



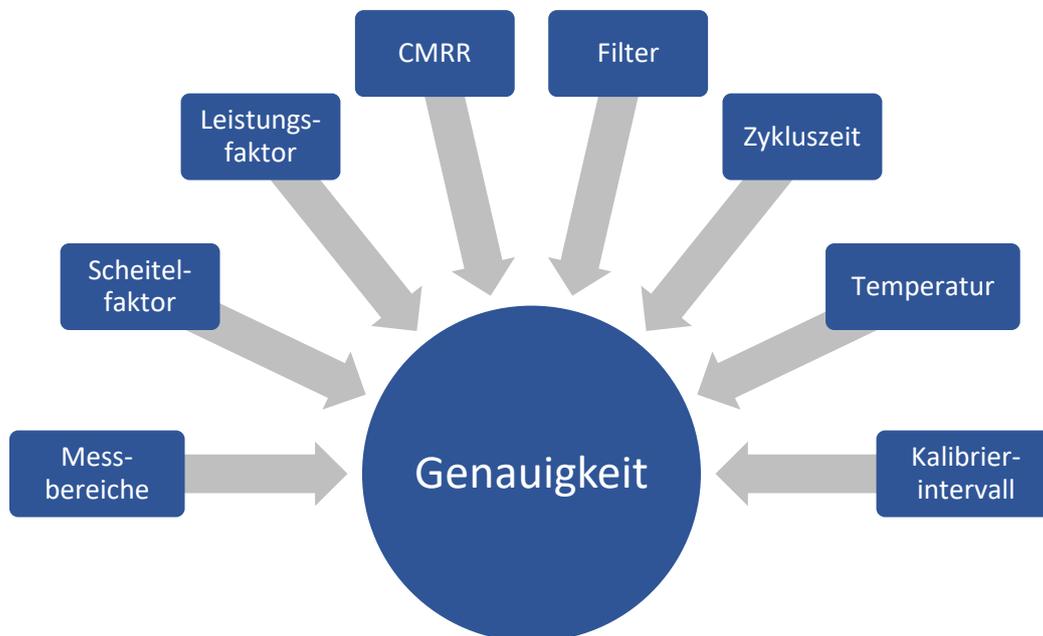
**LMG600 Serie**  
**Applikations-**  
**bericht:**

**Genauigkeits-**  
**Spezifikationen**  
**richtig lesen** v2.0

**PRECISION IN POWER – THIS IS OUR GUIDELINE!**

## Wie Sie Genauigkeitsspezifikationen lesen ohne das Kleingedruckte zu übersehen

Moderne digitale Leistungsmessgeräte verschiedener Hersteller basieren meist auf den gleichen Grundprinzipien. Jedoch ist es manchmal schwierig, die wichtigen Unterschiede zwischen diesen zu erkennen, insbesondere wenn es darum geht, die Messgenauigkeit für die beabsichtigte Messung zu berechnen. **Abbildung 1** zeigt die wichtigsten Faktoren, die die Messgenauigkeit des Geräts beeinflussen.



*Abbildung 1: Faktoren, die die Genauigkeit des Messgeräts beeinflussen*

Dieser Applikationsbericht führt Sie detailliert in diese Faktoren ein und konzentriert sich auf den Aspekt, wie technische Genauigkeitsangaben aus Spezifikationen zu interpretieren sind, ohne dabei das Kleingedruckte zu übersehen.

## Messbereiche und Scheitelfaktor

Es ist üblich, dass gewählte Messbereiche die Genauigkeit von Leistungsmessgeräten beeinflussen. Insbesondere die Mehrheit der Hersteller definiert die Genauigkeit von Messgrößen wie Spannung, Strom und Leistung basierend auf folgender Gleichung:

$$\pm (\% \text{ vom Messwert} + \% \text{ vom Messbereich})$$

Der zweite Term „% vom Messbereich“ wird auf zwei unterschiedlichen Ansätzen basierend spezifiziert. Im ersten Ansatz wird ein nomineller TRMS-Bereich mit einem Scheitelfaktor (crest factor) angegeben. Alternativ gibt der messbare Spitzenwert den Bereich im zweiten Ansatz an. An dieser Stelle entsteht die Debatte:

### Peak-basierte oder RMS-basierte Messbereichsdefinition? Welche Technik ist besser und wie wirkt sie sich auf die Gesamtgenauigkeit aus?

Analoge Messinstrumente beziehen sich auf die DC- oder RMS-Komponente eines Signals, um den wahren Wert anzuzeigen. Aufgrund einiger analogbezogener Eigenschaften des Funktionsprinzips (z.B. Sättigung, Nichtlinearitäten von Komponenten) dieser Instrumente kann es möglicherweise vorkommen, dass Signale mit einem Spitzenwert, der viel höher als der Effektivwert ist, abgeschnitten werden. Daher mussten diese Instrumente mit einem maximal zulässigen Scheitelfaktor (Verhältnis der Spitzenamplitude einer Wellenform zu deren RMS-Wert) spezifiziert werden, für den ein Messwert innerhalb der Spezifikation garantiert werden konnte. Eine konkrete Grenze für den maximal messbaren Spitzenwert gab es jedoch nicht. Daher war der für Fehlerberechnungen verwendete Messbereich der RMS-Bereich für sinusförmige Signale.

Ungeachtet dessen verarbeiten moderne digitale Leistungsmessgeräte abgetastete Signale und verwenden daher Analog-Digital-Wandler (ADC) in ihren Messpfaden. Daraus resultierend ist der Messbereich schließlich definiert als der größte Wert, den ein ADC abtasten kann. Der Effektivwert kann so groß wie dieser größte Wert sein (z.B. bei DC) oder auch deutlich kleiner (z.B. bei Einschaltströmen). Aus diesem Grund ist der einzige Bereichswert für eine sinnvolle Fehlerberechnung, der physikalisch legitimiert werden kann, der Spitzenwert und somit der Bereich des ADC.

Zum besseren Verständnis betrachten wir zwei unterschiedliche Signale mit gleichem Effektivwert: Ein reines Sinussignal mit einem Scheitelfaktor von etwa  $\sqrt{2} \approx 1,414$  und ein stark verzerrtes Signal mit einem höheren Scheitelfaktor, wie in [Abbildung 2](#) dargestellt.

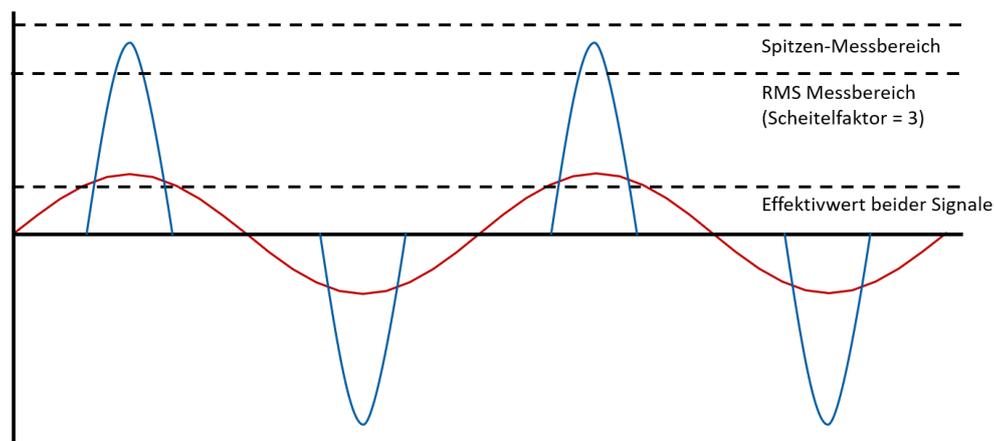


Abbildung 2: Vergleich zweier Signale mit gleichem Effektivwert und unterschiedlichem Scheitelfaktor

Im Allgemeinen stellt ein Leistungsmessgerät mit auf Effektivwert basierendem Autorange einen Messbereich ein, der einen 1,44-fachen Spitzenwert des Effektivwerts akzeptiert, wobei die gesamte Wellenform in der Messung erfasst wird – vorausgesetzt, das Signal ist sinusförmig oder hat einen Scheitelfaktor kleiner als 1,414.

Umgekehrt führt ein Signal mit einem Scheitelfaktor von mehr als 1,414 zu dem sogenannten „Clipping“-Phänomen, da der Spitzenwert der Wellenform die maximale Aussteuerung des Messbereichs überschreitet.

Einige Hersteller, die ihre Spezifikation des Messbereichs auf den Effektivwert stützen, bieten optional die Auswahl eines Standard-Scheitelfaktors des Messgeräts (bspw. 3 oder 6), um die Wahrscheinlichkeit einer falschen Messung aufgrund von Messbereichsbegrenzung zu verringern. Es ist jedoch zu erwarten, dass stark verzerrte Signale, die aus modernen leistungselektronischen Anwendungen stammen, Spitzenwerte aufweisen, die einen vordefinierten ausgewählten Scheitelfaktor überschreiten.

Insgesamt ist es für moderne Messgeräte mit ADC-Sampling bedeutungslos, einen RMS-Messbereich im Hinblick auf Fehlerberechnungen anzugeben. Aus diesem Grund und um dem Anwender eine vertrauensvolle und aussagekräftige Angabe zu bieten, gibt ZES ZIMMER den relevanten und aus technischer Sicht angemessenen Spitzenwert eines Messbereichs an, da dieser die wahre Obergrenze des ADCs darstellt.

## Leistungsfaktor

Ein weiterer wichtiger Parameter, den Sie bei der Berechnung der Genauigkeit Ihrer Leistungsmessung berücksichtigen sollten, ist der Leistungsfaktor (PF). Sie mögen eventuell denken, dass der Einfluss auf die Messgenauigkeit nahezu vernachlässigbar ist. Jedoch kann sich dieser sogar deutlich nachteilig auf die Genauigkeit Ihrer Leistungsmessung auswirken und sollte ausnahmslos berücksichtigt werden.

*Die meisten Hersteller legen „überlegene“ Genauigkeitsspezifikationen unter der Annahme eines Leistungsfaktors gleich 1 dar, während sie sich dafür entscheiden, relevante Zusatztherme als Kleingedrucktes hinzuzufügen, wenn es um Anwendungen mit realen Leistungsfaktoren kleiner 1 geht. Dies ist eine gängige Praxis und daher sollte sich der betroffene Anwender dessen bewusst sein. Abbildung 3 zeigt den zunehmenden Leistungsmessfehler unter Berücksichtigung des Einflusses des Leistungsfaktors.*

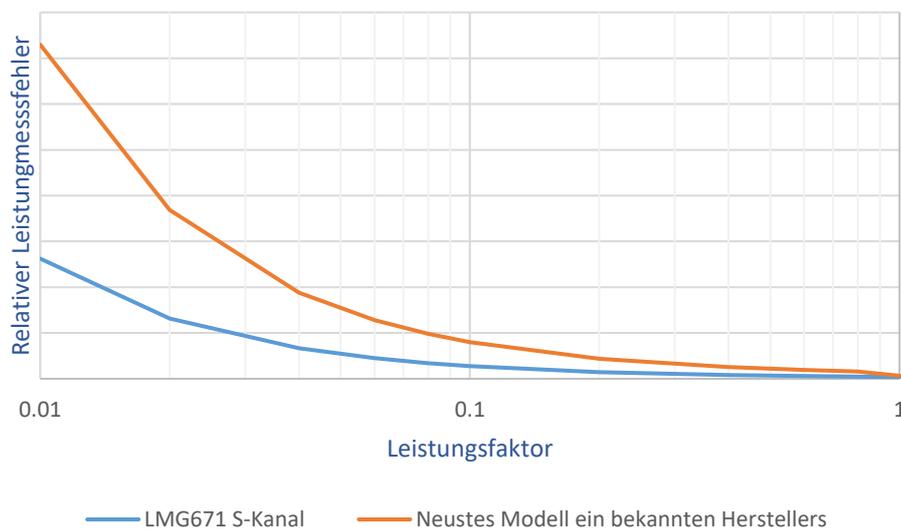


Abbildung 3: Leistungsmessfehler vs. Leistungsfaktor / 230 Veff, 2,5 Aeff, 50 Hz

ZES ZIMMER liefert die Genauigkeitsspezifikationen für einen PF-Bereich von 0 bis 1 und unabhängig von zusätzlichen Sternchen am Ende der Seite, die die Gesamtgenauigkeit unbestreitbar beeinträchtigen würden. Klar und direkt auf den Punkt gebracht, keine Gefahr durch versteckte Fallstricke.

ZES ZIMMER ermöglicht eine präzise Wirkleistungsbestimmung auch bei anspruchsvollen Messaufgaben mit kleinsten Leistungsfaktoren (PF < 0,01) und sehr kleinen Spannungen.

## Kalibrierintervalle

Jegliche Messmittel müssen regelmäßig in vom Hersteller festgelegten Intervallen kalibriert werden. Dies gewährleistet gültige Messergebnisse für eine gegebene Genauigkeit. Liegen während des Kalibriervorgangs festgestellte Abweichungen außerhalb der Spezifikation, ist es ratsam, das Gerät zur Korrektur dieser Abweichungen auf minimalste Ausnutzung der angegebenen Toleranzen zu justieren.

Bei der Entscheidung, wie lange ein Kalibrierintervall sein sollte, ist es von entscheidender Bedeutung, die Kosten für häufige Kalibrierungen sowie natürlich die durch den Service verursachten Ausfallzeiten zu berücksichtigen. Hersteller empfehlen unterschiedliche Rekalibrierintervalle. Sollten allerdings Justierungen häufig erforderlich sein, führt dies zu Zweifeln an der Zuverlässigkeit des Messgeräts.

ZES ZIMMER	Hersteller X	Hersteller Y
12 Monate	6 Monate 12 Monate: 1,5-fache Toleranz	Keine Information, aber jährliche Kalibrierung empfohlen

Tabelle 1: Gültigkeitsdauer der spezifizierten Genauigkeiten

Um während des Beurteilens von Spezifikationen Äpfel mit Äpfeln vergleichen zu können, sollten die Bedingungen übereinstimmen. Daher bedeutet dies, wie beim obigen Szenario, die Berücksichtigung gleicher Genauigkeitsgültigkeitsdauer bzw. Kalibrierintervalle, um einen verbindlichen und aussagekräftigen Kontrast zu haben. [Tabelle 1](#) zeigt typische Bedingungen und Unterschiede auf, die in den Spezifikationen der meisten modernen Leistungsanalysatoren zu finden sind.

ZES ZIMMER Leistungsmessgeräte weisen eine sehr geringe Ausnutzung weniger Prozent der spezifizierten Toleranzen nach Justierung auf, die innerhalb eines Kalibrierintervalls von 12 Monaten garantiert werden. ZES ZIMMER bescheinigt darüber hinaus, dass die vom Kalibrierlabor verwendeten Referenzgeräte auf Normale des nationalen Metrologieinstituts, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), rückführbar sind.

## Gleichtaktunterdrückungsverhältnis (CMRR)

CMRR ist eine Kennzahl, die zur Quantifizierung der Fähigkeit eines Geräts verwendet wird, ein Signal zu unterdrücken, das sowohl an den positiven als auch den negativen Geräteeingängen gleich ist, welches zu Einflüssen auf die Messgenauigkeit führt. Ein ideales Leistungsmessgerät hätte theoretisch eine unendliche CMRR, dass aufgrund von Material- und Designbeschränkungen praktisch nicht erreichbar ist. Infolgedessen trägt der nicht unterdrückte Teil des Gleichtaktsignals zur erfassten Leistung bei und beeinflusst die Gesamtgenauigkeit. Je höher die CMRR ist, desto geringer ist der Einfluss auf die Genauigkeit.

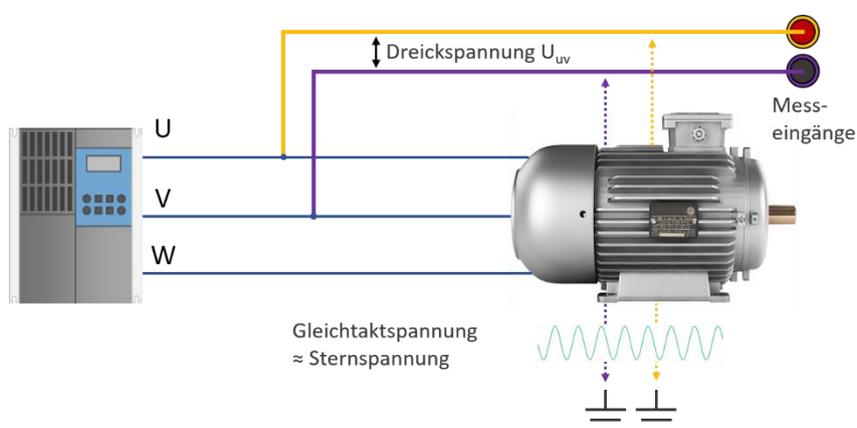


Abbildung 4: Gleichtaktspannung am Umrichteranschluss

Betrachten wir eine Anwendung wie einen Wechselrichter, der einen Drehstrommotor speist, wie in [Abbildung 4](#) illustriert. Bei dieser Art von Aufbauten werden unerwünschte Leckströme durch das Pulsen des Wechselrichters verursacht. Diese treten hauptsächlich auf, wenn kapazitive Baugruppen am Wechselrichterausgang durch Takten umgeladen werden. Diese Ströme werden in den Motorkabeln und der Motorisolierung erzeugt und verursachen wiederum Rauschen, das sich folglich den Messeingängen des Leistungsmessgerät überlagert und somit die Genauigkeit beeinträchtigt.

Angenommen sei eine Anwendung mit einem sinusförmigen 50Hz Eingangssignal mit 100V gegen Erde. Anhand des vom Messeingang angegebenen Gleichtaktunterdrückungsverhältnisses (CMRR) wollen wir den Einfluss der Gleichtaktspannung von Leistungsmessgerät unterschiedlicher Hersteller X und Y berechnen. Beide unterscheiden sich in ihrer Vorgehensweise und Spezifikation.

Spezifikation	Hersteller X	Hersteller Y
CMRR bei 50Hz	120 dB	50/60 Hz: $\pm 0,01\%$ des Messbereichs
Bedingung	100 Veff bei 50Hz Gleichtaktspannung an den kurzgeschlossenen Messeingängen und PE	1000 Veff am Messeingang Spannungseingänge kurzgeschlossen
Ergebnis	0,1 mV abs. Einfluss 0,0001 % rel. Einfluss	$\pm 0,001\% * 300 \text{ V} = 30 \text{ mV}^*$ abs. Einfluss 0,03% rel. Einfluss

\*Formel linear skaliert von 1000 V auf 300 V anwendbarer Messbereich aufgrund CF=3 bezogener RMS-Messbereichstechnik von Hersteller Y

Tabelle 2: Berechnete Einflüsse der Gleichtaktspannung auf die Spannungsmessung

Wenn man den absoluten Gleichtaktspannungseinfluss von 0,1 mV von Hersteller X mit den 30 mV von Hersteller Y vergleicht, kommt man zu dem Entschluss, dass Hersteller X 300-mal genauer ist. Tabelle 3 zeigt das Gleichtaktunterdrückungsverhältnis der Messeingänge des Leistungsmessgeräts LMG671 von ZES ZIMMER. Details können dem Handbuch entnommen werden.

Gleichtaktfrequenz	Signalfilter	Spannungseingang (+) / 3 V Bereich	Spannungseingang (+) / 1000 V Bereich	Stromeingang (+) / 5 mA Bereich	Stromeingang (+) / 32 A Bereich
53 Hz	15 kHz	> 120 dB	> 120 dB	> 160 dB	> 150 dB
53 Hz	off	> 120 dB	> 120 dB	> 160 dB	> 150 dB
100 kHz	15 kHz	> 120 dB	> 120 dB	> 160 dB	> 150 dB
100 kHz	off	> 75 dB	> 75 dB	> 100 dB	> 150 dB

Tabelle 3: CMRR-Spezifikation der ZES ZIMMER LMG671-Messeingänge

## Filter

Ein weiterer Faktor, den es bei den Genauigkeitsangaben zu beachten gilt, sind die Filtereinstellungen. Insbesondere verwenden einige Hersteller Anti-Aliasing-Filter (AAF) und Eingangsfiler in ihrem Konzept, Rauschen und Aliasing (bssds. im Zuge der Oberschwingungsanalyse) zu minimieren. Die von einigen Herstellern angegebene Genauigkeit hängt stark von der Wahl der Grenzfrequenz dieser Filter ab, wobei auf den Einfluss entweder nicht offensichtlich hingewiesen oder dieser gar nicht sinnvoll angegeben wird.

Einige Hersteller spezifizieren den Filtereinfluss auf den Messwert mit einer  $\pm$  Toleranz, wobei Tiefpassfilter eine Signalamplitude eher dämpfen als verstärken. Solch ein Spezifikation ist fragwürdig oder beruht möglicherweise auf einer weniger guten Filtereigenschaft. Je nach Charakteristik und Filterordnung ist die Dämpfung je nach Eckfrequenz stärker oder schwächer.

Richtig oder besser wäre es, die Filterdämpfung explizit als systematischen Fehler anzugeben und darüber hinaus die Unsicherheit der Dämpfung anzugeben. Da der Anwender somit den Filterfehler explizit berechnen kann, bieten die ZES ZIMMER Leistungsmessgeräte der LMG-Serie eine detaillierte Fehlerangabe des eingestellten Filters, die zudem einen vergleichsweise geringen Einfluss haben, wie Tabelle 4 zeigt.

Spezifikation	ZES ZIMMER LMG671 A-Kanal	Hersteller X
Filter	Tiefpass Anti-Aliasing Filter Bessel 7. Ordnung, 145kHz	Tiefpassfilter Bessel 5. Ordnung, 1MHz
Filtereinfluss bei 1kW, U <sub>1</sub> = 500Hz Sinus	U/I: - (0,0004% ± 50 · 10 <sup>-6</sup> ) vom Messwert P: - 0,0107997% (worst case) vom Messwert <b>- 0,107997 W</b>	U/I: ± (20 × f/1Mhz) % vom Messwert P: ± (40 × f/1Mhz) % vom Messwert <b>± 0,2 W</b>

Tabelle 4: Vergleich Filtereinfluss ZES ZIMMER LMG671

Leistungsmessgeräte von ZES ZIMMER ermöglichen mit ihrer einzigartigen DualPath-Technologie die simultane Messung schmal- und breitbandiger Werte, ohne Aliasing-Effekte zu riskieren. Gleichzeitig werden Filtereinflüsse auf die Genauigkeit im Vergleich zu anderen Herstellern sehr gering gehalten. Die explizite Vorgabe der Filterdämpfungen ermöglicht eine frequenzgezielte Kompensation des Einflusses auf das gemessene Signal, um höchste Genauigkeit zu gewährleisten.

## Temperatur

Die Temperatur hat offensichtlich einen Einfluss auf die Messgenauigkeit und Umgebungsbedingungen im realen Leben sind nicht immer so einfach zu kontrollieren, wie in einem Laboraufbau. Heißes Klima und unzureichende Belüftung können erhebliche Probleme verursachen. Um den Einfluss der Temperatur auf die Genauigkeit zu quantifizieren, geben Hersteller normalerweise einen Temperaturkoeffizienten an, der in einer Formel zutragen kommt, die sich auf eine lineare Abhängigkeit stützt. Diese Abhängigkeit gilt jedoch nur innerhalb eines begrenzten Temperaturbereichs, außerhalb dessen sich die Auswirkungen dramatisch verschlechtern können. Je größer dieser lineare Temperaturbereich ist, desto einfacher ist es daher, zuverlässige und stabile Messungen unter realistischen Bedingungen durchzuführen. ZES ZIMMER garantiert seine Genauigkeitsangaben für eine Umgebungstemperatur von (23±3) °C, bei der keine zusätzlichen Erwärmungs- oder Abkühlungseffekte (z.B. durch Sonneneinstrahlung oder Luftströmung) auftreten. Der Temperatureffekt liegt bei:

$$\pm (0,01 \% \text{ vom Messwert})/K \text{ im Bereich } 5\text{ °C} \dots 20\text{ °C} \text{ und } 26\text{ °C} \dots 40\text{ °C}$$

Abbildung 5 zeigt die Abweichung von der Standardgenauigkeit für einen Temperaturbereich von 5 °C bis 40 °C.

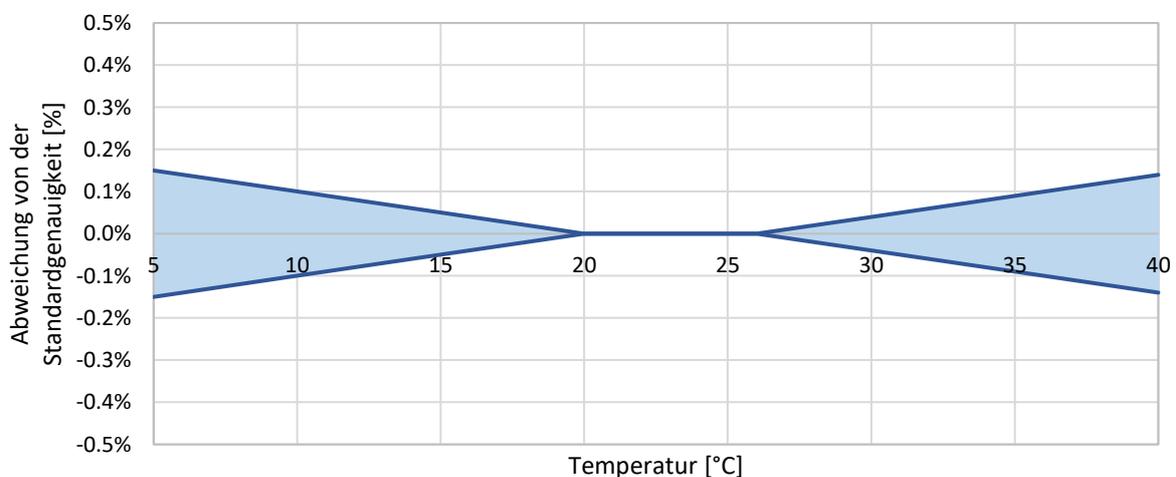


Abbildung 5: Abweichung von der Standardgenauigkeit gegenüber der Umgebungstemperatur für die LMG600-Serie

## Zykluszeit (oder Datenaktualisierungsrate)

Einige Hersteller fügen der Genauigkeit für unterschiedliche Zykluszeiten einen zusätzlichen Fehler hinzu (es kann auch der Begriff Datenaktualisierungsrate verwendet werden), diese im Wesentlichen der Zyklus des Messintervalls ist, wie in **Abbildung 6** dargestellt, bzw. das Integrationsintervall der Messwerte.

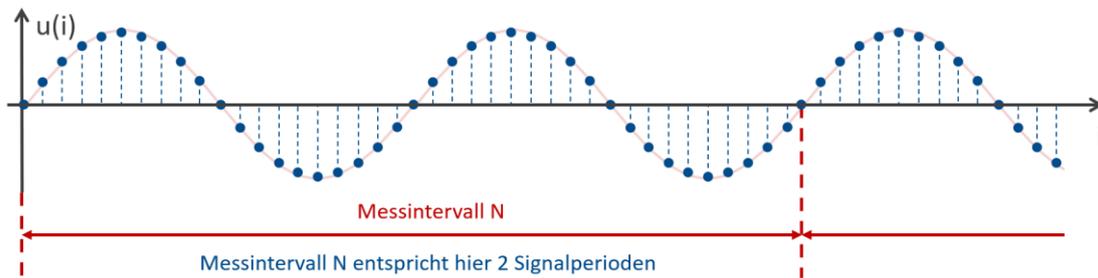


Abbildung 6: Zykluszeit bzw. das Messintervall

Normalerweise fügen diese Hersteller der Genauigkeit einen zusätzlichen Fehler in Form von „% vom Messwert“ hinzu, der berücksichtigt werden muss. Andererseits bieten andere Hersteller dem Anwender den Vorteil, jede gewünschte Zykluszeit frei zu wählen, ohne, dass die spezifizierte Genauigkeit zusätzlich beeinträchtigt wird.

Die hochpräzisen Leistungsmessgeräte der LMG600-Serie von ZES ZIMMER ermöglichen einen Messzyklus von 10 ms bis 60 s Intervallen und gewährleisten somit eine lückenlose Messung, ohne die geringste Beeinträchtigung der Messgenauigkeit.



**ZES ZIMMER Electronic Systems GmbH**  
Pfeiffstraße 12  
61440 Oberursel (Ts.)  
Deutschland

Andreas Alexandrou, M.Sc.  
Patrick Fuchs, M.Sc.

Tel. +49 6171 88832-0  
Fax +49 6171 88832-28  
E-Mail: sales@zes.com