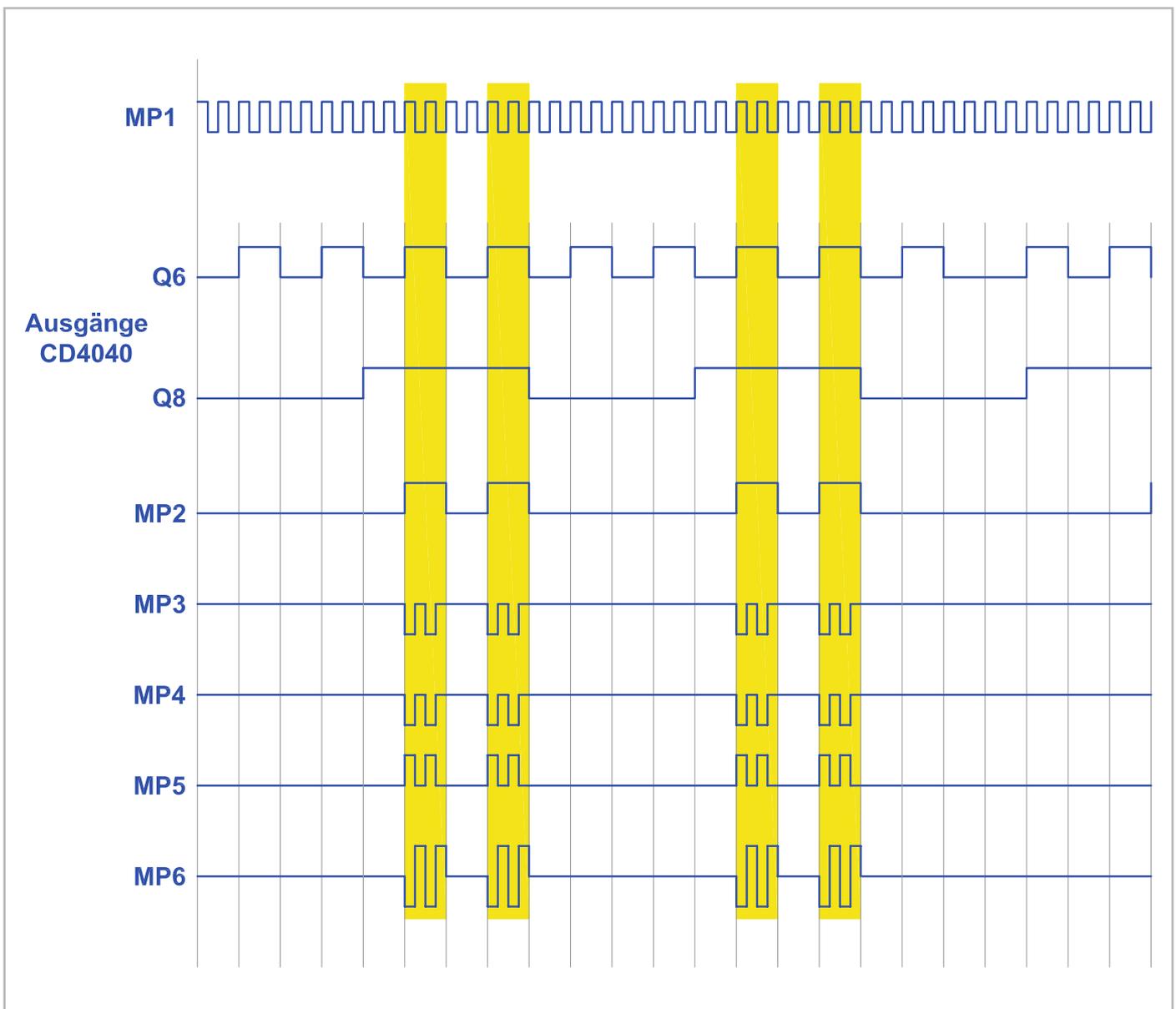


Bild 3: Impulsdiagramm