

SICK AG WHITEPAPER

DATENBLATTWERTE ZUR GENAUIGKEIT VON
ENCODERN UND MOTOR-FEEDBACK-SYSTEMEN

AUTOR

Dr. David Hopp

Senior Engineer Optics & Systems

SICK AG

Deutschland

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung.....	3
Datenblattwerte und Bezug zur Norm	4
Prüfbedingungen.....	4
Abweichung vom wahren mechanischen Winkel	5
Winkelmessabweichung	6
Frequenzen der Winkelmessabweichung.....	7
Rauschen.....	8
Normalverteilung und Sigma.....	8
Glossar.....	9

Einleitung

Datenblattangaben für Encoder und Motor-Feedback-Systeme enthalten eine Vielzahl an Parametern, die die relevanten physikalischen Eigenschaften und Merkmale dieser Produkte zusammenfassen. Unter diesen Parametern finden sich Werte zur Winkelgenauigkeit, die die Qualität der Grundfunktion der Winkelmessung beschreiben. Bei der Winkelmessabweichung kann man zwischen systematischen und zufälligen Werten unterscheiden. Beide Wertarten geben jeweils die maximale Abweichung der gemessenen Winkelposition zur mechanischen Winkelstellung der Welle an.

Die Messung dieser Werte wird gemäß DIN 1319-1 [1] und GUM [2, 3] durchgeführt. Die systematische Winkelmessabweichung und die Wiederholstandardabweichung werden aus den Messwerten berechnet, um die Produktqualität bezüglich der Winkelgenauigkeit zu gewährleisten.

Dieses Whitepaper stellt Definition, Messung und Analyse dieser Genauigkeitsparameter detailliert dar. Zusätzlich zeigt es den Zusammenhang zu altbewährten, aber mittlerweile obsoleten Parametern auf. Zum allgemeinen Verständnis der in diesem Whitepaper verwendeten technischen Begriffe ist ein Glossar beigefügt.

Datenblattwerte und Bezug zur Norm

Datenblattwerte	Bezug zur Norm
Fehlergrenze/Systemgenauigkeit <ul style="list-style-type: none"> Systematische Winkelmessabweichung Angegeben als Plusminuswert unter Annahme einer symmetrischen Abweichung vom wahren Winkel Angegeben in Winkelsekunden* (") oder Winkelgraden (°) 	Fehlergrenze (DIN 1319-1) <ul style="list-style-type: none"> Die gemessene systematische Abweichung vom wahren mechanischen Winkel ist die systematische Winkelmessabweichung, die sich innerhalb der Fehlergrenze befinden muss
Wiederholgenauigkeit/Rauschen <ul style="list-style-type: none"> Zufällige Winkelmessabweichung Angegeben als 1-σ-Wert Angegeben in Winkelsekunden* (") oder Winkelgraden (°) 	Wiederholstandardabweichung (DIN 1319-1) <ul style="list-style-type: none"> Die gemessene statistische Abweichung vom wahren mechanischen Winkel ist die zufällige Winkelmessabweichung, die sich innerhalb der 1-σ-Wiederholstandardabweichung befinden muss
INL (obsolet) <ul style="list-style-type: none"> Integrale Nichtlinearität (systematisch) 	<ul style="list-style-type: none"> Die integrale Nichtlinearität ist Teil der systematischen Winkelmessabweichung
DNL (obsolet) <ul style="list-style-type: none"> Differenzielle Nichtlinearität (systematisch) 	<ul style="list-style-type: none"> Die differenzielle Nichtlinearität ist Teil der systematischen Winkelmessabweichung

Tabelle 1: Datenblattwerte und Bezug zur Norm

Prüfbedingungen

Jeder Encoder und jedes Motor-Feedback-System wird vor der Auslieferung kalibriert. Dies geschieht durch Aufspannen des Prüflings auf ein Prüfsystem mit einem hochgenauen und kalibrierten Referenzencoder und durch Aufnahmen der Winkelausgabe beider Geräte während einer Umdrehung der Welle (Abb. 1: Wahrer mechanischer Winkel und gemessener Winkel). Die Abweichung des Winkelwerts des Prüflings vom Winkelwert des Referenzencoders des Prüfsystems wird als Abweichung vom tatsächlichen, d. h. vom wahren Winkel und damit als Winkelmessabweichung betrachtet, die systematische und zufällige Anteile enthält (Abb. 2: Winkelmessabweichung und Fehlergrenzen).

Bei der Berechnung der systematischen Winkelmessabweichung bleibt die zufällige Winkelmessabweichung durch den Einsatz eines Tiefpassfilters unberücksichtigt. Je nach Produktvariante wird die systematische Winkelmessabweichung justiert. Bei der Kalibrierung kommt ein Prüfaufbau mit justierter Mechanik zur Anwendung, um mechanische Einflüsse der Aufspannung während der Messung zu minimieren. Dadurch wird die optimale Genauigkeit und damit der maximale Toleranzbereich erreicht. Für das Prüfsystem führt man eine Messsystemanalyse durch, um für die Prüfung die Messunsicherheit und die Prüfgrenze zu bestimmen.

Die zufällige Winkelmessabweichung, auch Rauschen genannt, wird unabhängig von der systematischen Winkelmessabweichung an mehreren unterschiedlichen Winkelpositionen im Stillstand gemessen. Da die zufällige Winkelmessabweichung nicht vorhersagbar ist, lässt sich diese nicht durch eine Fehlergrenze, sondern nur durch die statistische 1-σ-Wiederholstandardabweichung unter Annahme einer Normalverteilung beschreiben (Abb. 4: Statistisches Rauschen).

Zur Beachtung:

Die Beispiele zur Winkelmessabweichung in den folgenden Abbildungen dienen ausschließlich der Veranschaulichung einer Auswahl potenziell auftretender Effekte und sind nicht maßstäblich bezüglich irgendeines Produkts.

* 1° (1 Grad) = 60' (60 Winkelminuten) = 3600" (3600 Winkelsekunden)

Abweichung vom wahren mechanischen Winkel

Die gemessenen Winkelwerte des Prüflings und des Referenzencoders werden über eine Umdrehung der Welle aufgenommen, um die Winkelmessabweichung zu berechnen. Für den Referenzencoder nimmt man an, dass dieser den wahren mechanischen Winkelwert mit einer bekannten Messunsicherheit wiedergibt, während der Encoder oder das Motor-Feedback-System eine Winkelmessabweichung durch mechanische und/oder elektrische Einflüsse sowie Rauschen erfährt.

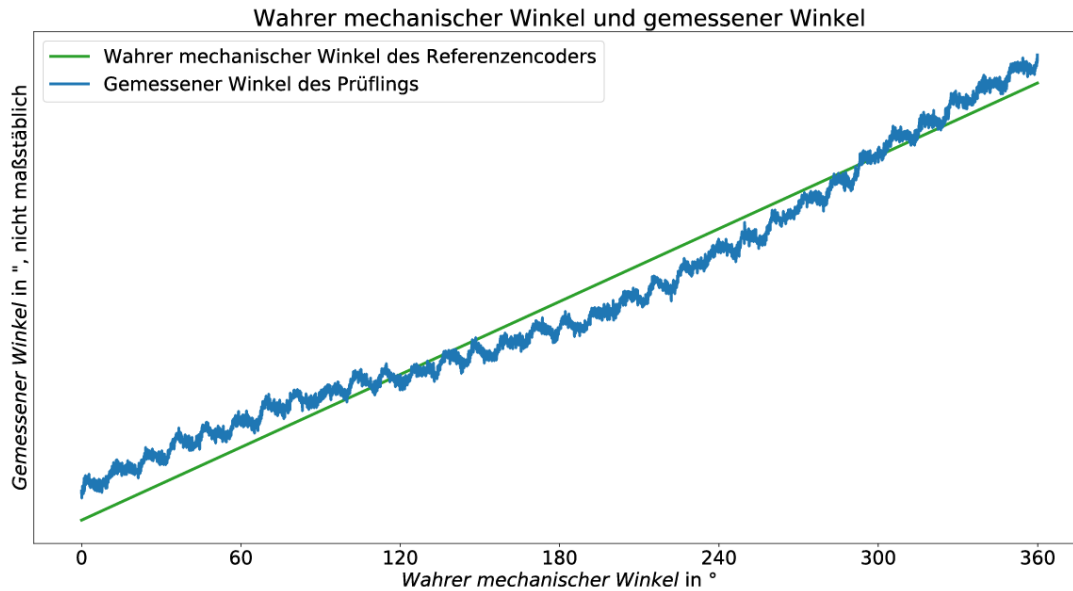


Abb. 1: Wahrer mechanischer Winkel und gemessener Winkel

Winkelmessabweichung

Die gemessenen Winkelwerte einer Umdrehung des Prüflings und des Referenzcoders des Prüfsystems werden voneinander subtrahiert, um die Winkelmessabweichung zu berechnen. Die resultierende Winkelmessabweichung besteht sowohl aus systematischen als auch aus zufälligen Fehlerkomponenten. In der folgenden Abbildung sind beispielhaft systematische Fehlerkomponenten mit 32 Perioden pro Umdrehung, ein einperiodischer Fehler und statistisches Rauschen dargestellt. Die gemessene systematische Winkelmessabweichung ohne das Rauschen muss innerhalb der Fehlergrenze des Datenblatts liegen, die als symmetrische, maximale Abweichung vom wahren mechanischen Winkel des Referenzcoders angegeben ist. Diesen wahren Winkel kann man als relative Winkelposition bezüglich des Nullwinkels oder der Kommutierung der Anwendung betrachten. Letzterer lässt sich über die Vorgabe eines Positionsversatzes einstellen.

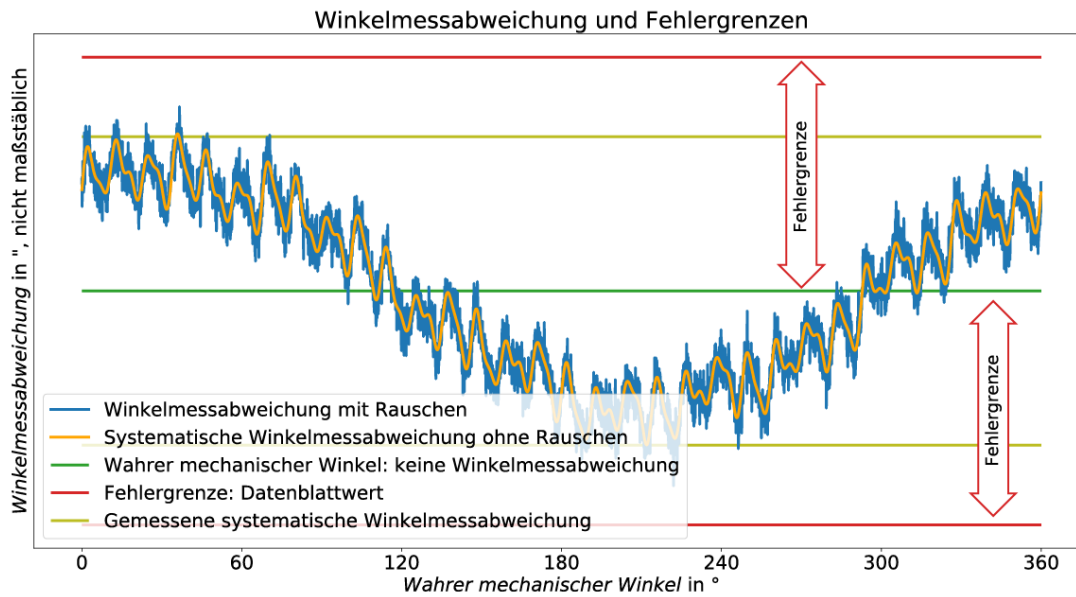


Abb. 2: Winkelmessabweichung und Fehlergrenzen

Frequenzen der Winkelmessabweichung

Die Absolutwerte der Fast-Fourier-Transformation (FFT) der Winkelmessabweichung verdeutlichen die Winkelfrequenzen, d. h. das Auftreten bestimmter Perioden pro Umdrehung. Diese lassen sich den Werten der systematischen Winkelmessabweichung im Datenblatt zuordnen. In der folgenden Abbildung zeigt sich das Auftreten der 32 physikalischen Perioden pro Umdrehung und ihrer Harmonischen, die als DNL angegeben wurden, während der einperiodische Anteil als INL angegeben wurde. Da durch mechanische und/oder elektrische Einflüsse zusätzliche Frequenzen auftreten können, besteht die systematische Winkelmessabweichung nicht nur aus INL und DNL, sondern aus der Summe aller systematischen Einflüsse. Der Rauschanteil in der FFT besteht aus den zufälligen Winkelmessabweichungen.

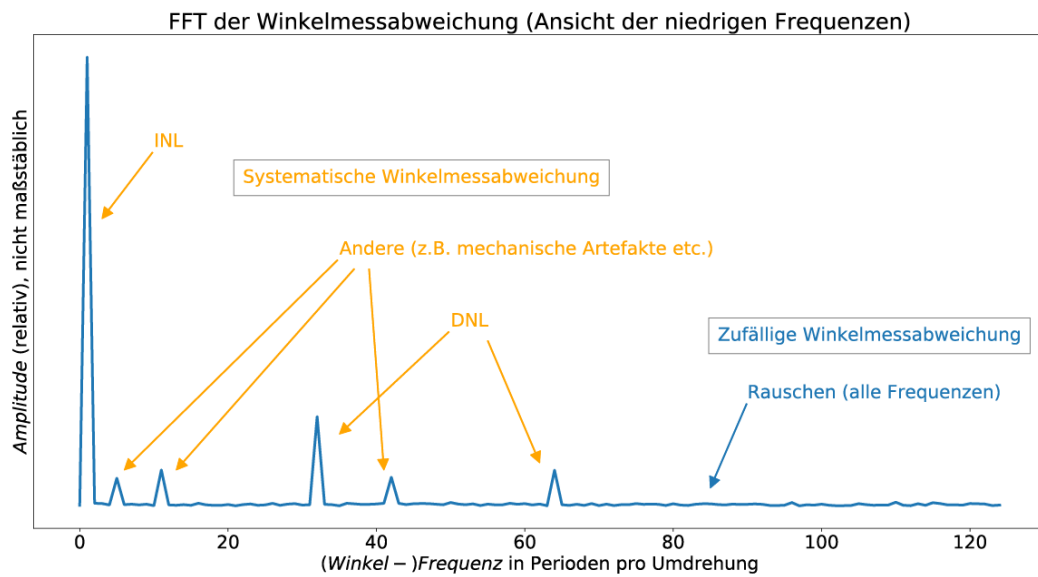


Abb. 3: FFT der Winkelmessabweichung (Ansicht der niedrigen Frequenzen)

Rauschen

Die zufällige Winkelmessabweichung kann man als statistisches Rauschen betrachten, das an unterschiedlichen Winkelpositionen im Stillstand gemessen wird. Der Datenblattwert der symmetrischen 1- σ -Wiederholstandardabweichung gibt diesen Anteil unter Annahme einer Normalverteilung an.

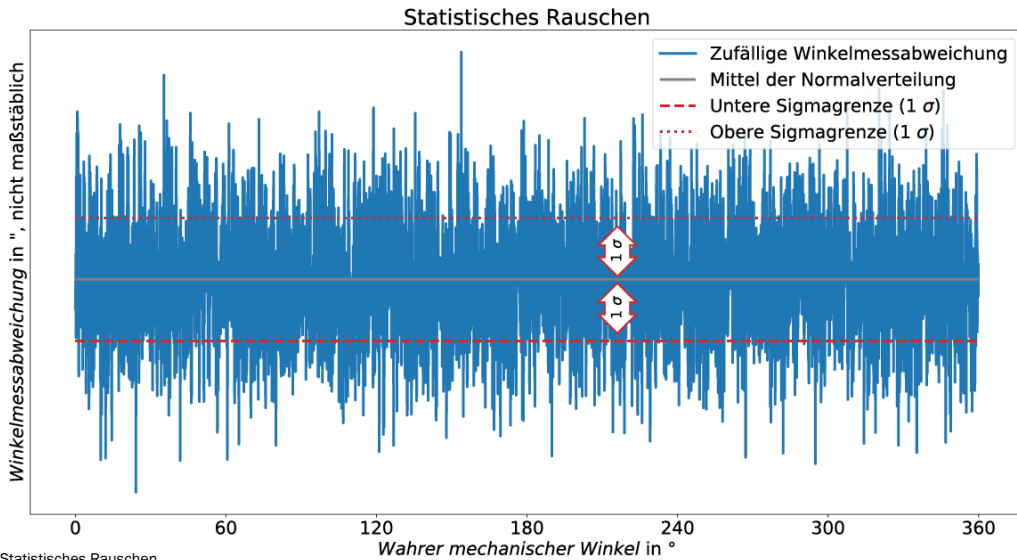


Abb. 4: Statistisches Rauschen

Normalverteilung und Sigma

Das folgende Histogramm des gemessenen Rauschens zeigt dessen Normalverteilung. Aus dieser Normalverteilung kann die 1- σ -Wiederholstandardabweichung berechnet werden. Mindestens 68,3 % aller Messwerte müssen innerhalb dieses Werts liegen.

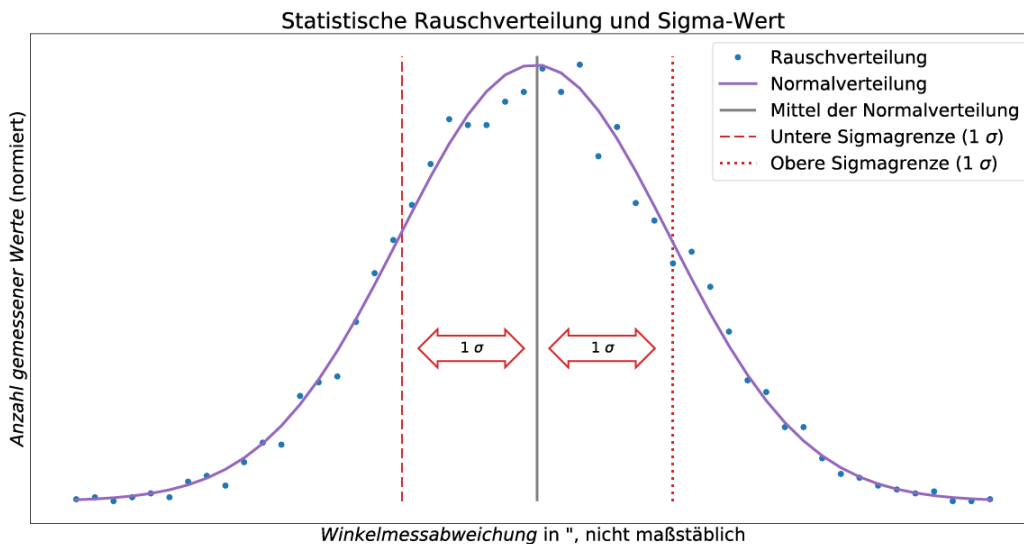


Abb. 5: Statistische Rauschverteilung und Sigma-Wert

Glossar

Begriff	Definition
DNL	Die differenzielle Nichtlinearität (DNL) ist Teil der systematischen Winkelmessabweichung und beschreibt die periodische systematische Winkelmessabweichung in Abhängigkeit von der physikalischen Signalerzeugung, zumeist als Anzahl der Perioden pro Umdrehung und/oder doppelte Anzahl der Perioden pro Umdrehung.
Fehlergrenze	Die Fehlergrenze legt die maximale Abweichung der systematischen Winkelmessabweichung vom wahren mechanischen Winkel fest.
INL	Die integrale Nichtlinearität (INL) ist Teil der systematischen Winkelmessabweichung und beschreibt die einperiodische systematische Winkelmessabweichung pro Umdrehung, die durch eine Exzentrizität des Modulators und/oder durch mechanische Einflüsse der Aufspannung entstehen kann.
Justierung/Justage	Die Justierung oder Justage ist das Einstellen oder Anpassen des Prüflings, sodass die Winkelmessabweichung minimiert wird und die Fehlergrenze nicht überschreitet. Eine Justierung des Prüflings lässt sich nur für die systematische Winkelmessabweichung durchführen.
Kalibrierung	Die Kalibrierung ist der Vergleich der gemessenen Werte mit Referenzwerten von bekannter Genauigkeit unter Berücksichtigung der Messunsicherheit.
Messunsicherheit	Die Messunsicherheit gibt die statistische Streuung der gemessenen Winkelwerte wieder. Alle Messungen unterliegen einer Unsicherheit, sodass eine Messung nur mit einer entsprechenden Messunsicherheit, üblicherweise angegeben als Wiederholstandardabweichung der Streuung, als vollständig gilt.
Systematische Winkelmessabweichung	Die systematische Winkelmessabweichung besteht aus allen systematischen Abweichungen vom wahren mechanischen Winkel, ist vorhersagbar und kann typischerweise ermittelt werden. Sie entsteht hauptsächlich durch mechanische und/oder elektrische Einflüsse sowie durch Umgebungsbedingungen.
Wiederholstandardabweichung	Die Wiederholstandardabweichung beschreibt den maximalen 1- σ -Wert der statistischen Winkelmessabweichung.
Zufällige Winkelmessabweichung	Die zufällige Winkelmessabweichung, die beim Messen immer in Form von nicht vorhersagbaren, inhärenten Schwankungen auftritt, besteht aus allen zufälligen Abweichungen vom wahren mechanischen Winkel. Sie wird durch den statistischen 1- σ -Wert unter Annahme einer Normalverteilung beschrieben.

QUELLEN

[1] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 1319-1:1995 Grundlagen der Messtechnik – Teil 1: Grundbegriffe

[2] JCGM Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – GUM Guide to the expression of uncertainty in measurement

[3] ISO International Organization for Standardization, ISO/IEC GUIDE 98-3:2008 Uncertainty of Measurement – Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in measurement