

# Wie wählt man den passenden Quarz aus - ist allein die Größe entscheidend?

## Design Tipps mit Quarzen

Aufgrund der sich schnell entwickelnden und wettbewerbsintensiven Branchen werden die Anforderungen an Komponenten immer höher: Sie müssen klein, stromsparend und kostengünstig sein. In den beiden vorherigen Dokumenten dieser Reihe haben wir einen Überblick über die verschiedenen Kategorien von Quarzen und Oszillatoren gegeben, eine kurze Anleitung dazu, welches Produkt wann zu wählen ist, sowie einige grundlegende technische Regeln und Designparameter vorgestellt. In diesem Dokument gehen wir einen Schritt weiter und zeigen, wie Sie den richtigen Quarz für Ihr Design auswählen, wobei wir die technischen und kommerziellen Anforderungen berücksichtigen.



## Designziel

Häufig beschränkt sich die Suche und Auswahl von frequenzgenerierenden Produkte auf die Empfehlung des IC-Herstellers und die Preiswettbewerbsfähigkeit auf dem Markt.

Man sollte jedoch einen Schritt zurücktreten und sich überlegen, was das wirkliche Designziel ist und was erforderlich ist, um es zu erreichen.

Kurz gesagt lässt sich die Rolle eines Quarzes in einem Design vereinfacht wie folgt beschreiben:

- Erzeugt eine stabile Schwingung
- Sorgt für Kompatibilität mit dem auf der Platine verwendeten IC/MCU
- Erhält die Genauigkeit über Temperatur und Zeit hinweg
- Gewährleistet Zuverlässigkeit und Langlebigkeit

Was wird benötigt, um diese Aufgabe zu erfüllen? Ein Quarz, der die im vorherigen Artikel bereits definierten Hauptkriterien erfüllt: Frequenz, Lastkapazität, Gehäusotyp, Toleranz usw.

Wir haben die wichtigsten entscheidenden technischen Parameter in einer Checkliste (Tabelle 1) zusammengefasst und Beispiele sowie deren Bedeutung für das Design hinzugefügt, wobei wir uns hauptsächlich auf aktuelle SMD-Bauteile und weniger auf ältere Gehäusotypen konzentriert haben.

Check	Details	Erwartung
Frequenz definieren	Match IC/Systemanforderungen (z.B., 32.768 kHz, 8 - 25 MHz, RF Frequenzen)	Korrekte Frequenzgenerierung
Check Lastkapazität ( $C_L$ )	Richtiges $C_L$ gemäss IC auswählen (e.g., 8 pF, 12.5 pF, 16 pF, 18 pF, 20 pF)	Stabile Schwingung bei der vorgesehenen Frequenz
Gehäuse wählen	SMD (2510, 3225, 5032) abhängig von PCB o.ä.	Mechanisches Match
Toleranz und Stabilität prüfen	Anfängliche Genauigkeit ( $\pm 10$ – $50$ ppm), Temperaturstabilität (typischerweise $\pm 30$ ppm, häufiger $\pm 15$ ppm erforderlich)	Genau und stabile Frequenz unter jeden Bedingungen
Drive Level prüfen	Sicherstellen, dass der IC drive level innerhalb des Quarz DLs liegt (100-300 $\mu$ W typical)	Quarz nicht übersteuert, zuverlässiger Betrieb
Temperaturbereich wählen	Kommerziell ( $-20^\circ \sim +70^\circ\text{C}$ ), Industrie- ( $-40^\circ \sim +85^\circ\text{C}$ ), Automotive/Militär ( $-40^\circ/-55^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ )	Funktioniert in der erforderlichen Umgebung
Applikationsspezifischer Check	e.g, RTC (32.768 kHz), MCU (8 - 50 MHz), RF (hohe Frequenz, enge Toleranz)	Quarz passt zur Anwendung
Datenblatt Überprüfung	Überprüfung IC Oszi Spec vs. Quarz Datenblatt	Kompatibilität bestätigt
Check Verstärkung und Phase (Oszillatorstabilität)	Loop gain $\geq 1$ und Phasenshift $\approx 0^\circ$ (via Simulation oder Analyzer)	Oszillator startet und schwingt zuverlässig

## Komponentenauswahl

Zurück zu den Marktanforderungen an die Geräte und damit auch an die Komponenten: klein, stromsparend, günstig. Ist die Größe aber wirklich alles? Was sind die Nachteile eines Quarzes in einem kleinen Gehäuse?

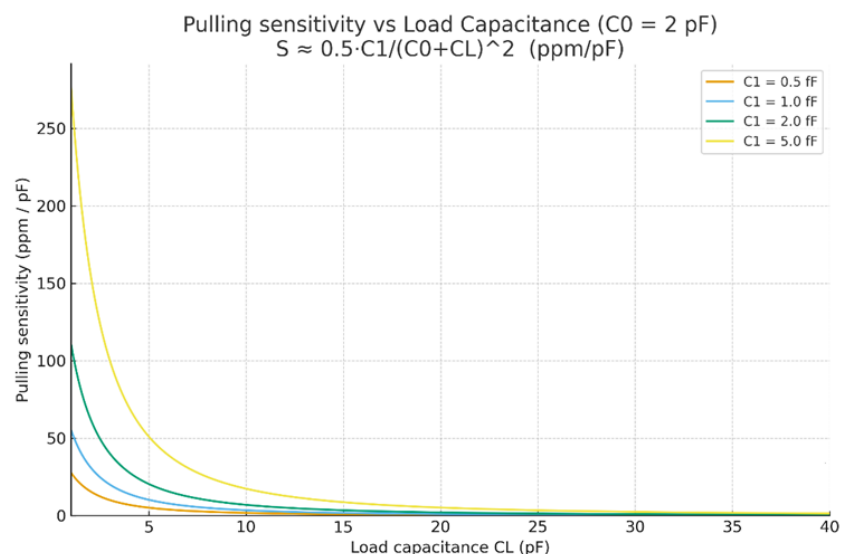
Wir haben drei verschiedene SMD-Quarzgehäuse hinsichtlich der Parameter verglichen, die von der Größe beeinflusst werden. Die Zusammenfassung finden Sie in Tabelle 2 unten.

Feature	2016 (im Trend für neue Designs)	3225 (High Runner)	5032 (noch immer gefragt)
Footprint	2.0 × 1.6 mm	3.2 × 2.5 mm	5.0 × 3.2 mm
Frequenzbereich	16 - 80 MHz	8 - 80 MHz	8 - 80 MHz
Typische Lastkapazität (C <sub>L</sub> )	8 - 16 pF	7 - 20 pF	10 - 20 pF
ESR (typical)	40 - 200 Ω	20 - 150 Ω	10 - 80 Ω
Drive level (max)	100 - 200 μW	100 - 300 μW	100 - 500 μW
Pulling sensitivity (ppm/pF) bei gleichem C <sub>L</sub>	Lower (≈0.5 - 1.0)	Medium (≈0.8 - 1.5)	Higher (≈1.2 - 2.0)
Trimming sensitivity	Lower – small blank, less responsive to trim caps	Moderate – allows useful frequency trimming	Higher – more sensitive to trim caps, easier to adjust frequency
Elektrische Auswirkung	Hoher ESR → schwerer zu treiben (drive); geringerer Zieheffekt durch C <sub>L</sub>	Balanced ESR und drive level; guter Zieheffekt	Niedriger ESR → schneller start-up; höherer pulling Effekt (empfindlicher bzgl. C <sub>L</sub> )
Mechanischer Aspekt	Sehr klein, gut geeignet für IoT/Wearables, weniger robust	Industrie Nr. 1 robust und weit verbreitet	Sehr robust, vibrations- und temperaturstabil
Wann sollte man diesen Quarz wählen	Wenn Platz wichtig ist und eine geringe Treiberleistung ausreicht	Universell einsetzbar in allen Anwendungen	Universell einsetzbar in allen Anwendungen

Eine wichtige Rolle bei der Auswahl des Quarzes spielt die Zieempfindlichkeit, die oft auch als Trimmempfindlichkeit bezeichnet wird, obwohl es einen Unterschied zwischen den beiden gibt. Während die Zieempfindlichkeit eine intrinsische Eigenschaft des Rohkristalls ist, handelt es sich bei der Trimmempfindlichkeit um eine Messgröße auf Anwendungsebene, die beschreibt, wie fein die Frequenz im Oszillatorschaltkreis abgestimmt werden kann.

Die Zieempfindlichkeit  $C_1 \cdot 10^6 / (C_0 + C_L)^2$  (ppm/pF) beschreibt, um wie viel sich die Schwingungsfrequenz des Quarzes ändert, wenn sich die Lastkapazität ändert. Sie hängt von C<sub>1</sub> (Bewegungskapazität), C<sub>0</sub> (Shunt-Kapazität) und C<sub>L</sub> (Lastkapazität) ab. Die Trimmempfindlichkeit ist definiert als die Frequenzänderung (ppm) pro Einheit der Änderung des Trimmkondensators (pF) im Oszillatorschaltkreis. Sie umfasst die Zieempfindlichkeit und den Einfluss der Oszillatortopologie und der Kondensatoranordnung.

In der Grafik haben wir die Abhängigkeit der Zieempfindlichkeit in Bezug auf die Lastkapazität bei C<sub>0</sub>=2 pF dargestellt.



Man sieht, dass bei größeren  $C_1$  (größeren Quarzrohlingen=blanks) die Empfindlichkeit höher ist, d. h. die Kristallfrequenz verschiebt sich stärker pro pF-Änderung in  $C_L$ . Eine Erhöhung von  $C_L$  verringert die Frequenzverschiebung bei gleichem Trimmfehler.

Daher muss man einen Kompromiss beim Design eingehen: Ein größerer  $C_1$ -Wert (typisch für größere Gehäuse) bedeutet eine einfachere Trimmung im Schaltkreis, aber auch eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Änderungen des Layouts und der Streukapazität; eine Erhöhung des  $C_L$ -Werts verringert die Empfindlichkeit, kann jedoch die Start-up Zeit des Oszillators beeinträchtigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es eine Herausforderung für die Quarzhersteller ist, einen niedrigen ESR mit dem richtigen  $C_L$  in Einklang zu bringen und gleichzeitig eine gute pulling range (Ziebereich) für kleinere Gehäusegrößen zu gewährleisten, um die technischen Anforderungen einer Vielzahl von Anwendungen zu erfüllen.

Dennoch müssen bei jedem anspruchsvollen Design die technischen Anforderungen mit den Platz- und Leistungsbeschränkungen abgewägt werden.

---

## Designüberprüfung

---

Der beste Weg, den richtigen Quarz für sein Design auszuwählen, ist die Simulation des Verhaltens in einer Oszillatorschaltung mit einem Simulationsprogramm wie der GEYER Y-Quartz App. Dieser Simulationsprozess dauert nicht lange, ermöglicht es Ihnen, die Genauigkeit Ihrer Parameter im Voraus zu überprüfen und wertvolle Designarbeit auf Papier oder in der Hardware zu sparen.

In der Simulation können Sie die quarzinherenten Parameter und die Dimensionierung des Oszillators so modifizieren, bis die Oszillatorschaltung das optimale Phasenrauschen und die optimale Verstärkung liefert, beides Maße für die Stabilität des Oszillators.

Ein typisches mit der APP erstelltes Design erfordert folgende Eingabeparameter:

$f_L$	Nennfrequenz des Quarzkristalls
$R_1$	ESR (Serienwiderstand) des Quarzkristalls (in der Regel als Obergrenze angegeben)
$C_0$	Statische Kapazität des Quarzkristalls (in der Regel als Obergrenze angegeben)
$C_1$	Dynamische (Bewegungs-) Kapazität des Quarzkristalls (selten angegeben)
$C_L$	Lastkapazität des Quarzkristalls
$L_1$	Dynamische Induktivität des Quarzkristalls (selten angegeben)

Diese Werte sind in der Regel im Datenblatt der Komponente angegeben. Die genauen Werte lassen sich durch die Analyse einer Charge von Quarzen mit einem Netzwerkanalysator ermitteln.

Um die Theorie mit der Praxis zu verbinden, haben wir ein Simulationsbeispiel gewählt, das eine recht häufige, einfache Anwendung widerspiegelt.

### Simulationsbeispiel für einen Kaffeeautomaten der einen 2.0 x 1.6 mm, 16 MHz KX-5 Quarz verwendet

Für die Frequenzsteuerung der Kaffeemaschinen, die entweder eigenständig oder integriert in einer Smart-Home-Umgebung arbeiten, können Sie die Eigenschaften eines Pierce-Quarzoszillators simulieren und optimieren, indem Sie die entsprechenden Werte eingeben. Sie können die Amplituden- und Phaseneigenschaften der Rückkopplungsschaltung, bestehend aus dem Quarz und den umgebenden Komponenten, visualisieren und variieren, um eine zuverlässige Schwingung zu erzielen, ohne den maximalen Ansteuerungspegel des Quarzes zu überschreiten.

Die Simulation liefert Ihnen erste Rückmeldungen hinsichtlich des benötigten Quarztyps und der Leistungsfähigkeit des Oszillatordesigns.



Sobald die Komponentenparameter definiert wurden, können Sie Muster anfordern und auf Ihrem Evaluierungsboard überprüfen, wo die endgültige Abstimmung des Oszillatorteils erfolgt. Geyer electronic bietet Ihnen jederzeit umfangreiche Beratung, Referenzdesigns und Unterstützung bei der Prototypenentwicklung an.

## Fazit

Mit der richtigen Quarzwahl und Design-Disziplin erzielen Sie Präzision, Stabilität und Zuverlässigkeit in jedem Taktzyklus:

- Wählen Sie die richtige Gehäusegröße, um ein kompaktes Design mit langfristiger Zuverlässigkeit in Einklang zu bringen.
- Stellen Sie sicher, dass Oszillator und Quarz aufeinander abgestimmt sind, um einen robusten Start und eine stabile Leistung zu gewährleisten.
- Wenden Sie bewährte Regeln für das PCB-Layout an, um die Frequenzgenauigkeit und einen geringen Jitter zu gewährleisten.
- Und zu guter Letzt: Testen Sie Ihr Timing-Design nach der Simulation in realer Hardware.