

555-Spiele

Elektronische Würfel

- LED-Würfel mit Ausrolleffekt
- LED-Würfel für Batteriebetrieb
 - LED-Würfel mit Stand-by-Anzeige
 - LED-Würfel, Variante ohne Stand-by-Anzeige
- LED-Würfel mit Johnson-Zähler und Einzel-FFs
 - Prinzip des 6-stufigen Johnson-Zählers mit Einzel-FFs
 - Würfel-Steuerung mit 3 DL074-FFs (Transistorkodierung)
 - Würfel-Steuerung mit 3 DL074-FFs (NAND-Kodierung)
 - Würfel-Steuerung mit 3 DL175-FFs (NAND-Kodierung)

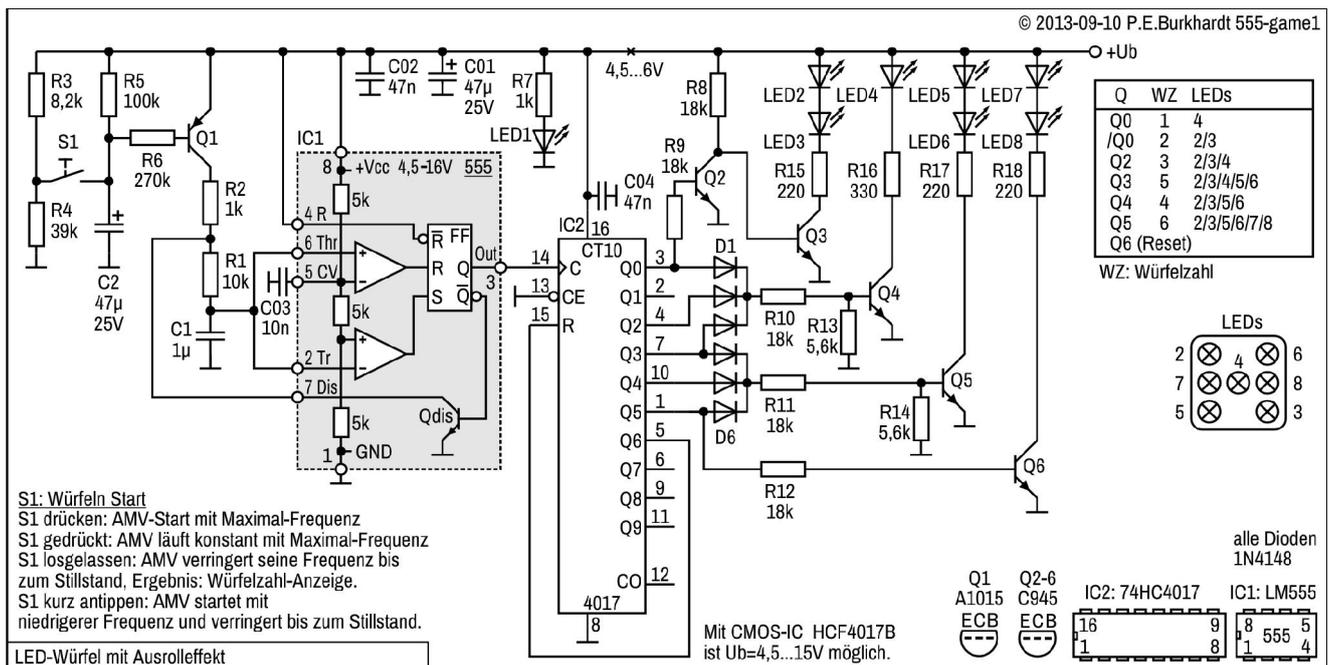
Elektronische Würfel

LED-Würfel mit Ausrolleffekt

Es ist schwierig, alle Eigenschaften eines Spielwürfels mit elektronischen Mitteln nachzubilden. Die folgende Schaltung realisiert zumindest ansatzweise das langsamer werdende Rollen eines geworfenen Würfels in Form einer langsamer werdenden LED-Anzeige bis zum Stillstand.

Eigenschaften

- LED-Anzeige der Würfelzahl in einer Ebene
- Start des Würfels mit Taste
- Ausrolleffekt (langsamer werdende Änderung der Würfelzahl bis zum Stillstand)
- Würfelzahl-Generator mit dem Zähler 4017
- Zähler-Takt-Generator mit dem 555



Schaltungsbeschreibung

Prinzip

Der 555-AMV (IC1) erzeugt die Taktfrequenz für den Würfelzahl-Generator, der mit dem dekadischen Zähler 4017 (IC2) realisiert ist. Die Zählerstände werden so dekodiert, dass sich mit den 7 LEDs alle Würfelzahlen darstellen lassen. Alle 7 LEDs sind dazu entsprechend den Würfelbildern in einer Ebene angeordnet.

Damit der Zähler nicht mit voller Geschwindigkeit gestartet und gestoppt wird, liefert der 555-Takt-Generator eine veränderliche Taktfrequenz. Die AMV-Frequenz ist nach Start mit Taste S1 am höchsten und verringert sich dann automatisch bis zum Stillstand, d.h. der 555 liefert keine Impulsfolge mehr, sondern nur noch H-Potential. In diesem Zustand zeigt der Zähler den zuletzt erreichten Zählerstand an, dieser entspricht dem Würfelergebnis, d.h. der angezeigten Würfelzahl.

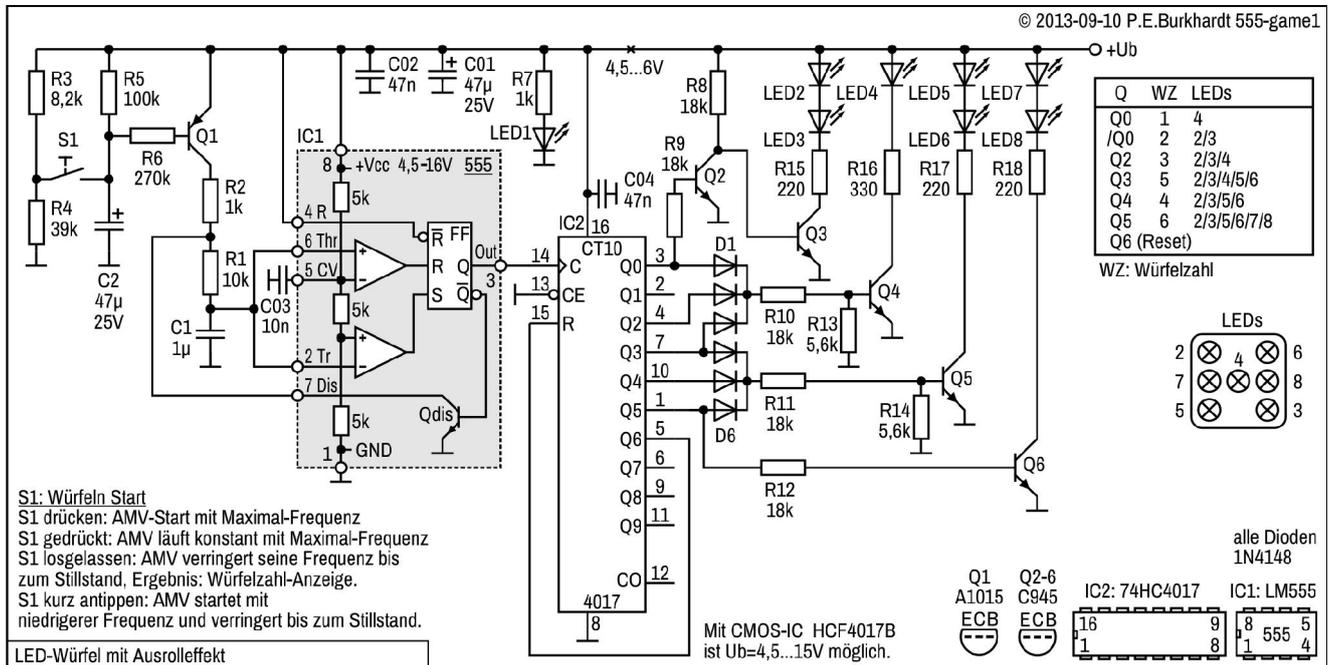
555-AMV mit veränderlicher Ladespannung - Wirkungsweise des Ausrolleffekts

Damit der 555 eine veränderliche Taktfrequenz liefern kann, wird der Ladewiderstand für den zeitbestimmenden Kondensator C1 mittels Transistor Q1 verändert. Dazu wird Q1 über R6 von der über Kondensator C2 stehenden Spannung gesteuert.

Normalerweise ist C2 über R5 auf +Ub aufgeladen. Dadurch ist Q1 gesperrt, der 555-AMV schwingt nicht, der Zähler zählt nicht und gibt den zuletzt vorhandenen Zählerstand aus. Die LEDs zeigen diesen Zählerstand statisch an. Dieser Zustand entspricht dem auf dem Tisch liegenden Würfel.

Wird Taste S1 geschlossen (wird also gewürfelt), entlädt sich Kondensator C2 auf die mit Spannungsteiler R3-R4 bestimmte Spannung. Dadurch wird Q1 teilweise leitend. Für die AMV-Frequenz wirken jetzt für das C1-Laden der Q1-Emitter-Kollektor-Widerstand, Widerstand R2 und Widerstand R1, für das C1-Entladen nur Widerstand R1. Der Zähler zählt, die LEDs zeigen nacheinander die im Bild dargestellten Würfelzahlen an. Mit anderen Worten, der Würfel rollt.

Da sich aber C2 über R5 langsam wieder auflädt (S1 ist offen), wird Q1 hochohmiger und die C1-Ladezyklen dauern länger. Das bedeutet, der 555 schwingt mit einer Frequenz, die immer kleiner wird. Das setzt sich solange fort, bis Transistor Q1 wieder sperrt und der 555 schließlich nicht mehr schwingt (555-2/3-Schwelle wird nicht mehr erreicht). Am 555-Ausgang bleibt permanent H-Potential, der Zähler stoppt ebenfalls, die LEDs zeigen den letzten Zählerstand an. Mit anderen Worten, der Würfel ist gefallen.



(Bild-Wiederholung)

Einflüsse auf die Start-Frequenz des 555-AMV

Bei Zuschalten der Betriebsspannung +Ub läuft der AMV mit seiner Maximalfrequenz an, da Q1 anfangs voll durchgesteuert ist und für die C1-Ladung die volle Betriebsspannung liefert. Q1 ist anfangs leitend, weil sich C2 erst von Null an über R5 aufladen muss. Diese maximale Frequenz wird von R2, R1 und C1 bestimmt. Die Würfelzahlen werden schnell nacheinander angezeigt (nicht einzeln sichtbar).

Mit zunehmender C2-Ladung über R5 wird die AMV-Maximalfrequenz bis zum AMV-Stop verringert. Diese beim Ub-Einschalten wirksame Zeit von der Maximalfrequenz bis zum AMV-Stop ist relativ lang, d.h. der Würfel rollt lange.

Wird dagegen das Würfeln mit Taste S1 gestartet, hängt es von der Dauer des Tastendrucks ab, wie weit C2 auf das von R3-R4 bestimmte Potential entladen wird. Wird die Taste ca. 1 Sekunde oder länger gedrückt, läuft die Würfelanzeige entsprechend der von R3-R4 bestimmtem Spannung.

Wird S1 nur ganz kurz gedrückt, kann sich C2 nicht so schnell über R4 entladen. Die Start-Frequenz ist entsprechend niedriger, die Würfelzahl-Änderung ist langsamer und die Anzeige kommt nach wenigen Würfelzahl-Änderungen zum Stillstand.

Dekadischer Zähler 4017

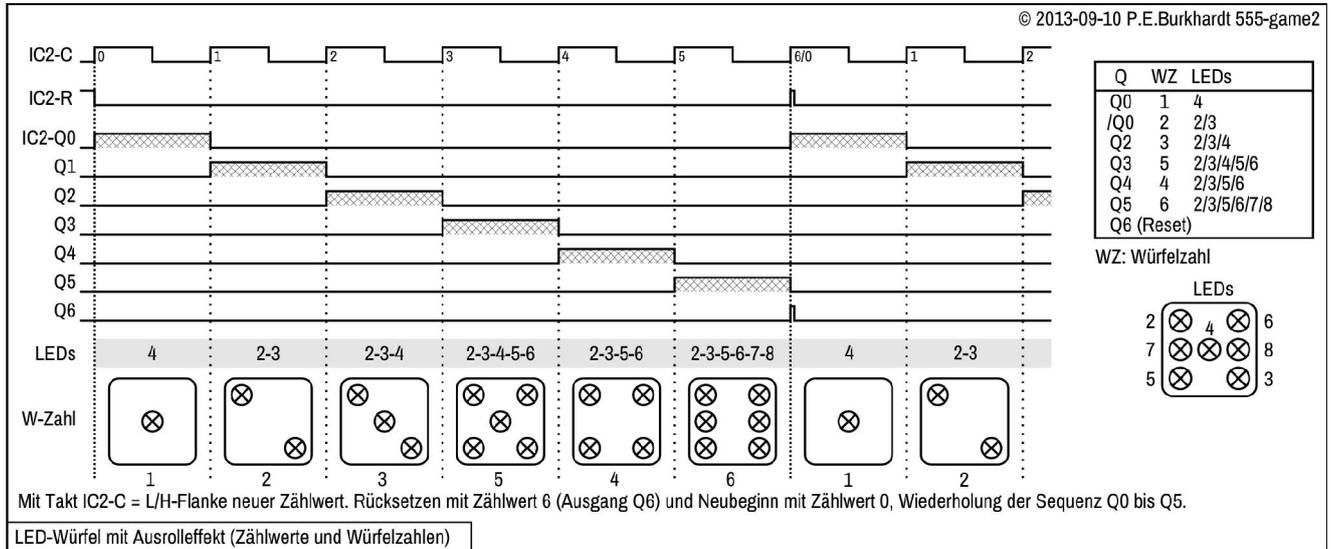
Der 4017 ist ein fünfstufiger dekadischer Johnson-Zähler. Er zählt mit jeder steigenden Flanke am Takteingang C um einen Schritt weiter. Bedingung ist, dass die Zählfreigabe CE (Clock Enable) auf GND liegt. Jeder Zählerstand 0 bis 9 wird im 1-aus-10-Code ausgegeben. Dabei liegt der jeweilige dem Zählerstand entsprechende Ausgang Q auf High-Potential, alle anderen Q-Ausgänge führen Low-Potential. Der Takteingang C hat Schmitt-Trigger-Eigenschaften, d.h. die Flankensteilheit der Zählimpulse spielt keine Rolle.

In der Schaltung werden nur die Zählerstände 0 bis 5 für die Würfelzahl-Anzeige genutzt, Zählerstand 6 dient dem Zurücksetzen des Zählers und tritt nur ganz kurz auf. Damit das so funktioniert, ist Ausgang Q6 mit dem Reset-Eingang R verbunden. Sobald Q6 auf H geht, wird der Zähler zurückgesetzt und Q0 wird H (Zählerstand 0).

Als Zähler reicht die Geschwindigkeit des CMOS-Typs HCF4017B völlig aus. In der Schaltung kann dann die Betriebsspannung +Ub maximal 15 V betragen. Wird der schnellere 74HC4017 eingesetzt (wie im Schaltbild angegeben), darf aber +Ub nur maximal 6 V betragen. Die restliche Schaltung funktioniert im gesamten Betriebsspannungsbereich des bipolaren LM555 (4,5 bis 16 V).

Wirkungsweise im Diagramm

Der Zusammenhang Zählerstand (oder auch Zählwert) zur zugehörigen LED-Anzeige geht aus dem folgenden Impulsdigramm hervor.



Wichtig ist die Zuordnung der LED-Nummer zum Anzeige-Bild des Würfels im Zusammenhang mit der Tabelle, aus der die Zuordnung der Zählerstände zu den LED-Nummern hervorgeht (rechts im Diagramm).

Kodierung (Umkodierung) der Zählerstände zur LED-Anzeige

Wie beschrieben durchläuft der Zähler die Ausgangs-Zustände Q0 bis Q5 in ständiger Wiederholung bis zum Stillstand. Die Reihenfolge stimmt aber nicht mit den Würfelzahlen überein. Es gibt zwei Besonderheiten.

Die LEDs 2 und 3 leuchten bei allen Würfelzahlen außer der Würfelzahl 1 (siehe Tabelle rechts im Bild). Deshalb werden nicht die Zählerstände Q1 bis Q5 zur Anzeige der LEDs 2 und 3 kodiert, sondern es werden Zählerstand Q0 mit Transistor Q2 negiert und mit diesem Signal die LEDs 2 und 3 über Transistor Q3 angesteuert. Es wird also dafür gesorgt, dass die LEDs 2 und 3 immer leuchten, nur nicht bei Zählerstand Q0. Deshalb ist auch der Ausgang Q1 nicht angeschlossen, der ja normalerweise für die Würfelzahl 2 zuständig wäre (nur LEDs 2 und 3).

Die zweite Besonderheit ist, dass die Zuordnung der Würfelzahlen 4 und 5 nicht mit den Zählerständen Q3 und Q4 korrespondieren sondern vertauscht sind. Dadurch vereinfacht sich die Kodierung.

Den größten Teil der Kodierung erledigen die Dioden D1 bis D6. Soll bei einem bestimmten Zählerstand eine bestimmte LED leuchten, wird das H-Potential des entsprechenden Zählerausgangs über eine Diode an die Basis des zuständigen Treibertransistors geleitet. Beispiel: LED 4 soll lt. Tabelle bei Zählerstand Q2 leuchten, dies erledigt Diode D2.

Transistor Q6 ist für LED 7 und 8 zuständig und wird nur bei Zählerstand Q5 angesteuert (Würfelzahl 6). Deshalb ist eine Diode vom Q5-Ausgang zum Q6-Basiswiderstand R12 nicht erforderlich.

Fazit

Die Würfelschaltung ist durch den realisierten Ausrolleffekt etwas interessanter als viele LED-Würfel, die im Web zu finden sind. Allerdings bleiben besonders für den Batteriebetrieb einige Wünsche offen: geringer Stromverbrauch, geringe Batteriespannung, Selbstabschaltung bei Nichtgebrauch, Würfeln mit Berührungstaste, Pausen zwischen den Würfelzahl-Anzeigen u.ä.

LED-Würfel für Batteriebetrieb

Die folgenden Würfelschaltungen wurden speziell für Batteriebetrieb optimiert, d.h. sie arbeiten in einem weiten Betriebsspannungsbereich bei gleichzeitig geringer Stromaufnahme.

Die erste Schaltung enthält eine stromarme Stand-by-Anzeige, damit das Ausschalten mit dem zusätzlichen Power-ON-Schalter nicht vergessen wird. Die zweite Schaltung ist ohne Stand-by-Anzeige, dafür aber mit einem induktiven AC-Summer, der etwas mehr Strom braucht als die Piezo-Scheibe in der ersten Schaltung.

LED-Würfel mit Stand-by-Anzeige

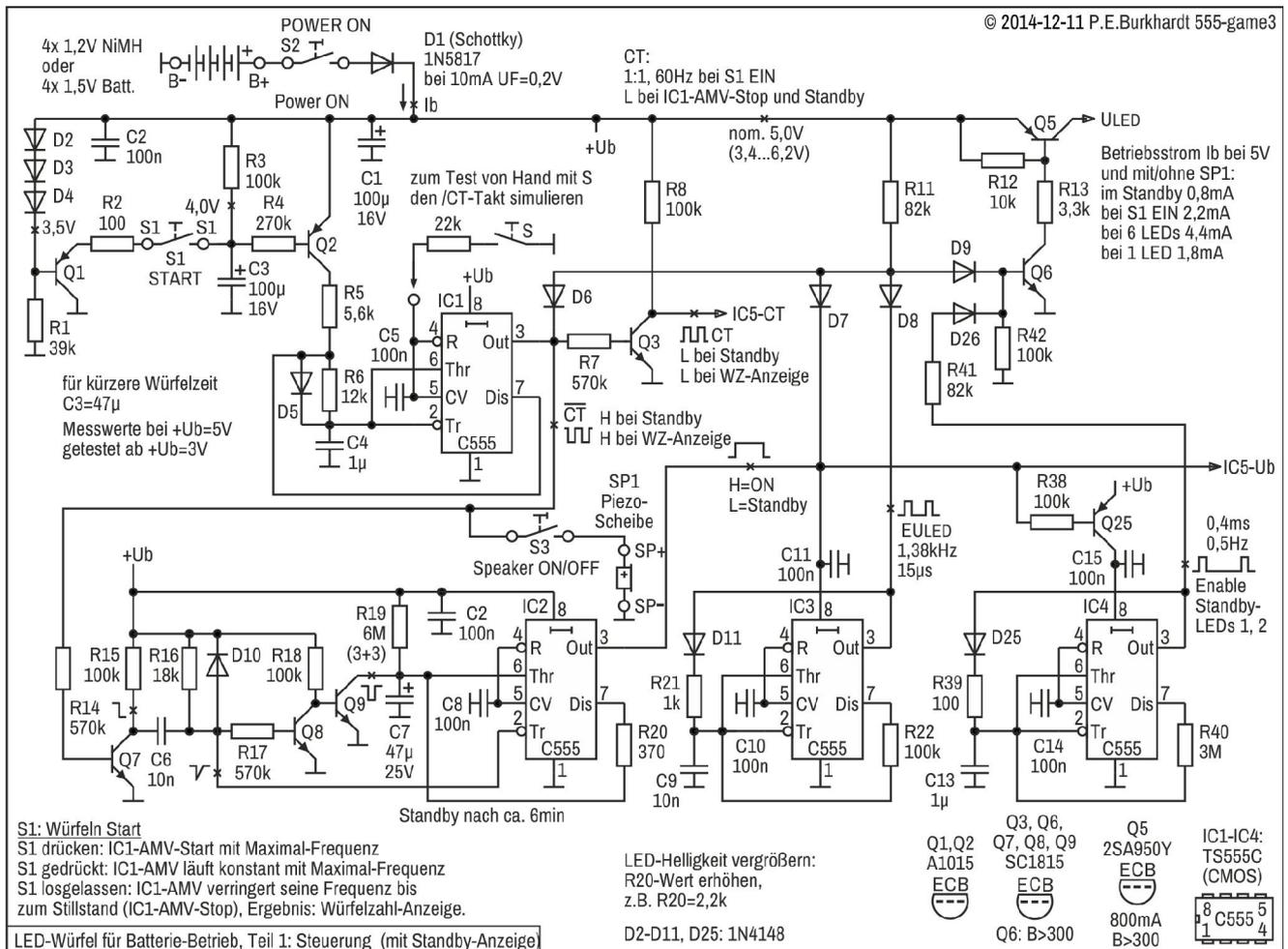
Der Aufwand für diesen Würfel scheint hoch. Es werden aber trotz einfachster Standard-Bauelemente (ohne PIC) gute Eigenschaften erreicht.

Eigenschaften

- 7-LED-Anzeige der Würfelzahl in einer Ebene
- Gepulster LED-Strom für große Helligkeit bei geringer Batteriebelastung
- Effiziente LEDs (aus Beleuchtungstechnik) mit Stromquellentreiber
- Start des Würfels mit Taste und Ausrolleffekt
- Unterstützung des Würfelleffekts durch Piezo-Sound, abschaltbar
- Automatische Stand-by-Schaltung in Würfelpausen (nach ca. 6 min)
- Stand-by-Blink-Anzeige mit geringem Stromverbrauch
- Lange Laufzeit durch große Batterie-Kapazität (4x AA), zusätzlich Ausschalter
- Generatoren mit 4x CMOS-555, Zähler mit 1x 4017, 23 Transistoren



Würfel-Steuerung

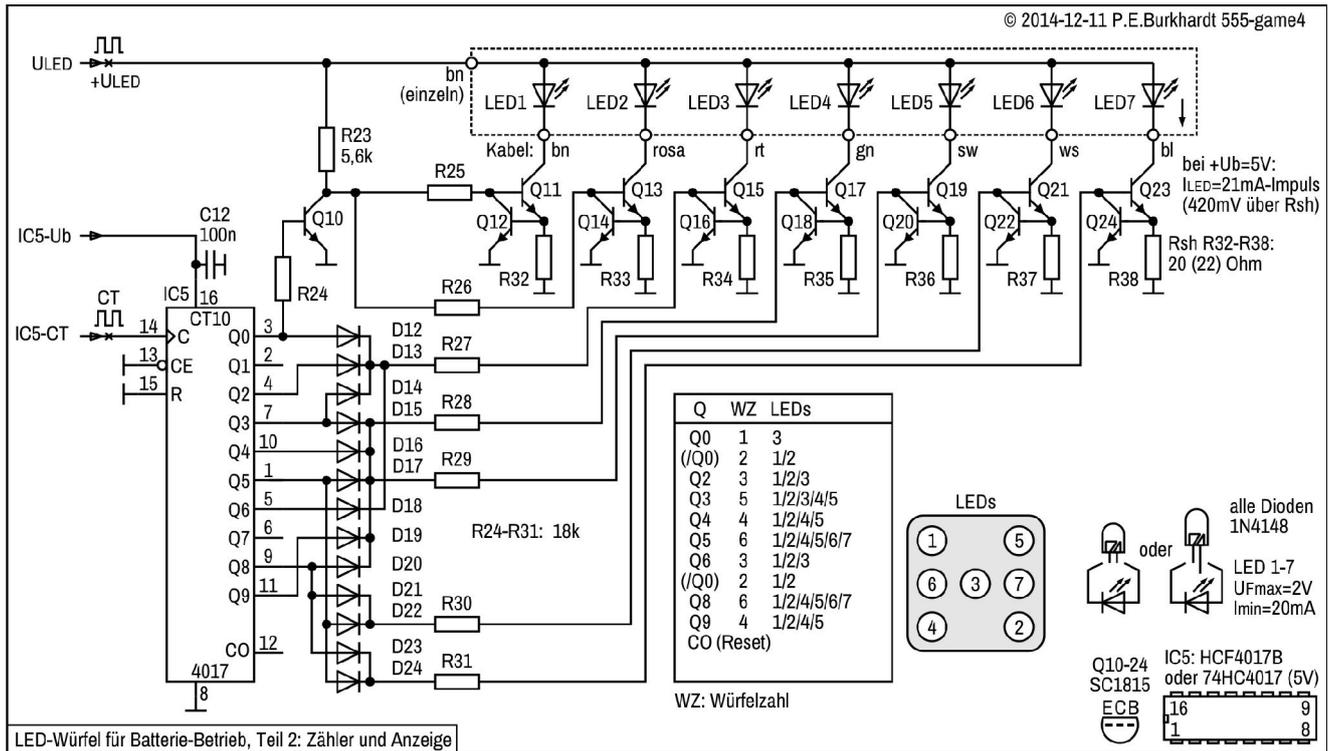


Schaltungsteile Steuerung

- Batterieversorgung mit Power ON (S2) und Schottky-Schutzdiode D1
- Würfel-Start und Ladeschaltung (Q1, Q2, S1) für den Taktgenerator (555-AMV, IC1)
- Schaltstufe mit Treiber (Q5, Q6) zur Taktung der LED-Versorgung
- 555-Taktgenerator (IC3) zur Pulssteuerung der Würfel-LEDs
- Triggersignal-Generierung (Q7, Q8, Q9) für das 555-Monoflop (IC2) zur verzögerten Stand-by-Einschaltung
- 555-AMV (IC4) mit Schaltstufe Q25 zur Ansteuerung der Stand-by-Anzeige-LEDs
- Piezo-Scheibe Speaker SP1 zur akustischen Untermalung des Würfel-Rollens, abschaltbar mit S3

Zähler und Anzeige

Das folgende Bild zeigt den Zähler und die LED-Ansteuerung. Die Signale ULED, IC5-Ub, IC5-CT und GND kommen vom Schaltungsteil Steuerung (voriges Bild).



LED-Würfel für Batterie-Betrieb, Teil 2: Zähler und Anzeige

Schaltungsteile Zähler und Anzeige

- Dekadischer Zähler 4017 (IC5) mit durchlaufendem H-Signal (Q0 bis Q9) als Würfelzahl-Generator
- Kodiernetzwerk mit den Dioden D12 bis D24 zur Bildung der LED-Ansteuersignale
- LED-Treiber mit Strombegrenzung (Q11 bis Q24) zur spannungsunabhängigen LED-Versorgung
- Negator mit Transistor Q10 zur Auswertung des Q0-Signals für die Würfelzahlen 1 und 2

Schaltungsbeschreibung

Funktionsprinzip

Ein 555-AMV (IC1) liefert für den dekadischen Johnson-Zähler 4017 (IC5) den Zähltakt IC5-CT. Die Zähler-Ausgänge Q0 bis Q9 werden mit jedem Zähltakt der Reihe nach auf H gelegt. Die Zählerausgänge sind mit dem Diodennetzwerk D12 bis D24 so kodiert, dass sich bei jedem Takt das passende Ansteuersignal für die 7 Würfel-LEDs ergibt. Dabei entstehen nacheinander in schneller Folge die Würfelzahlen 1 bis 6.

Zur Simulation des Würfels muss der Takt anfangs schnell, dann aber langsamer werdend bis zum Stopp dem Zähler zugeführt werden. Bei Stopp ist dann die Würfelzahl gültig. Die Änderung der Taktgeschwindigkeit geschieht mit Transistor Q2, der die Ladespannung für Kondensator C4 und somit die Frequenz des IC1-AMV bis zum Stopp verringert.

Zur Untermalung des Würfels wird mit dem Zählertakt eine Piezoscheibe angesteuert, so dass sich ein entsprechendes Knackern ergibt (ähnlich dem Würfelgeräusch auf einem Tisch).

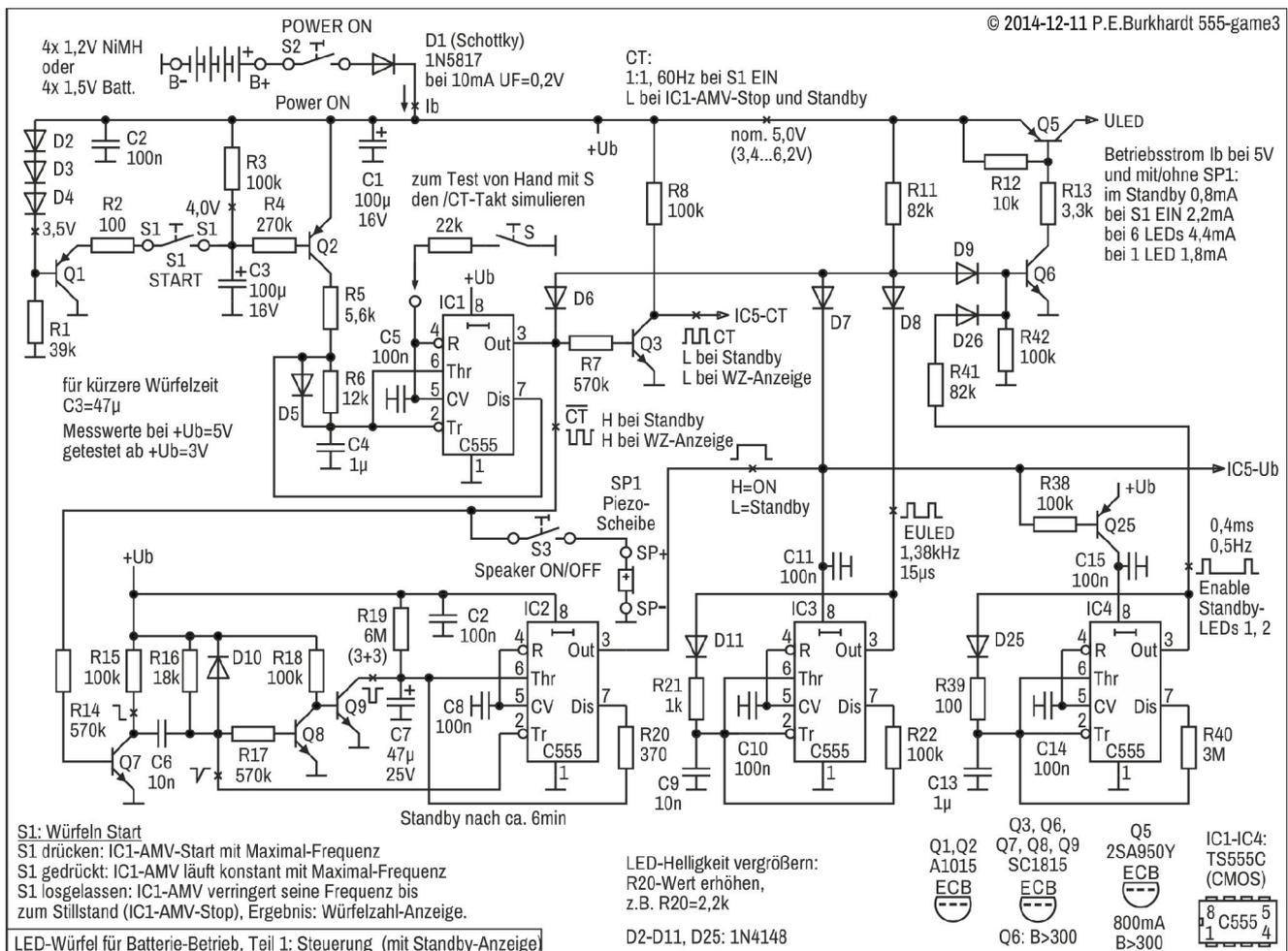
Für den stromsparenden LED-Betrieb sind weiterhin ein Generator zur Taktung der LED-Versorgung (555-AMV IC3), ein Monoflop für die Wartezeit bis zum Stand-by-Betrieb (555 IC2), ein Blink-Generator für die Stand-by-LED-Anzeige (555-AMV IC4) und die Torschaltung mit einigen Dioden (D6 bis D9, D26) erforderlich.

Batterieversorgung und Stromaufnahme

Die Batterieversorgung ist großzügig dimensioniert. Verbunden mit der geringen Stromaufnahme ist ein Batteriewechsel nur selten nötig. Der Batteriehalter nimmt 4 Mignon-Zellen auf, wahlweise 1,5V-Batterien oder NiMH-Akkus. Da die Schaltung noch mit weniger als 3 V auskommt, werden Batterien sehr gut ausgenutzt. Sind Akkus eingesetzt, muss eine Tiefentladung verhindert werden. Eine Unterspannungsüberwachung existiert nicht, wäre aber bei Akkus durchaus angebracht.

Mit Power-ON-Schalter S2 ist das Gerät komplett abschaltbar. Die Schottky-Diode D1 schützt vor Falschpolung. Der Spannungsverlust beträgt je nach Betriebszustand nur 0,15 bis 0,2 V.

Im Stand-by-Betrieb beträgt die Stromaufnahme nur 0,8 mA, bei Dauerzählen (S1 permanent gedrückt) fließen 2,2 mA. Wird die Würfelzahl 6 angezeigt, fließen maximal 4,4 mA. Die Werte beziehen sich auf eine nominale Betriebsspannung von 5,0 V. Diese niedrigen Stromwerte wurden einerseits durch Einsatz von CMOS-ICs, andererseits aber auch schaltungstechnisch durch die Impulssteuerung und die Stand-by-Funktion erreicht.



(Bild-Wiederholung)

Würfel-Start mit Taste S1, Ladeschaltung

Damit der 555 eine veränderliche Taktfrequenz liefern kann, wird der Ladewiderstand für den zeitbestimmenden Kondensator C4 mittels Transistor Q2 verändert. Dazu wird Q2 über R4 von der über Kondensator C3 stehenden Spannung gesteuert.

Normalerweise ist C4 über R3 auf +Ub aufgeladen. Dadurch ist Q2 gesperrt, der 555-AMV schwingt nicht, der Zähler zählt nicht und verharrt beim zuletzt vorhandenen Zählerstand. Die LEDs zeigen diesen Zählerstand an. Dieser Zustand entspricht dem auf dem Tisch liegenden (ausgerollten) Würfel.

Wird Taste S1 geschlossen (wird also gewürfelt), entlädt sich Kondensator C3 auf eine Spannung, die von den Dioden D2-D3-D4 und Widerstand R1 bestimmt wird (abzüglich der Q1-Basis-Emitter-Spannung). Dadurch wird Q2 teilweise leitend. Für die AMV-Frequenz wirken jetzt für das C4-Laden der Q2-Emitter-Kollektor-Widerstand, Widerstand R5 und die Diode D5, für das C4-Entladen nur Widerstand R6. Der Zähler zählt, die LEDs zeigen nacheinander die Würfelzahlen an. Mit anderen Worten, der Würfel rollt.

Nach dem Öffnen der Taste S1 lädt sich C3 über R3 langsam wieder auf. Q2 wird hochohmiger und die C4-Ladezyklen dauern länger. Das bedeutet, der 555 schwingt mit einer Frequenz, die immer geringer wird. Das setzt sich solange fort, bis schließlich Transistor Q2 wieder sperrt und der 555 nicht mehr schwingt. Die 555-2/3-Schwelle wird nicht mehr erreicht. Am 555-Ausgang bleibt permanent H-Potential. Wegen dem Negator mit Q3 bleibt das Zähler-Taktsignal IC5-CT auf L, der Zähler stoppt. Die LEDs zeigen den letzten Zählerstand an. Mit anderen Worten, der Würfel ist gefallen.

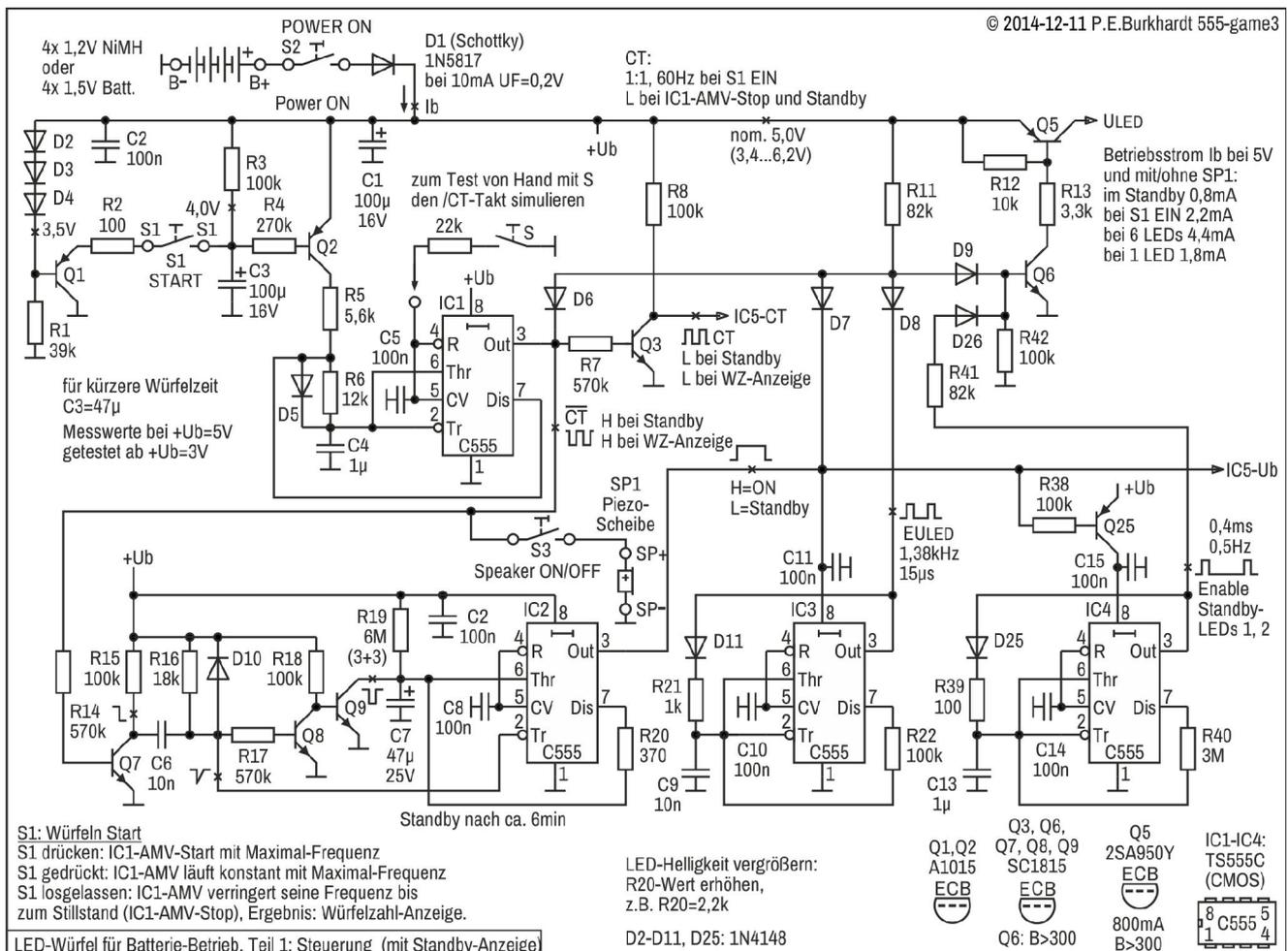
Einflüsse auf die Start-Frequenz des 555-Taktgenerators (IC1)

Bei Zuschalten der Betriebsspannung +Ub läuft der AMV mit seiner Maximalfrequenz an, da Q2 anfangs voll durchgesteuert ist und für die C4-Ladung die volle Betriebsspannung liefert. Q2 ist anfangs leitend, weil sich C3 erst von Null an über R3 aufladen muss. Diese maximale Frequenz wird von R5, R6 und C4 bestimmt. Die Würfelzahlen werden schnell nacheinander angezeigt (nicht einzeln sichtbar).

Mit zunehmender C4-Ladung über R5 wird die AMV-Maximalfrequenz bis zum AMV-Stopp verringert. Diese beim Ub-Einschalten wirksame Zeit von der Maximalfrequenz bis zum AMV-Stopp ist relativ lang, d.h. der Würfel rollt lange.

Wird dagegen das Würfeln mit Taste S1 gestartet, läuft der 555-AMV zunächst mit einer Frequenz, die vom Q2-Widerstand bestimmt wird. Maßgebend ist die Spannung über C3 (ca. 4 V). Dieser Zustand wird beim S1-Drücken schnell erreicht, da Q1 die Spannung von der Q1-Basis (ca. 3,5 V) gewissermaßen sofort auf C3 überträgt. Widerstand R2 dient nur zur Strombegrenzung bei diesem Ausgleichsvorgang.

Nach dem Loslassen der Taste S1 wird Q2 hochohmiger. Die Taktfrequenz verringert sich bis Null, der Zähler (IC5) steht und die dementsprechende Würfelzahl wird angezeigt.

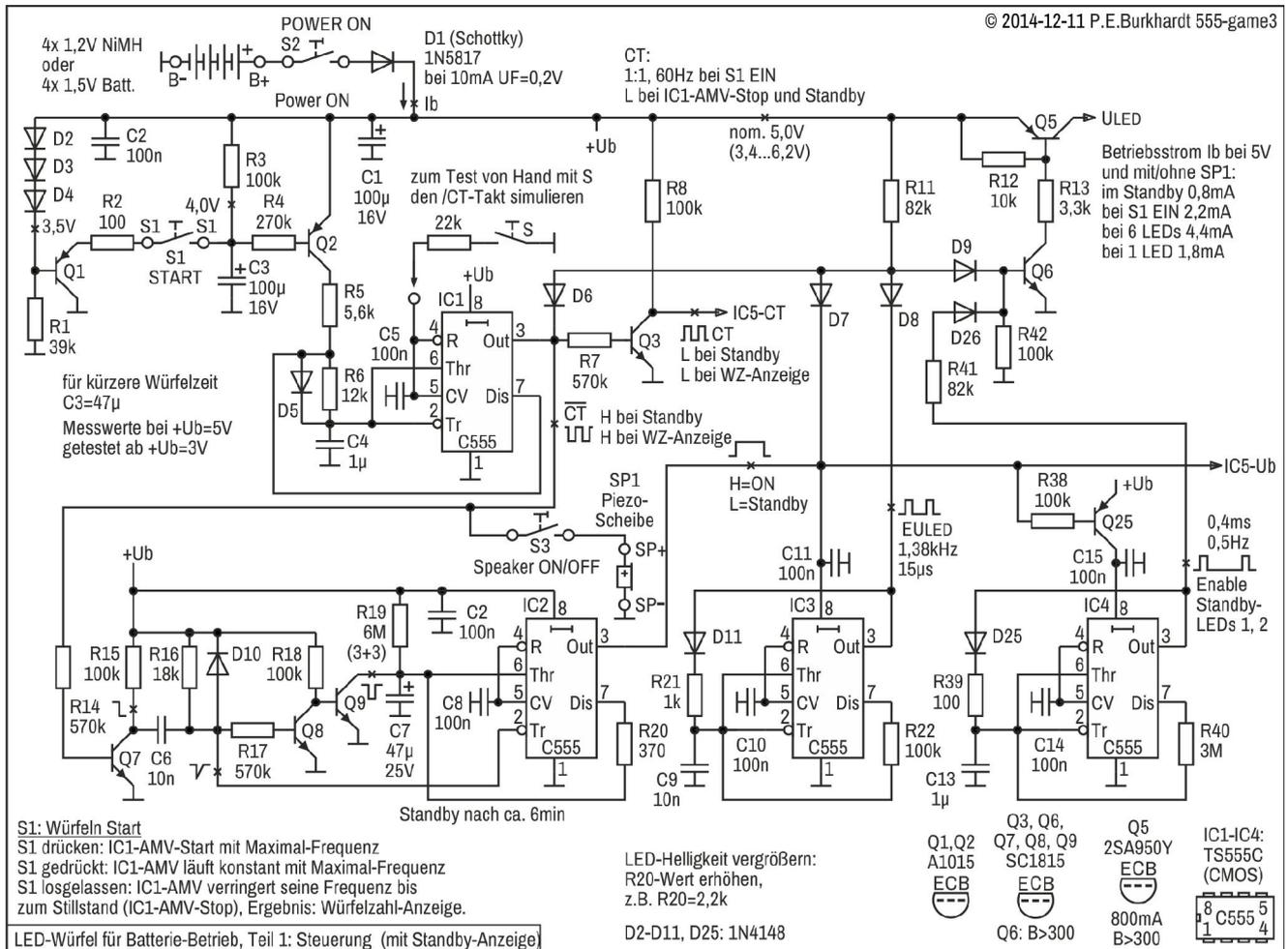


(Bild-Wiederholung)

Schaltstufe mit Treiber (Q5, Q6), Taktung der LED-Versorgung

Die hohe Leuchtkraft der LEDs bei geringer Stromaufnahme wird durch LEDs mit hoher Effizienz in Verbindung mit der Impulssteuerung erreicht. Über die Schaltstufe mit Transistor Q5 wird die Batteriespannung getaktet. Alle LEDs erhalten nun nur noch kurze Impulse, brauchen im Mittel relativ wenig Strom und leuchten trotzdem relativ hell.

Schaltstufe Q5 wird vom Treiber Q6 angesteuert. Ist Q6 gesperrt, ist auch Q5 gesperrt, alle LEDs bleiben dunkel. Über die Dioden D6 bis D9 und D26 wird Transistor Q6 immer dann aufgesteuert, wenn die LEDs leuchten dürfen. Welche LED dann letztendlich wirklich leuchtet, wird vom Zählerstand des 4017-Zählers und dem Kodiernetzwerk (Dioden D12 bis D24) bestimmt.



(Bild-Wiederholung)

Taktgenerator der LED-Versorgung (IC3)

Sobald die Stand-by-Leitung inaktiv ist und H führt, ist damit auch für den LED-Taktgenerator (555-AMV IC3) die Betriebsspannung vorhanden. Der LED-Taktgenerator arbeitet mit ca. 1,4 kHz und liefert sehr kurze H-Impulse. Während der langen L-Zeiten wird über D8 der Treiber Q6 gesperrt und somit die LED-Versorgung mit Q5 gesperrt, die LEDs bleiben dunkel. Während des kurzen H-Impulses fällt diese Sperre weg, die LEDs können leuchten.

Frequenzbestimmend für die LED-Taktung sind R21, R22 und C9. C9 wird über D11-R21 schnell aufgeladen, das ergibt eine kurze H-Zeit am 555-Ausgang. Die C9-Entladung erfolgt mittels des 555-internen Discharge-Transistors (Pin 7) über den wesentlich größeren Widerstand R22. Das C9-Entladen dauert entsprechend lange. Während des Entladens liegt der 555-Ausgang auf L, d.h. D8 ist leitend, Q6 und Q5 sind gesperrt, die LEDs bleiben dunkel. Diode D11 entkoppelt den C9-Ladepfad vom C9-Entladepfad.

Triggersignal-Generierung (Q7, Q8, Q9) für das nachtriggerbare 555-Monoflop (IC2) zur verzögerten Stand-by-Einschaltung

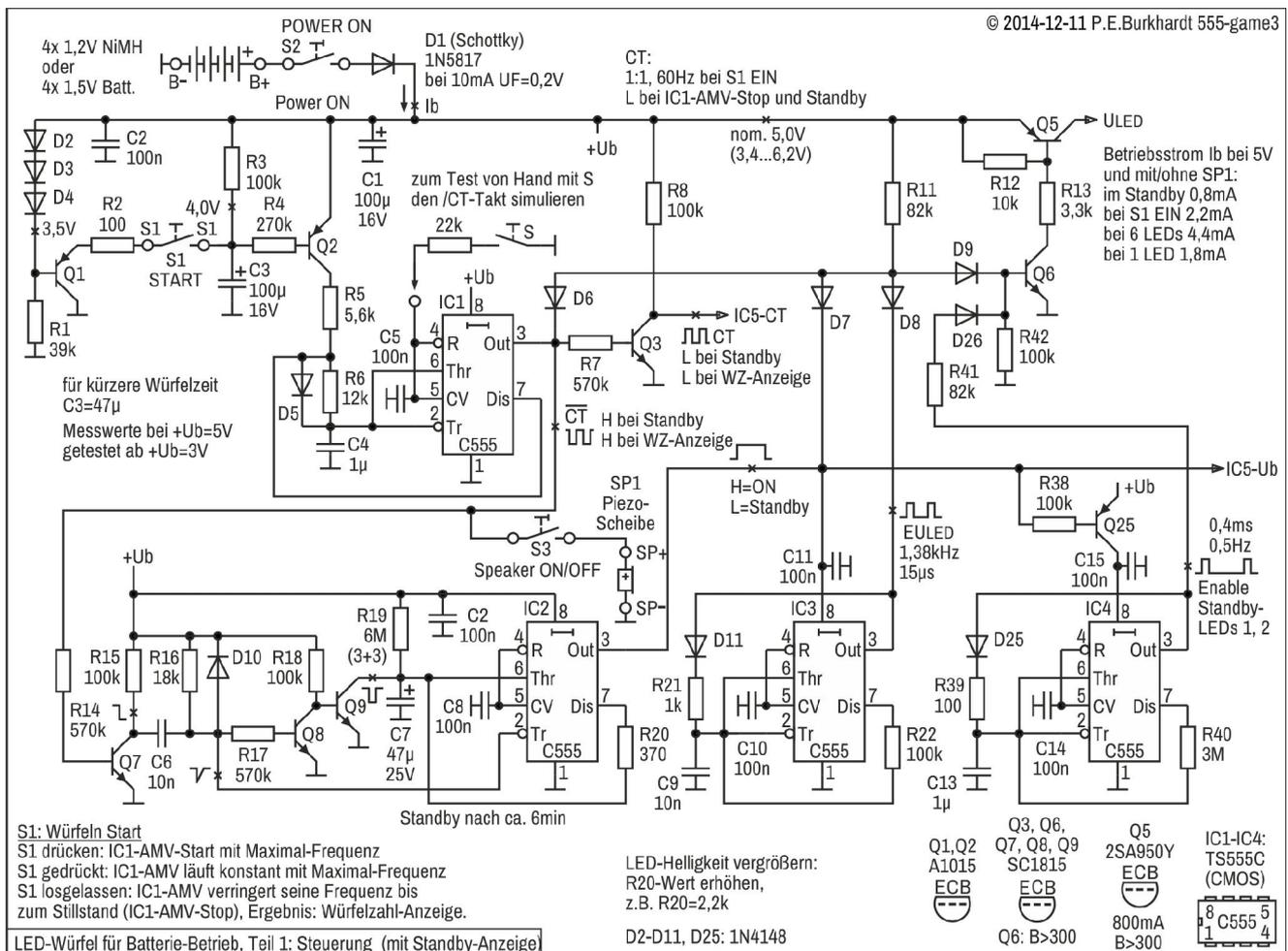
Mit jeder positiven Taktflanke des Zähler-Taktgenerators (Pin 3 von IC1) wird mittels Q7, Q8 und Q9 ein Triggersignal für das 555-Monoflop IC2 erzeugt. Die Haltezeit des Monoflops wird dementsprechend immer wieder verlängert und der IC2-Ausgang (Pin 3) bleibt auf H. Dieses H bedeutet ON, ein L auf dieser Stand-by-Leitung bedeutet Stand-by.

Wenn die Triggerimpulse ausbleiben, d.h. der Zähler-Taktgenerator liefert keine Impulse, d.h. auch Start-Taste S1 wurde lange nicht gedrückt und die Würfelzahl wird schon längere Zeit mit den LEDs angezeigt, wird die Haltezeit des Monoflops nicht verlängert. Nach ca. 6 min schaltet der IC2-Ausgang auf L und damit das Gerät in den Stand-by-Modus.

Im Stand-by-Modus ist die LED-Versorgung über D7/Q6/Q5 abgeschaltet. Außerdem ist die Zähler-Betriebsspannung (IC5-Ub) abgeschaltet. Ebenso liegt der Takteingang Pin 14 des Zählers auf L. Damit das so ist, wurde der Negator Q3 eingefügt, denn der IC1-Ausgang führt ja bei Stand-by und bei Würfelzahl-Anzeige ein H. Währe am Zähler-Takteingang Pin 14 ein H und die Zähler-Betriebsspannung abgeschaltet, würden 4017-intern Ausgleichsströme fließen, die nicht erlaubt sind. Generell sollen digitale CMOS-ICs an den Eingängen kein H führen, wenn die Betriebsspannung dieser ICs fehlt.

Die Triggersignal-Generierung mit Q7 bis Q9 ist relativ hochohmig ausgeführt (wie übrigens auch an allen anderen Stellen der Schaltung, wo dies möglich ist), um Betriebsstrom zu sparen. Der H/L-Sprung am Q7-Kollektor führt wegen C6 und R16 zum negativen Triggerimpuls am 555-Trigger-Eingang Pin 2. Die ebenfalls entstehende positive Nadel an diesem Punkt beim Q7-Kollektor-L/H-Übergang wird mit Diode D10 abgeschnitten.

Gleichzeitig mit dem Triggersignal sperrt Q8, dadurch steuert Q9 durch und entlädt somit den Kondensator C7, der zusammen mit R19 die nominale Monoflop-Haltezeit bestimmt. Das heißt, mit jedem Triggerimpuls (d.h. mit jedem S1-Tastendruck bzw. IC1-Würfel-Taktsignal) wird C7 entladen und die Haltezeit beginnt neu, da sich C7 wieder über R19 aufladen muss.

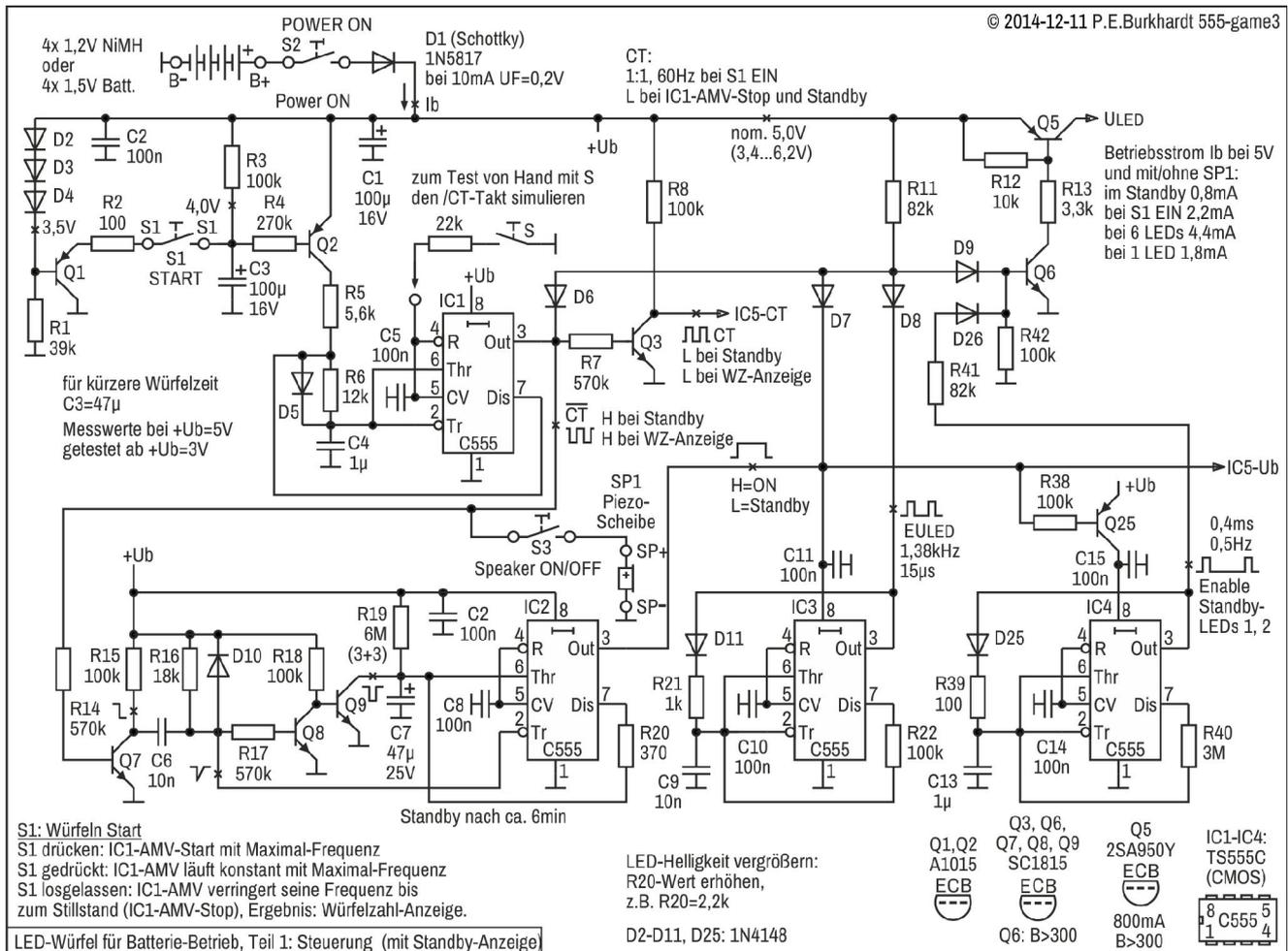


(Bild-Wiederholung)

Die Verzögerung bis zum Stand-by wurde relativ lang gewählt, soll doch die Anzeige des Würfel-Ergebnisses beim Spiel eine Weile sichtbar sein. Der Stand-by-Modus wird durch blinkende LEDs angezeigt, was eigentlich Stromverschwendung ist, aber nur ca. 0,1 mA kostet. Die Stand-by-Anzeige fordert aber auf, das Gerät per Power-ON-Schalter S2 ganz abzuschalten. Ohne die Stand-by-Anzeige bliebe der Stand-by-Modus unbemerkt.

555-AMV (IC4) zur Ansteuerung der Stand-by-Anzeige-LEDs

Damit zur Stand-by-Anzeige keine zusätzliche LED erforderlich ist, werden die LEDs 1 und 2 im Stand-by-Modus mit kurzen Enable-Signalen freigeschaltet. Das Enable-Stand-by-Signal generiert der 555-AMV IC4. Der 555-AMV erhält über Schaltstufe Q25 nur Betriebsspannung, wenn die Stand-by-Leitung (IC5-Ub) aktiv ist und deshalb L führt. Die kurzen Enable-H-Impulse am 555-Ausgang Pin 3 gelangen über R41 und Diode D26 an die Q6-Basis. Q6 steuert durch, damit steuert auch Q5 durch und schaltet die LED-Betriebsspannung durch. Da Q10 der LED-Steuerung gesperrt bleibt (der 4017-Zähler ist abgeschaltet), erhalten die LED-Treiberstufen Q11 und Q13 über R23 ihren entsprechenden Basisstrom und steuern durch, die LEDs 1 und 2 leuchten. Somit werden keine zusätzlichen Bauelemente zur LED-Ansteuerung benötigt.



(Bild-Wiederholung)

Die Stand-by-Anzeige-Impulse sind sehr kurz (ca. 4 ms), der Abstand der Impulse beträgt ca. 2 Sekunden. Der zusätzlich Strom für die Stand-by-Anzeige ist entsprechend gering.

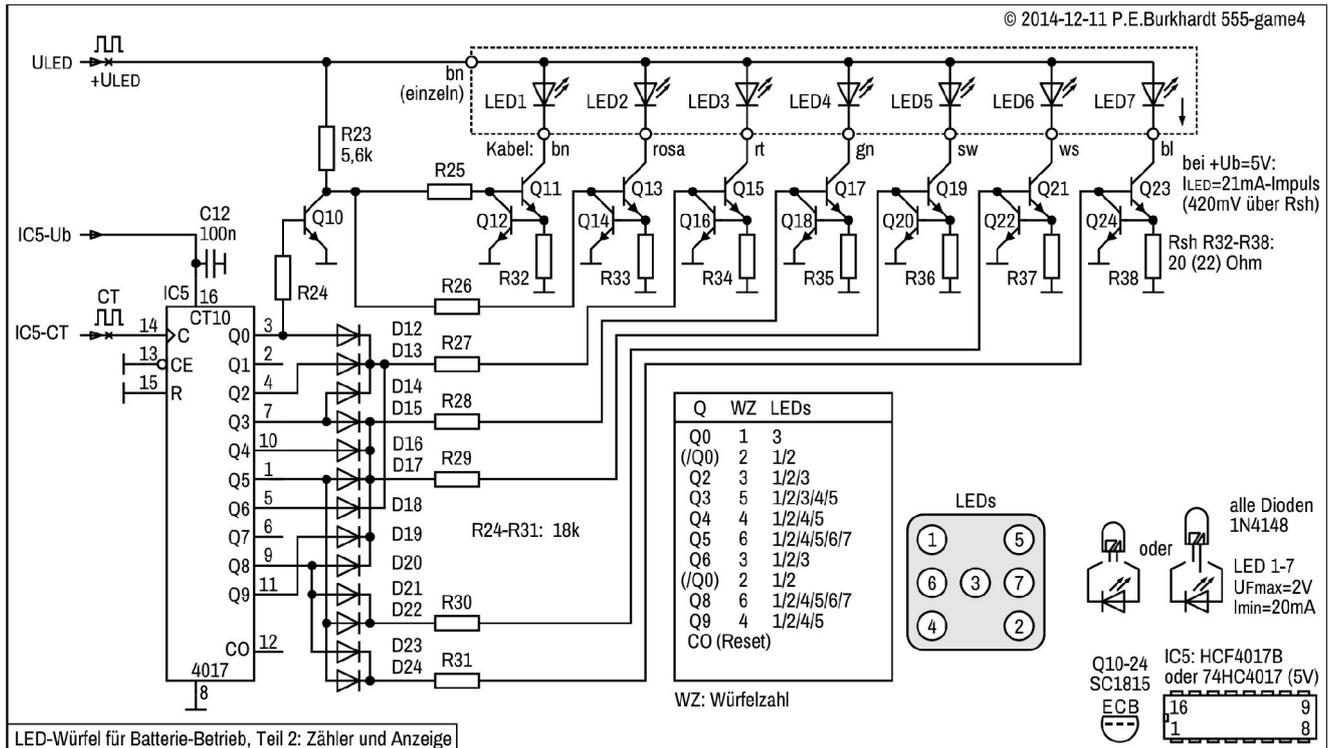
Sobald die Stand-by-Leitung wegen Aktivierung über die Start-Taste S1 wieder in den ON-Modus wechselt (und H führt), wird Q25 gesperrt und der 555-AMV-Ausgang bleibt auf L. Nun erfolgt keine Beeinflussung mehr über Diode D26, diese ist gesperrt.

Die Schaltung des 555-AMV IC4 ist analog zur Schaltung des 555-AMV IC3, der für die LED-Impulssteuerung zuständig ist. Über D25 und R39 wird C13 schnell aufgeladen, dabei ist der IC4-Ausgang H, die LEDs 1 und 2 leuchten. Über R40 wird C13 langsam entladen, dabei ist der IC4-Ausgang L, die LEDs 1 und 2 sind dunkel.

Piezo-Scheibe Speaker SP1 und Schalter S3

Die Simulation des Würfel-Rollens und einfach eine akustische Rückmeldung beim Würfeln liefert die Piezo-Scheibe SP1. Sie stellt die stromärmste Variante dar, um Töne zu erzeugen. SP1 wird direkt vom Zähler-Takt-Generator IC1 angesteuert. Die Gegentaktendstufe des 555 sorgt für den nötigen Signalwechsel zwischen Plus und Minus an der Piezo-Scheibe, so dass eine ausreichende Lautstärke erzielt wird. Sollte das Knackern stören, sorgt Schalter S3 für Ruhe.

Dekadischer Zähler 4017 (IC5) als Würfelzahl-Generator



(Bild-Wiederholung)

Der 4017 ist ein fünfstufiger dekadischer Johnson-Zähler. Er zählt mit jeder steigenden Flanke am Takteingang C um einen Schritt weiter. Bedingung ist, dass die Zählfreigabe CE (Clock Enable) auf GND liegt. Auch der Rücksetzeingang R darf nicht aktiv sein und ist deshalb mit GND verbunden. Jeder Zählerstand 0 bis 9 wird im 1-aus-10-Code ausgegeben. Dabei liegt der jeweilige dem Zählerstand entsprechende Ausgang Q auf H, alle anderen Q-Ausgänge führen L. Der Takteingang C hat Schmitt-Trigger-Eigenschaften, d.h. die Flankensteilheit der Zählimpulse spielt keine Rolle.

In der Schaltung werden alle Zählerstände 0 bis 9 für die Würfelzahl-Anzeige genutzt, obwohl die 6 Zählerstände 0 bis 5 für die Würfelzahlen 1 bis 6 ausreichen würden. Die Würfelzahlen 3, 2, 6 und 4 werden während eines Zähl Durchlaufs doppelt kodiert und ausgegeben (siehe Würfelzahl-Tabelle im Bild). Sobald der letzte Zählerstand Q9 = H verlassen wird, beginnt mit Q0 = H das Spiel von vorn.

Als Zähler reicht die Geschwindigkeit des CMOS-Typs HCF4017B völlig aus. In der Schaltung könnte dann die Betriebsspannung Ub maximal 15 V betragen. Wird der schnellere 74HC4017 eingesetzt (wie im Schaltbild angegeben), darf aber Ub nur maximal 6 V betragen. Das ist riskant, wenn drei 1,5V-Mignon-Batterien eingesetzt werden. Ein zusätzlicher Schutz mittels Z-Diode wäre in diesem Falle sinnvoll.

Kodiernetzwerk mit den Dioden D12 bis D24 zur Bildung der LED-Ansteuersignale

Das H-Signal des jeweils aktiven Zähl ausgangs muss so den LED-Treibern zugeführt werden, dass immer die richtigen LEDs aufleuchten. Dies erledigen die Dioden D12 bis D24 im Zusammenhang mit dem Negator Q10.

Wie beschrieben durchläuft der Zähler die Ausgangs-Zustände Q0 bis Q9 in ständiger Wiederholung bis zum Stillstand. Die Reihenfolge stimmt aber nicht mit den Würfelzahlen überein. Es gibt mehrere Besonderheiten.

Die LEDs 1 und 2 leuchten bei allen Würfelzahlen außer der Würfelzahl 1 (siehe Würfelzahl-Tabelle rechts im Bild). Deshalb werden nicht die Zählerstände Q1 bis Q9 zur Anzeige der LEDs 1 und 2 kodiert, sondern es werden Zählerstand Q0 mit Transistor Q10 negiert und mit diesem Signal die LEDs 1 und 2 über die Transistoren Q11 und Q13 angesteuert. Es wird also dafür gesorgt, dass die LEDs 1 und 2 immer leuchten, nur nicht bei Zählerstand Q0. Deshalb ist auch der Ausgang Q1 nicht angeschlossen, der ja normalerweise für die Würfelzahl 2 zuständig wäre (nur LEDs 1 und 2).

Eine weitere Besonderheit ist, dass die Zuordnung der Würfelzahlen nicht mit den Zählerständen korrespondieren. Näheres ist aus der Würfelzahl-Tabelle ersichtlich. Die Würfelzahlen 3, 2, 6 und 4 werden während eines Zähl Durchlaufs zwei mal ausgegeben.

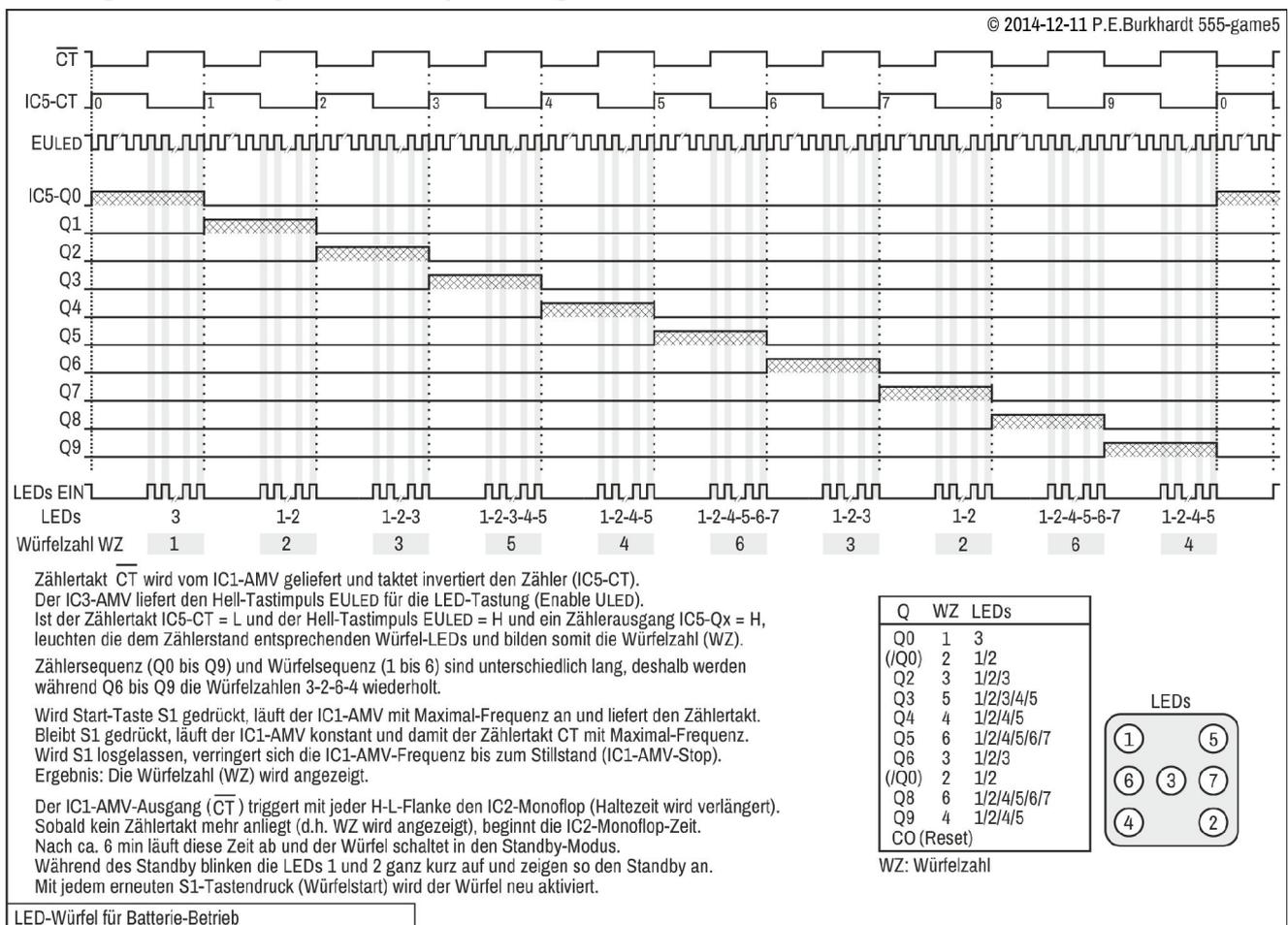
Die Kodierung mit den Dioden geschieht folgendermaßen: Soll bei einem bestimmten Zählerstand eine bestimmte LED leuchten, wird das H-Potential des entsprechenden Zählerausgangs über eine Diode an die Basis des zuständigen Treibertransistors geleitet. Beispiel: LED 4 soll lt. Tabelle bei Würfelzahl 4, 5 und 6 leuchten. Dazu müssen die H-Ausgaben Q3, Q4, Q5, Q8 und Q9 den LED-Treiber Q17 ansteuern. Das erledigen die Dioden 15, 16, 17, 19 und 20.

Hinweis: Die Kodierung lässt sich natürlich vereinfachen, wenn nur die unbedingt nötigen Zählerzustände ausgewertet werden. Die Schaltung zeigt aber das Prinzip der Kodierung für alle 10 Zählerstände. Für andere Ausgaben ist das Kodiernetzwerk leicht modifizierbar.

LED-Treiber mit Strombegrenzung (Q11 bis Q24) zur spannungsunabhängigen LED-Versorgung

Jede LED hat einen eigenen Treiber mit zugehörigem Transistor zur Strombegrenzung. Dadurch sind unterschiedliche LEDs (verschiedene Fluss-Spannung) auch bei stark schwankender Ub-Versorgung einsetzbar. Außerdem können die LEDs ohne Vorwiderstand betrieben werden, die Energie der Batterie wird so maximal genutzt. Begrenzend wirkt nur der jeweilige Shunt (R32 bis R38), der bei höherer Spannung über den Begrenzungstransistor den LED-Strom bestimmt. Die gemessenen Werte enthält das Bild.

Wirkungsweise entsprechend Impuls-Diagramm



Das Diagramm zeigt nochmals im Überblick alle Zählerstände mit der zugehörigen LED-Kodierung. Aufgrund der speziellen Schaltungstechnik wegen dem Stand-by-Modus sind die LEDs nur während der L-Zeit des Taktsignals freigeschaltet. Mit der L/H-Flanke von IC5-CT schaltet der zugehörige Q-Ausgang zwar schon auf H, aber erst wenn IC5-CT = L ist, sind die entsprechenden LEDs impulsmäßig freigeschaltet. Das Bild enthält weitere Hinweise zur Funktion.

Testen der Schaltung

Für das schrittweise Weiterschalten des Zählers genügt die im Schaltbild angegebene Eingabe am Reset-Eingang des Zähler-Taktgenerators (IC1, Pin 4). Dieser Schaltungspunkt sollte von vornherein auf der Leiterplatte vorgesehen werden. Der Taster S darf ruhig etwas prellen, der 22 kΩ-Widerstand fängt in Verbindung mit C5 die größten Prellimpulse ab.

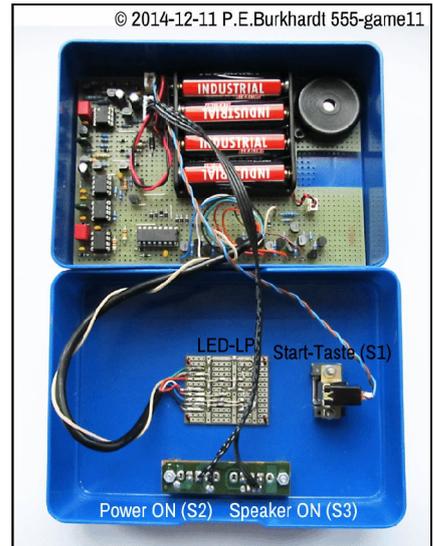
Es ist also möglich, ganz langsam jeden Zählenschritt durchzuschalten. Entsprechend der Würfelzahl-Tabelle müssen dann die LEDs aufleuchten. Eine evtl. nötige Fehlersuche ist einfach. Es ist kein Oszi erforderlich, die Spannungen am 4017 und am Dioden-Netzwerk können statisch mit einem DMM nachgeprüft werden.

Aufbau des Würfels

Als Gehäuse wurde für den Probeaufbau eine gerade vorhandene Frühstücksdose verwendet (10 Cent als Insolvenz-Ware). Die Hauptleiterplatte ist nicht befestigt (nur eingelegt), die Schalter und die LED-Leiterplatte sind im Deckel montiert. Für das Verschließen des Gehäuses sind ebenfalls keine Schrauben erforderlich, der Formschluss des Deckels mit dem Unterteil reicht völlig aus.

Die Verbindungen zwischen LED-Leiterplatte und Hauptleiterplatte sind gelötet, die Verbindungen zu den Schaltern gesteckt.

Da der Taster S1 relativ tief ist, wurde die Leiterplatte entsprechend ausgespart. Der Batteriehalter für die 4 Mignonzellen ist nur mit Lackdraht auf der Leiterplatte befestigt, ebenso der Speaker. Schrauben sind an dieser Stelle nicht nötig.



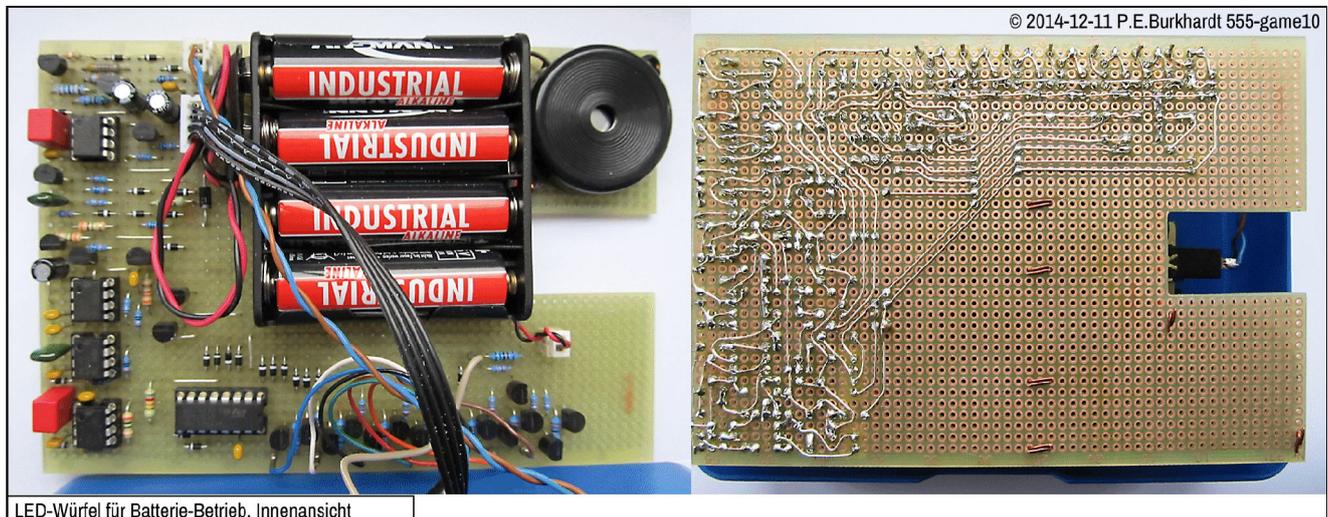
Äußerer Aufbau



Im obigen Bild ist auch die Befestigung der LED-Leiterplatte zu sehen. Auch hier wurde einfach 0,8mm-Cu-Lackdraht durchgefädelt und umgebogen. Die Schiebeschalter stammen aus einem alten Taschenradio, der Taster ist eigentlich ein Netz-Tastenschalter. Damit ein Taster daraus wird, habe ich die Rückhaltung am Schaltermechanismus entfernt.

Auf dem Boden ist gewissermaßen die Bedienungsanleitung aufgeklebt. Die entsprechende Beschriftung auf dem Deckel habe ich weggelassen, da sie mit einfachen Mitteln nicht verschleißfrei realisierbar ist. Damit das Gerät den Tisch nicht zerkratzt und rutschfrei steht, sind Plastik-Puffer aufgeklebt. Sie stammen aus dem Möbelzubehör (Schranktür-Dämpfer).

Innerer Aufbau



Die Leiterplatte ist eine Lochrasterplatte, handverdrahtet mit versilbertem 0,4mm-Cu-Draht.

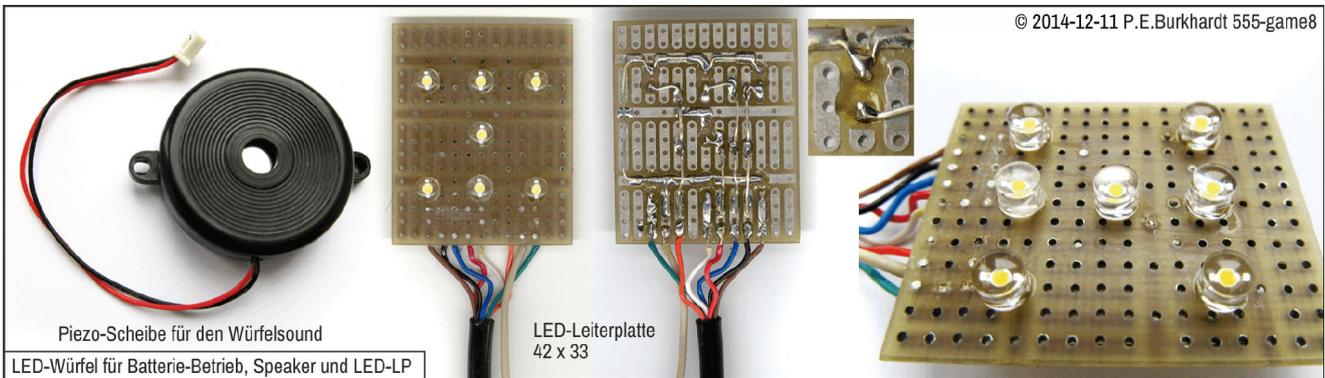
LEDs und LED-Leiterplatte



LED-Würfel für Batterie-Betrieb, LEDs

Verwendung der LEDs aus einem defekten Leuchtmittel (230V, 2,3W, 36mA, 38 LEDs)

Bei der Suche nach effizienten und billigen LEDs bin ich auf das abgebildete Leuchtmittel mit dem LED-Cluster gestoßen. Nur eine der LEDs war defekt. Allerdings sind die Anschlüsse der LEDs sehr kurz (ca. 1,3 mm), da die Trägerplatte nur 0,4 mm dick war.



Piezo-Scheibe für den Würfel-sound

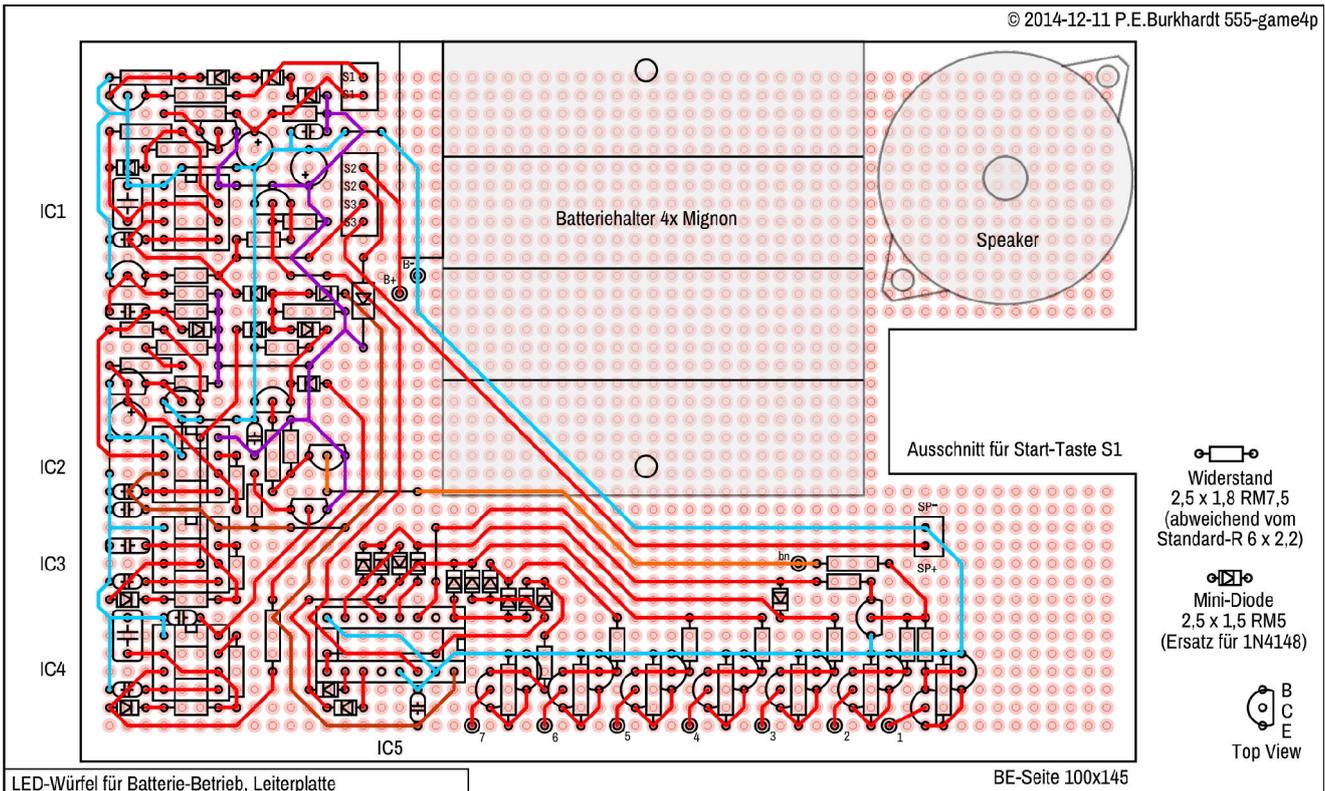
LED-Würfel für Batterie-Betrieb, Speaker und LED-LP

LED-Leiterplatte
42 x 33

Das Einlöten in die 1,5mm-Würfel-LED-Platte ist nur möglich, wenn die Bohrungen soweit angesenkt werden, dass die kurzen LED-Beinchen lötbar sind. Im Bild ist dies erkennbar (siehe LP-Ausschnitt).

Links ist die verwendete Piezoscheibe zu sehen, wahrscheinlich aus einem alten Telefon.

Layout der Leiterplatte



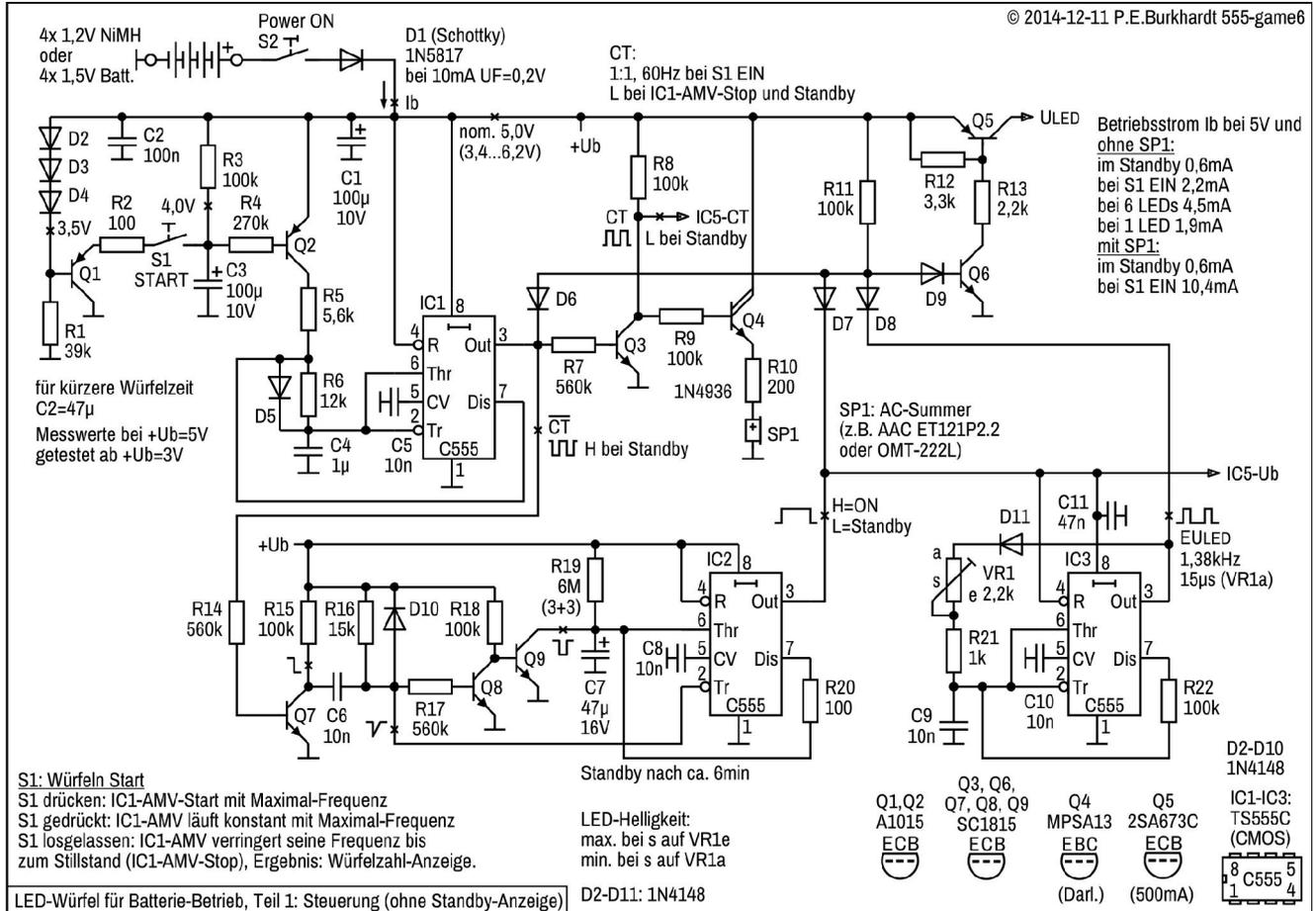
LED-Würfel für Batterie-Betrieb, Leiterplatte

BE-Seite 100x145

LED-Würfel, Variante ohne Stand-by-Anzeige

Die folgende Würfelschaltung hat keine Stand-by-Anzeige. Damit entfällt der 555-AMV (IC4) zur Ansteuerung der Stand-by-Anzeige-LEDs.

Außerdem wird als Speaker keine Piezo-Scheibe, sondern ein kleiner induktiver AC-Summer verwendet (mögliche Typen siehe Bild). Darlington-Transistor Q4 dient als Treiber. Die Stromaufnahme ist gegenüber der Piezo-Scheibe etwas höher. Der Summer ist nicht abschaltbar.



Alle anderen Schaltungsteile sind unverändert (abgesehen von einigen Widerstandswerten). Auch der zweite Teil der Schaltung (Zähler, Kodierung und LED-Anzeige) sowie das Impulsdigramm entsprechen der vorigen Variante mit Stand-by-Anzeige.

LED-Würfel mit Johnson-Zähler und Einzel-FFs

Die vorigen Würfel-Schaltungen sind mit dem fünfstufigen dekadischen Johnson-Zähler 4017 aufgebaut. Dessen Ausgänge liefern im 1-aus-10-Kode bei jedem Zählerstand genau einen H-Impuls. Mittels einem Diodennetzwerk werden daraus die einzelnen Würfelzahlen gewonnen.

In den folgenden Würfel-Schaltungen bildet zwar auch ein Johnson-Zähler die Grundlage, der aber mit einzelnen Flip-Flops realisiert wurde. Damit ergibt sich eine andere Kodierung für die LED-Ansteuerung.

Prinzip des 6-stufigen Johnson-Zählers mit Einzel-FFs

Für die Würfel-Bilder 1 bis 6 sind 6 unterschiedliche Zustände für die LED-Steuerung erforderlich. Diese 6 Zustände lassen sich beim Johnson-Zähler mit 3 FFs realisieren.

© 2019-09-30 P.E.Burkhardt 555-game13

Q2, Q1, Q0 sind 3 Ausgänge mit 6 Zuständen 000, 100, 110, 111, 011, 001 (dez. 0, 4, 6, 7, 3, 1)
allgemein: n FFs ergeben 2n Zustände (MOD 2n Counter)

Beim Start kann anstelle Reset (Q2=Q1=Q0=0) auch ein anderes Muster eingelesen werden.

CLK	Q2	Q1	Q0	/Q0
0	0	0	0	1
1	1	0	0	1
2	1	1	0	1
3	1	1	1	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6=0	0	0	0	1

sich wiederholende Sequenz

Johnson-Zähler mit 3x D-FF, Prinzip

Würfel-Steuerung mit 3 DL074-FFs (Transistorkodierung)

© 2019-10-03 P.E.Burkhardt 555-game15

CLK	Q1	/Q1	Q2	/Q2	Q3	/Q3	WZ
0	0	1	0	1	0	1	4
LED	1/2	8/7	1/2	4/5	1	4/5	6
2	1	0	1	0	0	1	5
LED	1/2	3	1/2	4/5	0	1	3
3	1	0	1	0	1	0	1
LED	1/2	3	1/2	4/5	0	1	2
4	0	1	1	0	1	0	4
5	0	1	0	1	1	0	1
LED	1/2	3	1/2	4/5	0	1	2
6=0	0	1	0	1	0	1	4

WZ: Würfelzahl

LEDs

IC2:2
DL074D
(nicht benutzt)

TQ1-5 BC548
 alle Dioden 1N4148
 IC3 ILC555N (CMOS)
 IC1, IC2 DL074D (SN74LS74)

$T[\text{ms}] = 1,1 \cdot R18[\text{k}\Omega] \cdot C3[\mu\text{F}]$
 $T = 1,1 \cdot 100\text{k} \cdot 0,1\mu = 11\text{ms}$

$\text{Reset bei } U_{b2} \text{ EIN}$
 $S1 = \text{EIN}$ ist länger als T und prellt: D7 verhindert das C3-Laden bis zur letzten U1-L/H-Flanke, erst danach beginnt T des 555-MMV.

CLK Hand
 AUS
 U_{Tr}
 U_{C3}
 CLK
 T
 0,66 · U_b

U_{b2} EIN
 Reset
 U_{b2}
 U_{D6}
 U_{res}
 7ms
 8ms (Messwerte)

LED-Würfel mit 3x D-FF von 2x DL074 (Johnson-Zähler), Testschaltung mit Transistorkodierung

Würfel-Steuerung mit 3 DL074-FFs (NAND-Kodierung)

© 2019-10-05 P.E.Burkhardt 555-game16

CLK	Q1	/Q1	Q2	/Q2	Q3	/Q3	WZ
0	0	1	0	1	0	1	4
1	1	0	0	1	0	1	6
2	1	0	1	0	0	1	5
3	1	0	1	0	1	0	3
4	0	1	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	1	0	2
6=0	0	1	0	1	0	1	4

Reset bei Ub2 EIN

Ures

D6

R14 100k

R15 10k

C1 0,1µ

TQ5

CLK Hand

S1

D7

U_{s1}

R16 10k

R18 100k

C04 100n

C3 0,1µ

T [ms] = 1,1 * R18 [kΩ] * C3 [µF]

T = 1,1 * 100k * 0,1µ = 11ms

LED8

R19 1k

C555

WZ: Würfelzahl

LEDs

Ub2 EIN

Reset

Ub2

UD6

Ures

7ms (Messwerte)

8ms (Messwerte)

S1=EIN ist länger als T und prellt: D7 verhindert das C3-Laden bis zur letzten U1-L/H-Flanke, erst danach beginnt T des 555-MMV.

AUS

U_{s1}

TS1 > T

S1 EIN

0,66 * Ub

CLK

T

TQ1, 5 BC548

alle Dioden 1N4148

IC3 ILC555N (CMOS)

IC4 D103D

IC1, IC2 DL074D

