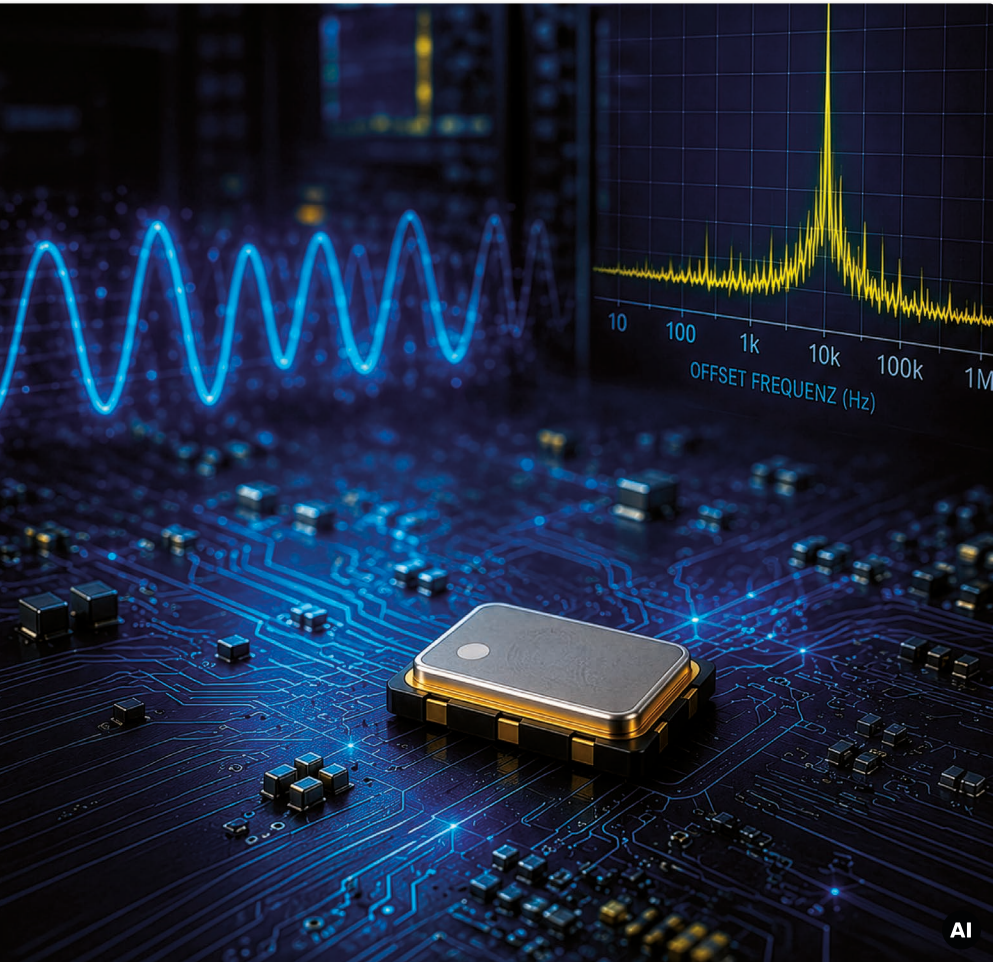


Phasenrauschen, Spurs und Messbedingungen richtig einordnen

## Sauberer Takt für saubere HF-Signale



Ausgangsstufe, Frequenzaufbereitung, Beschaltung und Messaufbau. Genau deshalb sind Phasenrauschwerte, Jitterangaben oder sichtbare Linien in der Messkurve keine absoluten Werte ohne Kontext. Sie beschreiben vielmehr ein Verhalten unter definierten Mess- und Betriebsbedingungen.

### Der Träger ist nur ein Teil der Geschichte

In der idealisierten Betrachtung liefert ein Oszillator eine saubere Frequenzlinie. In der realen HF-Welt ist diese Linie nur der zentrale Bezugspunkt. Entscheidend ist auch, was um sie herum und im weiteren Ausgangsspektrum passiert. Phasenrauschen wird über definierte Offset-Frequenzen betrachtet, also über Frequenzabstände zum Träger. Andere spektrale Bestandteile sind davon zu trennen: Oberwellen, Subharmonische und Seitenbänder gehören nicht automatisch in dieselbe Bewertungskategorie.

Spurs, beziehungsweise diskrete Störlinien, erscheinen als schmale Linien oder klar erkennbare spektrale Anteile. Sie können nahe am Träger liegen oder weiter entfernt auftreten. Ihre Lage allein sagt noch nicht alles. Ausschlaggebend ist, ob sie im Systemkontext relevant wird. Phasenrauschen beschreibt also nicht einfach „alles neben dem Träger“. Es beschreibt den Rauschanteil um den Träger im Frequenzbereich. Ein Wert bei einer bestimmten Offset-Frequenz sagt etwas über genau diesen Punkt im Spektrum aus, nicht über den gesamten Oszillator.

### Datenblattwerte sind Messwerte unter Randbedingungen

Ein Datenblattwert ist kein isolierter Bauteilwert, sondern ein Messwert unter Bedingungen. Als Grundlage für Vorauswahl, Vergleich, Design-In und Freigabe sind Datenblätter unverzichtbar. Ihre Angaben müssen aber richtig gelesen werden.

Ein Phasenrauschwert ohne Offset-Frequenz ist nicht vollständig. Eine Jitterangabe ist nur dann belastbar vergleichbar, wenn die Jitterdefinition klar ist. Bei RMS Phase Jitter gehört zusätzlich der Integrationsbereich dazu.

Auf den ersten Blick scheint die Sache klar: Ein HF-Design benötigt einen Oszillator mit definierter Frequenz, passender Ausgangslogik, geeigneter Versorgungsspannung und ausreichender Stabilität. Das Datenblatt liefert Werte zu Frequenzgenauigkeit, Phasenrauschen oder Jitter. Also alles erledigt?

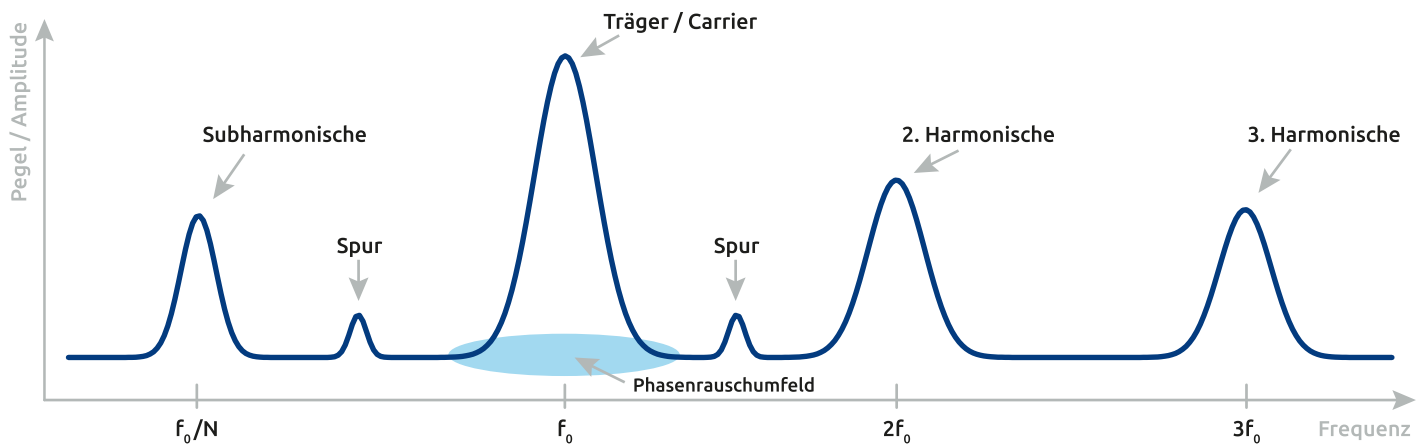
### Nicht ganz...

denn im HF- und Mikrowellen-Umfeld reicht es selten, nur die Nennfrequenz zu betrachten. Ein realer Oszillator liefert keinen idealen, unendlich schmalen Träger. Sein Ausgangssignal besitzt ein Spektrum. Die Frequenz stimmt vielleicht, das Spektrum diskutiert trotzdem mit.

Phasenrauschen zeigt sich in der spektralen Umgebung des Trägers und wird über definierte Offset-Frequenzen bewertet. Zusätzlich können Oberwellen, Seitenbänder, Subharmonische oder diskrete Störlinien auftreten – je nach Oszillatortopologie,



*Autor:*  
Hendrik Nielsen  
Technical Sales Specialist FCP  
WDI AG  
hnielsen@wdi.ag  
www.wdi.ag



**Schematisches Ausgangsspektrum eines realen Oszillators. Neben dem Träger können Phasenrauschanteile, Spurs beziehungsweise diskrete Störlinien sowie harmonische und subharmonische Anteile auftreten. Entscheidend ist ihre Einordnung im jeweiligen Mess- und Systemkontext.**

Ein Vergleich zwischen zwei Oszillatoren verliert schnell an Aussagekraft, wenn Ausgangslogik, Versorgung, Last, Messmethode oder Bandbreite nicht übereinstimmen.

Das macht Datenblattwerte nicht schlechter. Sie sind oft die beste verfügbare technische Basis, aber eben keine Naturkonstanten. Deshalb lohnt sich der Blick auf das Kleingedruckte: typisch oder garantiert? Bei welcher Versorgungsspannung gemessen? Welche Last lag am Ausgang? Welche Ausgangslogik wurde verwendet? Welche Jitter-Definition ist gemeint? Ist bei RMS Phase Jitter der Integrationsbereich angegeben? Ist nur ein einzelner Phasenrauschwert genannt oder eine Kurve über mehrere Offset-Frequenzen?

Gerade bei HF-Oszillatoren ist eine Kurve oft aussagekräftiger als ein Einzelwert. Ein Baustein kann bei einem Offset sehr gut aussehen und an anderer Stelle weniger attraktiv sein. Ein anderer wirkt in der Tabelle unspektakulär, passt aber im relevanten Offset-Bereich besser zur Anwendung. Deshalb sollte ein isolierter Tabellenwert nicht den Ausschlag geben. Entscheidend ist der Verlauf in den Offset-Bereichen, auf die es in der Anwendung ankommt.

### Phasenrauschen, Jitter und Kurzzeitstabilität: verwandte Größen, unterschiedliche Sichtweisen

Phasenrauschen, Jitter und Kurzzeitstabilität beschreiben verwandte Effekte, aber aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Kurzzeitstabilität beschreibt kurzfristige Frequenz- oder Phasenschwankungen eines Oszillators und kann je nach Anwendung im Zeit- oder Frequenzbereich betrachtet werden. Phasenrauschen ist die frequenzbereichsbezogene Sicht: Es zeigt, wie sich Rauschanteile um den Träger verteilen.

Jitter ist die Zeitbereichssicht: Er beschreibt zeitliche Abweichungen idealer Signalflanken, Perioden oder Phasenlagen.

Beide Sichtweisen hängen zusammen, sind aber nicht beliebig austauschbar. Eine Jitterangabe ergibt erst Sinn, wenn Signalform, Auswertemethode und Jitterdefinition bekannt sind. Bei RMS Phase Jitter muss zusätzlich der Integrationsbereich angegeben sein.

Ebenso sagt ein Phasenrauschwert bei einer einzigen Offset-Frequenz nur etwas über genau diesen Abstand vom Träger aus. Für viele Anwendungen ist der Verlauf über mehrere Offset-Frequenzen wichtiger als ein isolierter Datenpunkt. Nicht jede Anwendung bewertet dieselben Offset-Bereiche gleich.

### Spurs sind keine Rundungsfehler im Spektrum

Spurs sind kein dekoratives Detail am Rand einer Messkurve. Diskrete Störlinien können für die Bewertung eines HF-Oszillators wichtig werden, gerade weil sie anders auftreten als breitbandiges Rauschen. Während Phasenrauschen als spektral verteilter Rauschanteil um den Träger erscheint, zeigen sich Spurs als schmale Linien bei bestimmten Frequenzabständen.

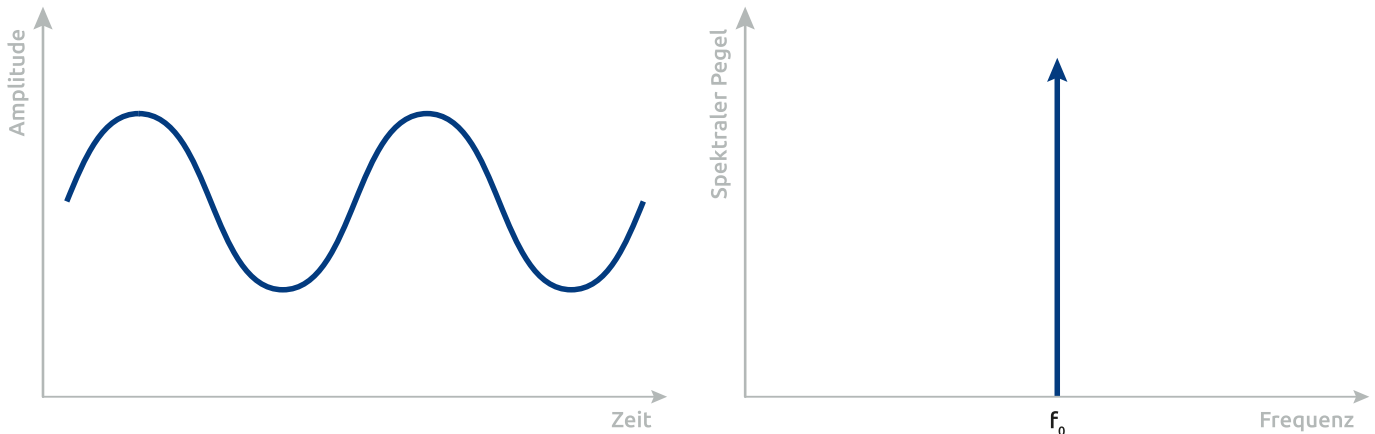
Das macht sie gut sichtbar, führt aber leicht zu vorschnellen Deutungen. Eine Spur im gemessenen Spektrum ist zunächst nur ein Befund, noch keine vollständige Ursachenanalyse.

### Nicht verwechseln: Phasenrauschen, Jitter, Kurzzeitstabilität und Spurs

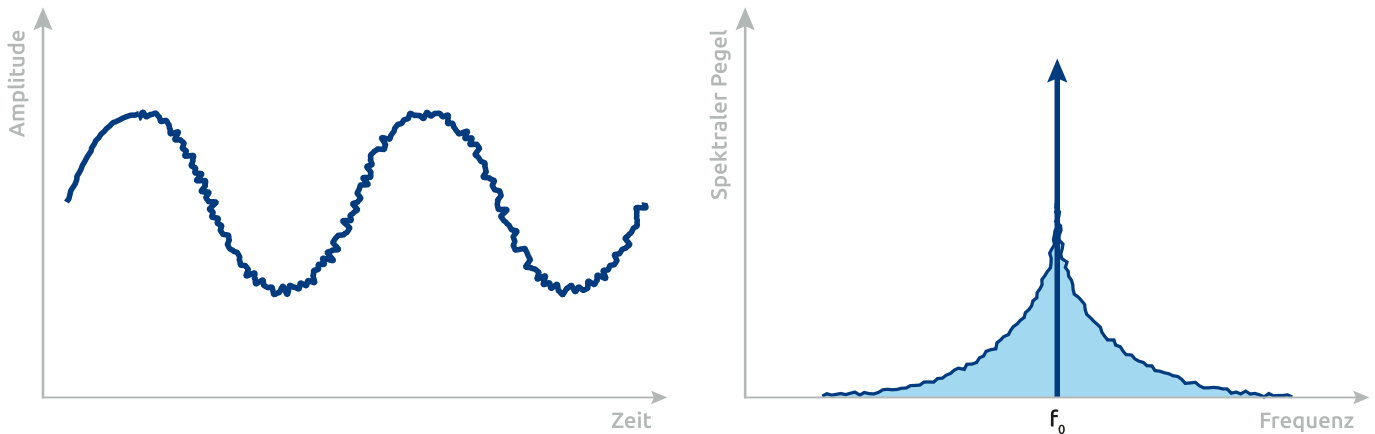
Bei der Bewertung eines HF-Oszillators treffen Zeitbereich, Frequenzbereich und Spektralbild aufeinander. Die folgenden Begriffe hängen zusammen, beschreiben aber nicht dasselbe.

- **Phasenrauschen**  
Rauschanteile in der spektralen Umgebung des Trägers. Bewertet wird es bei definierten Offset-Frequenzen.
- **Offset-Frequenz**  
Frequenzabstand zum Träger, bei dem Phasenrauschen oder eine spektrale Linie betrachtet wird
- **Jitter**  
zeitliche Abweichungen idealer Signalflanken, Perioden oder Phasenlagen.
- **RMS Phase Jitter**  
Jitter-Kenngröße, bei der zusätzlich zur Jitterdefinition der Integrationsbereich angegeben sein muss.
- **Integrationsbereich**  
Frequenzbereich zur Bewertung von RMS Phase Jitter bzw. aus Phasenrauschen abgeleitetem Jitter
- **Kurzzeitstabilität**  
kurzfristige Frequenz- oder Phasenschwankungen eines Oszillators
- **Spurs/diskrete Störlinien**  
Schmale Linien im Spektrum. Sie sind nicht identisch mit breitbandigem Rauschen.

## Idealisierter Oszillator



## Realer Oszillator mit Rauschteilen



**Schematischer Vergleich eines idealisierten und eines realen Oszillators im Zeit- und Frequenzbereich. Im idealisierten Fall steht einer sauberen periodischen Schwingung eine einzelne Spektrallinie bei  $f_0$  gegenüber. Bei einem realen Signal können sich Abweichungen im Zeitbereich und Rauschteile in der spektralen Umgebung des Trägers zeigen. Die Darstellung ist qualitativ und nicht maßstäblich**

Spurs im gemessenen Spektrum können aus dem Oszillator, aus der Beschaltung, aus dem System oder aus dem Messaufbau stammen.

Eine diskrete Linie kann mit interner Frequenzaufbereitung, PLL- oder Teilerstrukturen, Nebenresonanzen oder Subharmonischen zusammenhängen. Sie kann aber auch durch Versorgung, Zieheingang, Masseführung, Kopplungen, externe Einstrahlung oder den Messplatz sichtbar werden. Eine gemessene Spur ist also nicht automatisch eine Eigenschaft des Oszillators allein. Sie ist ein spektraler Hinweis, der eingeordnet werden muss.

Deshalb lautet die bessere Frage: Wo liegt die Spur, welchen Pegel hat sie, unter welchen Bedingungen tritt sie auf, und fällt sie in einen kritischen Bereich der Anwendung? In Kommunikations-, Radar-, Sensor-, Mess- oder industriellen Funksystemen hängt die Bewertung von Frequenzlage, Architektur,

Auswerteverfahren, Dynamikbereich und Messziel ab.

Wer nur den besten Phasenrauschwert sucht, übersieht möglicherweise diskrete Linien an ungünstiger Stelle. Wer nur auf eine Jitterzahl schaut, sieht nicht automatisch, wie sich das Spektrum zusammensetzt. Und wer eine Spur sieht, ohne den Messaufbau zu hinterfragen, findet möglicherweise den falschen Schuldigen.

### Was der Messaufbau mitmisst

Bei einer Oszillatormessung misst man nicht nur das Bauteil, sondern das Bauteil im Aufbau. Deshalb gehören Versorgung, Last, Adapter, Masseführung, Referenzquelle und Messgerät zur technischen Bewertung.

Rauschen, Ripple, unzureichende HF-Abblockung oder ungünstige Leitungsführung können sich im Ausgangssignal bemerkbar

machen. Das muss nicht in jedem Design kritisch sein. Wenn spektrale Reinheit bewertet werden soll, gehört die Versorgung aber zur Messbedingung.

Auch die Ausgangslast ist Teil des Bildes. Oszillatoren mit Sinus-, Clipped-Sine-, LVCMOS-, LVDS-, LVPECL- oder HCSL-Ausgang dürfen nicht gedanklich in einen Topf geworfen werden. Ausgangspegel, Flanken, Abschluss, kapazitive Last und Messanschluss beeinflussen, was am Messgerät ankommt.

Adapter und Masseführung entscheiden darüber, ob das Messergebnis den Prüfling beschreibt oder den Aufbau kommentiert. Hinzu kommen Eigenrauschen des Instruments, Qualität der Referenz, Messbandbreite und Auswertung. Auch bei der Spurensuche gilt: Nicht jede Linie, die im Spektrum steht, muss aus dem Oszillator stammen.



**Bei HF-Messungen gehört der gesamte Aufbau zur Bewertung: Prüfling, Anschlüsse, Verkabelung und Messgerät beeinflussen, was am Ende im Spektrum sichtbar wird**

Deshalb müssen Messbedingungen dokumentiert und verstanden werden. Wer sie ignoriert, vergleicht schnell Datenblätter statt Oszillatoren.

## Datenblattvergleich ohne Scheinsicherheit

Datenblätter sind die Basis jeder strukturierten Vorauswahl. Die Kunst besteht darin, ihre Werte weder zu über- noch zu unterschätzen.

Ein einzelner Phasenrauschwert ist hilfreich, aber selten ausreichend. Besser ist eine Kurve über mehrere Offset-Frequenzen. Wichtig ist, ob die Kurven unter vergleichbaren Bedingungen entstanden sind: gleiche oder ähnliche Ausgangsfrequenz, gleiche Ausgangslogik, gleiche Versorgung, gleiche Last, gleiche Messmethode.

Bei Jitterangaben gilt Ähnliches. Ein Jitterwert ohne klare Definition ist nur eingeschränkt verwertbar. Bei RMS Phase Jitter ist zusätzlich der Integrationsbereich entscheidend. Relevant sind außerdem Signalfrequenz, Auswertemethode und die Frage, ob der Wert typisch angegeben oder garantiert ist.

Spurs verdienen im Datenblattvergleich besondere Aufmerksamkeit. Manche Datenblätter zeigen diskrete Störstellen in Spektralkurven oder nennen Grenzwerte dafür. Andere liefern nur Phasenrauschwerte oder Jitterangaben. Das macht einen Vergleich nicht unmöglich, aber

erklärungsbedürftig. Wenn diskrete Störstellen relevant sein können, sollte gezielt nach Kurven, Messbedingungen oder Herstellerangaben gefragt werden.

## Design-In-Fazit:

### Die Entscheidung fällt im Spektrum

Die Frequenz ist der Anfang. Die Entscheidung fällt im Spektrum. Ein HF-Oszillator muss nicht nur die gewünschte Frequenz

liefern, sondern zur Architektur, zum Frequenzplan, zur Ausgangsbeschaltung, zur Versorgung, zur Messmethode und zur späteren Anwendung passen.

Phasenrauschen, Jitter, Kurzzeitstabilität und Spurs sind keine isolierten Zahlen. Sie zeigen, wie sich ein Taktsignal unter definierten Bedingungen verhält und welche Fragen im Zielsystem noch zu prüfen sind. Nicht jede Anwendung benötigt maximale spektrale Reinheit.

Der passende Kompromiss liegt dazwischen: technisch ausreichend sauber, unter passenden Bedingungen bewertet, realistisch verfügbar und im Zielsystem validierbar. Gute Design-In-Praxis fragt deshalb nicht nur nach Frequenz, Ausgangslogik und Versorgung, sondern auch nach relevanten Offset-Bereichen, Jitterdefinition, Integrationsbereich bei RMS Phase Jitter, kritischen Spurs, Systemlast, Messbedingungen und möglichem Bedarf an Herstellerdaten oder Messungen im Zielaufbau.

Diese Fragen kosten am Anfang etwas Zeit, können aber spätere Schleifen im Labor, bei der Freigabe oder in der Abstimmung mit dem Hersteller vermeiden. Denn nicht jedes Timing-Problem entsteht durch ein falsches Datenblatt – häufig entsteht es durch einen zu schnellen Blick auf die Randbedingungen. ◀

## Datenblattvergleich ohne Scheinsicherheit

Phasenrausch-, Jitter- und Spur-Angaben lassen sich nur sinnvoll vergleichen, wenn die Randbedingungen bekannt sind. Vor einem direkten Datenblattvergleich sollten deshalb folgende Punkte geprüft werden:

- Wird ein Einzelwert genannt oder eine Kurve über mehrere Offset-Frequenzen gezeigt?
- Welche Offset-Frequenzen sind angegeben?
- Welche Ausgangsfrequenz, Ausgangslogik, Versorgungsspannung und Ausgangslast lagen zugrunde?
- Ist der Wert typisch angegeben oder garantiert?

- Welche Jitter-Definition wird verwendet?
- Sind bei RMS Phase Jitter der Integrationsbereich und die Auswertemethode angegeben?
- Sind Spurs bzw. diskrete Störstellen in Spektralkurven sichtbar oder durch Grenzwerte beschrieben?
- Sind die Messbedingungen dokumentiert?
- Passt der angegebene Wert zur Anwendung oder nur zur Tabelle?

Fehlen solche Angaben, ist der Datenblattwert nicht automatisch unbrauchbar. Er ist aber erklärungsbedürftig.