

DIN EN 62754

ICS 17.220.20

Einsprüche bis 2016-04-26

Entwurf**Berechnung der Messunsicherheiten von Schwingungsabbildparametern
(IEC 85/520/CD:2015)**

Computation of waveform parameter uncertainties
(IEC 85/520/CD:2015)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-02-26 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 100 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Schwingungsabbild-Messung.....	16
4.1 Schwingungsabbild-Parameter	17
4.2 Vorgang der Schwingungsabbild-Messung.....	17
4.2.1 Allgemeine Beschreibung des Messsystems	18
5 Korrektur von Schwingungsabbildern und Schwingungsabbild-Parametern	19
5.1 Korrektur von Schwingungsabbildparametern	19
5.2 Korrektur und Rekonstruktion von Schwingungsabbildern	20
5.2.1 Sample-für-Sample-Korrektur	20
5.2.2 Vollständige Schwingungsabbild-Korrektur.....	21
6 Messunsicherheiten.....	22
6.1 Messunsicherheitsfortpflanzung	22
6.1.1 Unkorrelierte Eingangsgrößen	23
6.1.2 Korrelierte Eingangsgrößen	23
6.2 Gesammelte Daten und deren Standardabweichung	23
6.3 erweiterte Messunsicherheit und Erweiterungsfaktor	25
6.3.1 Effektive Freiheitsgrade.....	27
6.4 Gesamtmessunsicherheiten von Schwingungsabbildern.....	27
7 Messunsicherheiten von Schwingungsabbild-Parametern	29
7.1 Amplitudenparameter	30
7.1.1 Zustandspegel	30
7.1.2 Zustandsgrenzen	35
7.1.3 Schwingungsabbild-Amplitude (Zustandspegel)	36
7.1.4 Impulsamplitude (Zustandspegel)	37
7.1.5 Prozentuale Referenzpegel (Zustandspegel, Schwingungsabbild-Amplitude)	37
7.1.6 Übergangseinschwingfehler (Zustandspegel, Schwingungsabbildamplitude).....	37
7.1.7 Überschwingaberration (Zustandspegel, Schwingungsabbild-Amplitude).....	38
7.1.8 Unterschwingaberration (Zustandspegel, Schwingungsabbild-Amplitude).....	39
7.2 Zeitparameter	39
7.2.1 Erster Moment	39
7.2.2 Schwingungsabbild-Epoche	40
7.2.3 Referenzpegelmomente (prozentuale Referenzpegel, Schwingungsabbild-Epoche, erster Moment)	41
7.2.4 Impulsmittenmoment (Impulsamplitude, Referenzpegelmoment).....	42
7.2.5 Übergangsdauer (Referenzpegelmomente).....	42
7.2.6 Übergangseinschwingdauer (Referenzpegelmomente).....	43
7.2.7 Impulsdauer (Referenzpegelmomente).....	43

	Seite
7.2.8 Impulsabstand (Referenzpegelmomente).....	43
7.2.9 Schwingungsabbild-Verzögerung (Voreilung) (Referenzpegelmomente)	44
8 Monte-Carlo Verfahren für Schätzungen von Schwingungsabbild-Unsicherheiten	44
8.1 Allgemeine Anleitung und Betrachtungen	44
8.2 Beispiel: Zustandspegel	44
Anhang A (informativ) Demonstrationsbeispiel für die Berechnung der Unsicherheit von Zustandspegeln unter Verwendung der Histogramm-Moden nach 7.1.1.1	45
A.1 Schwingungsabbild-Messung	45
A.2 Aufspaltung des bimodalen Histogramms und Bestimmung der Zustandspegel	45
A.3 Unsicherheit von Zustandspegeln	46
Anhang B (informativ) Berechnung von Σ_L und Σ_Y zur Schätzung der Unsicherheit von Zustandspegeln unter Verwendung des Shorth-Verfahrens nach 7.1.1.2	48
Literaturhinweise	50
Bilder	
Bild 1 – Referenzpegel, Referenzpegelmomente, Amplitude des Schwingungsabbildes, Übergangsdauereines einzelnen Übergangs in positiver Richtung	7
Bild 2 – Überspringen, Unterschwingen, Zustandspegel und Zustandsgrenzen eines einzelnen Übergangs in positiver Richtung	12
Bild 3 – Erzeugung gemessener, korrigierter, rekonstruierter Schwingungsabbilder und abschließende Schätzung des Eingangssignals	17
Bild 4 – Beispiele von Grenzwerten eines Schwingungsabbildes mit Schwerpunkt auf Kurvenformen, die die Impulsparameter-Messungen beeinflussen	28
Bild 5 – Zusammenhang zwischen ausgewählten Schwingungsabbild-Parametern	30
Bild A.1 – Erfasstes Schwingungsabbild aus der Messung eines stufenförmigen Signals, aus dem die Zustandspegel und Unsicherheiten berechnet wurden	45
Bild A.2 – Histogramme der Zustände s_1 (a) und s_2 (b) des in A.1 dargestellten stufenförmigen Schwingungsabbildes	46
Bild B.1 – Diagramm zur Lage der Schwingungsabbild-Elemente, $y_{(\beta)}^{(\alpha)}$ in Y_1 und Y_2 sowie Zusammensetzung von Y aus Y_1 und Y_2	48
Tabellen	
Tabelle 1 – Wert des Erweiterungsfaktors k_p , der die Wahrscheinlichkeit p der t -Verteilung für verschiedene Freiheitsgrade umfasst (aus ISO/IEC Guide 98-3)	26
Tabelle 2 – Verschiedene Methoden zur Bestimmung von Zustandspegeln nach IEC 60469, sowie deren Unsicherheitstyp und Berechnungsverfahren	31
Tabelle 3 – Verschiedene Methoden zur Bestimmung von Zustandsgrenzen, deren Unsicherheitstyp und Berechnungsverfahren	36
Tabelle 4 – Zur Unsicherheit im Überspringen beitragende Variablen	39
Tabelle 5 – Zur Messunsicherheit des Referenzpegelmoments beitragende Variablen	42
Tabelle A.1 – Unsicherheitsbeiträge und Gesamtunsicherheiten für $Pegel(s_i)$, bestimmt via Histogramm-Moden. Die Unsicherheit der Histogramm-Moden ist $u_{A_{bin,i}} = \sqrt{A_{bin,i}^2 / 12}$	47

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 85/520/CD:2015 „Computation of waveform parameter uncertainties“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 85 „Measuring equipment for electrical and electromagnetic quantities“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 964 „Messgeräte für elektrische bzw. elektromagnetische Größen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnitsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Berechnung der Messunsicherheiten von Schwingungsabbildparametern

1 Anwendungsbereich

Diese vorliegende Norm IEC 62754 legt Verfahren für die Berechnung von Zeit- und Amplitudenparametern sowie deren zugehörige Unsicherheit für stufenartige und impulsartige Wellenformen fest. Diese Norm ist anwendbar auf alle Branchen, die diese Arten von Impulsen erzeugen, übertragen, erfassen, empfangen, messen und / oder analysieren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO/IEC Guide 99:2012, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement*

JCGM 101:2008, *Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method*

JCGM 102:2011, *Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Extension to any number of output quantities*

IEC 60469:2013, *Transitions, pulses and related waveforms – Terms, definitions and algorithms*

IEC 60359:2001, *Electrical and electronic measurement equipment – Expression of performance*

IEEE Std. 1057-2007, *IEEE Standard for Digitizing Waveform Recorders*

ISO 10012-1:1997, *Quality assurance for measuring equipment – Part 2: Guidelines for control of measurement processes*

ISO 7870-1:2007, *Control Charts – Part 1: General guidelines*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

Alle definierten Begriffe erscheinen in Kursivschrift in dieser Norm.

3.1

Aberrationsbereich

(en: aberration region)

[IEC 60469, Definition 3.2.1]

3.1.1

Nachübergangs-Aberrationsbereich

(en: post-transition aberration region)

Zeitintervall zwischen einem benutzerdefinierten *Moment* und einem festen *Moment*, wobei der feste *Moment* der erste Abtastmoment ist, der dem 50%-Referenzpegelmoment folgt, bei welchem der entsprechende Wert des *Schwingungsabbildes* innerhalb der *Zustandsgrenzen* des *Zustands* liegt, der dem 50%-Referenzpegelmoment folgt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der benutzerdefinierte *Moment* tritt nach dem festen *Moment* auf und ist üblicherweise gleich dem festen *Moment* plus dem Dreifachen der *Übergangsdauer*.

[IEC 60469, Definition 3.2.1.1]

3.1.2

Vorübergangs-Aberrationsbereich

(en: pre-transition aberration region)

Zeitintervall zwischen einem benutzerdefinierten *Moment* und einem festen *Moment*, wobei der feste *Moment* der erste Abtastmoment ist, der vor dem 50-%-Referenzpegelmoment liegt, bei welchem der entsprechende Wert des Schwingungsabbildes innerhalb der Zustandsgrenzen des Zustands liegt, der vor dem 50-%-Referenzpegelmoment liegt

[IEC 60469, Definition 3.2.1.2]

3.2

Amplitude

(en: amplitude)

[IEC 60469, Definition 3.2.3]

3.2.1

Impulsamplitude

(en: impulse amplitude)

Differenz zwischen dem festgelegten Pegel, der dem maximalen Spitzenwert (minimalen Spitzenwert) des positiven (negativen) impulsförmigen Schwingungsabbildes und dem Pegel des Zustandes entspricht, der dem ersten Übergang dieses impulsförmigen Schwingungsabbildes vorangeht

[IEC 60469, Definition 3.2.3.1]

3.2.2

Amplitude des Schwingungsabbildes

(en: waveform amplitude)

Differenz zwischen den *Pegeln* von zwei verschiedenen *Zuständen* eines *Schwingungsabbildes*

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm werden zwei unterschiedliche Definitionen für die *Amplitude* des *Schwingungsabbildes* autorisiert, weil sie beide im allgemeinen Gebrauch sind (siehe 3.2.3.3 und 3.2.3.4). Bei allen Anwendungen dieser Norm ist die ausgewählte Definition eindeutig anzugeben. Die zwei Definitionen lauten:

[IEC 60469, Definition 3.2.3.2] (siehe Bild 1)

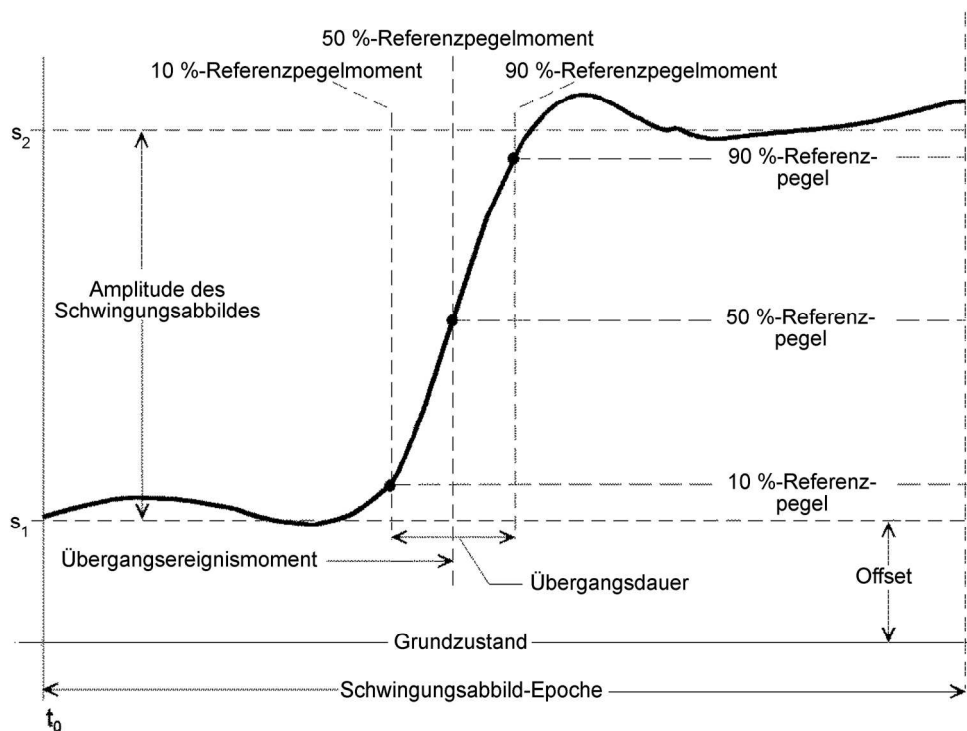


Bild 1 – Referenzpegel, Referenzpegelmomente, Amplitude des Schwingungsabbildes, Übergangsdauereines einzelnen Übergangs in positiver Richtung

3.2.2.1

vorzeichenbehaftete Amplitude des Schwingungsabbildes

(en: signed waveform amplitude)

Pegel des Zustandes nach einem Übergang minus dem Pegel des Zustandes vor demselben Übergang

[IEC 60469, Definition 3.2.3.3]

3.2.2.2

vorzeichenlose Amplitude des Schwingungsabbildes

(en: unsigned waveform amplitude)

Absolutwert der vorzeichenbehafteten Amplitude des Schwingungsabbildes

[IEC 60469, Definition 3.2.3.4]

3.3

Korrektur

(en: correction)

Vorgang, der die Ergebnisse des Umwandlungsvorgangs mit der Information der Übertragungsfunktion kombiniert, um ein *Schwingungsabbild* zu erhalten, mit dem das *Signal* präziser dargestellt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Korrektur kann durch einen manuellen Vorgang des Bedieners, einen Berechnungsvorgang oder ein Kompensationsbauelement oder -gerät vorgenommen werden. Die Korrektur muss mit einer Genauigkeit ausgeführt werden, die mit der beim *Messvorgang des Schwingungsabbildes* angestrebten Gesamtgenauigkeit vereinbar ist.

[IEC 60469, Definition 3.2.4]

3.4

Erweiterungsfaktor

(en: coverage factor)

Zahl größer als oder gleich eins, mit der eine *kombinierte Standardunsicherheit* multipliziert wird, um eine *erweiterte Standardmessunsicherheit* zu erhalten [ISO/IEC Guide 99, Definition 2.37]; verwendet wird ein

numerischer Faktor als Multiplikator der *kombinierten Standardunsicherheit*, um eine *erweiterte Unsicherheit* zu erhalten.

[ISO/IEC Guide 98-3, Definition 2.3.6]

3.5

Freiheitsgrad

(en: degrees of freedom)

im Allgemeinen die Anzahl der Terme in einer Summe abzüglich der Anzahl von Einschränkungen auf die Terme der Summe

[ISO/IEC Guide 98-3, Definition C.2.31]

3.6

Impulsantwort

(en: impulse response)

Ausgangssignal eines Instruments, Geräts oder Systems, welches das Resultat eines *Eingangssignals* ist, wobei dieses *Eingangssignal* durch eine Einheitsimpulsfunktion $\delta(t)$ beschrieben werden kann:

$$\begin{aligned}\delta(t = 0) &= 1 \\ \delta(t \neq 0) &= 0\end{aligned}\tag{1}$$

3.7

Moment

(en: instant)

bestimmter Zeitpunkt innerhalb einer *Schwingungsabbild-Epoche*, der, wenn nichts anderes festgelegt ist, auf den *ersten Moment* der *Schwingungsabbild-Epoche* bezogen wird

[IEC 60469, Definition 3.2.13]

3.8

Erster Moment

(en: instant, initial)

erster *Moment* im *Schwingungsabbild*

[IEC 60469, Definition 3.2.13.3]

3.9

Impulsmittenmoment

(en: instant, impulse center)

Moment, zu dem eine benutzerdefinierte Annäherung an den *maximalen Spitzenwert* (*minimalen Spitzenwert*) des positiven (negativen) *impulsförmigen Schwingungsabbildes* auftritt

3.10

Referenzpegelmoment

(en: instant, reference level)

Moment, an dem das Schwingungsabbild einen festgelegten Referenzpegel schneidet

[IEC 60469, Definition 3.2.13.5] (siehe Bild 1)

3.11

Zeitintervall

(en: interval)

Reihe aller Werte der Zeit zwischen einem ersten *Moment* und einem zweiten *Moment*, wobei der zweite *Moment* zeitlich nach dem ersten *Moment* liegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese ersten und zweiten *Momente* werden als Endpunkte des *Zeitintervalls* bezeichnet. Die Endpunkte werden als Teil des *Zeitintervalls* angenommen, sofern nicht anders festgelegt.

[IEC 60469, Definition 3.2.15]

3.12

Pegel

(en: level)

konstanter Wert, der die gleichen Einheiten wie y [das *Signal*] besitzt

[IEC 60469, Definition 3.2.17] (siehe Bild 1)

3.13

prozentualer Referenzpegel

(en: percent reference level)

Referenzpegel, der festgelegt ist durch:

$$y_{x\%} = y_{0\%} + \frac{x}{100}(y_{100\%} - y_{0\%}), \quad (2)$$

Dabei ist

$0\% < x < 100\%$;

$y_{0\%}$ = *Pegel des niedrigen Zustandes*;

$y_{100\%}$ = *Pegel des hohen Zustandes*;

$y_{0\%}$, $y_{100\%}$ und $y_{x\%}$ haben alle die gleiche Einheit.

Häufig verwendete Referenzpegel sind: 0 %, 10 %, 50 %, 90 % und 100 %.

[IEC 60469, Definition 3.2.17.3] (siehe Bild 1)

3.14

Messgröße

(en: measurand)

Größe, die gemessen werden soll

[ISO/IEC Guide 99, Definition 2.3]

3.15

Modell der Messung

(en: measurement model, model of measurement, model)

mathematische Beziehung zwischen allen Größen, von denen bekannt ist, dass sie an einer Messung beteiligt sind

[ISO/IEC Guide 99, Definition 2.48]

3.16

Messunsicherheit

(en: measurement uncertainty, uncertainty of measurement, uncertainty)

nichtnegativer Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die der Messgröße auf der Grundlage der benutzten Informationen beigeordnet ist

[ISO/IEC Guide 99, Definition 2.26]

Parameter, der dem Ergebnis einer Messung beigeordnet ist, welcher die Streuung der Werte kennzeichnet, die der Messgröße sinnvoll zugeordnet werden können

[ISO/IEC Guide 98-3, Definition 2.2.3]

3.16.1

Standardmessunsicherheit

(en: standard measurement uncertainty, standard uncertainty of measurement, standard uncertainty)
Messunsicherheit, ausgedrückt als eine Standardabweichung

[ISO/IEC Guide 99, Definition 2.29]

Unsicherheit eines Messergebnisses, ausgedrückt als eine Standardabweichung

[ISO/IEC Guide 98-3, Definition 2.3.1]

3.16.2

kombinierte Standardmessunsicherheit

(en: combined standard measurement uncertainty, combined standard uncertainty)
Standardmessunsicherheit, die man erhält, indem man die einzelnen Standardmessunsicherheiten verwendet, die den Eingangsgrößen des Modells der Messung beigeordnet werden

[ISO/IEC Guide 99, Definition 2.30]

Standardunsicherheit eines Messergebnisses, wenn das Ergebnis aus den Werten einer Reihe von anderen Größen gleich der positiven Quadratwurzel einer Summe von Termen besteht, wobei die Terme als Varianzen oder Kovarianzen dieser anderen Größen danach gewichtet sind, wie das Messergebnis mit der Änderung dieser Größen variiert.

[ISO/IEC Guide 98-3, Definition 2.3.4]

3.16.3

erweiterte Messunsicherheit

(en: expanded measurement uncertainty, expanded uncertainty)
Produkt aus einer *kombinierten Standardmessunsicherheit* und einem Faktor, der größer als eins ist

[ISO/IEC Guide 99, Definition 2.35]

Intervalllänge über das Ergebnis einer Messung, von dem die Überdeckung eines großen Anteils der gestreuten Werte zu erwarten ist, die dem Messwert sinnvoll zugeordnet werden können

[ISO/IEC Guide 98-3, Definition 2.3.5]

3.16.4

Gerätemessunsicherheit

(en: instrumental measurement uncertainty, instrumental uncertainty)
Komponente der *Messunsicherheit*, die von einem im Gebrauch befindlichen Messgerät oder Messsystem herrührt

[ISO/IEC Guide 99, Definition 4.24]

3.16.4.1

Eigenunsicherheit eines Messgeräts

(en: intrinsic instrumental uncertainty, intrinsic uncertainty)
Messunsicherheit eines Messgeräts beim Betrieb unter Referenzbedingungen

[IEC 60359, Definition 3.2.10]

3.16.4.2

Betriebsunsicherheit des Messgeräts

(en: operating instrumental uncertainty)
Geräteunsicherheit unter Bemessungsbedingungen

[IEC 60359, Definition 3.2.11]

3.17

Überschwingen

(en: overshoot)

Aberration des Schwingungsabbildes innerhalb eines Nachübergangs-Aberrationsbereichs oder Vorübergangs-Aberrationsbereichs, die höher ist als die obere Zustandsgrenze des zugehörigen Zustandspegels

[IEC 60469, Definition 3.2.19] (siehe Bild 2)

3.18

Parameter

(en: parameter)

jeder Wert (Maßzahl mit Einheit) der aus einem *Schwingungsabbild* berechnet werden kann

[IEC 60469, Definition 3.2.20]

3.19

Maximaler Spitzenwert (minimaler)

(en: peak, maximum (minimum))

bezieht sich auf den größten (kleinsten) Wert des *Schwingungsabbildes*

[IEC 60469, Definition 3.2.21 und Definition 3.2.22]

3.20

Impulsdauer

(en: pulse duration)

Differenz zwischen den ersten und zweiten *Übergangereignismomenten*

[IEC 60469, Definition 3.2.27]

3.21

Impulsabstand

(en: pulse separation)

sofern nicht anders festgelegt, die *Dauer* zwischen dem 50-%-Referenzpegelmoment des zweiten *Übergangs* eines *Impulses* einer *Impulsfolge* und des *ersten Übergangs* des unmittelbar nachfolgenden *Impulses* derselben *Impulsfolge*

[IEC 60469, Definition 3.2.28]

3.22

Rekonstruktion

(en: reconstruction, waveform deconvolution)

Vorgang zur Beseitigung des Einflusses von Messgerät, Steckern, Kabeln, und Jitter auf das gemessene *Schwingungsabbild*

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Vorgang entfernt die Impulsantwort des Messgerätes aus dem *Schwingungsabbild*

3.23

Abtastung

(en: sample)

Bestandteil eines *abgetasteten Schwingungsabbildes* zu einer vorgegebenen Zeit, angegeben in der Einheit der Amplitude des *Signals*

3.24

Signal

(en: signal)

physikalisches Phänomen, von dem eine oder mehrere seiner Eigenschaften variieren, um Informationen darzustellen

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Phänomen ist eine Funktion der Zeit.

[IEC 60469, Definition 3.2.28]

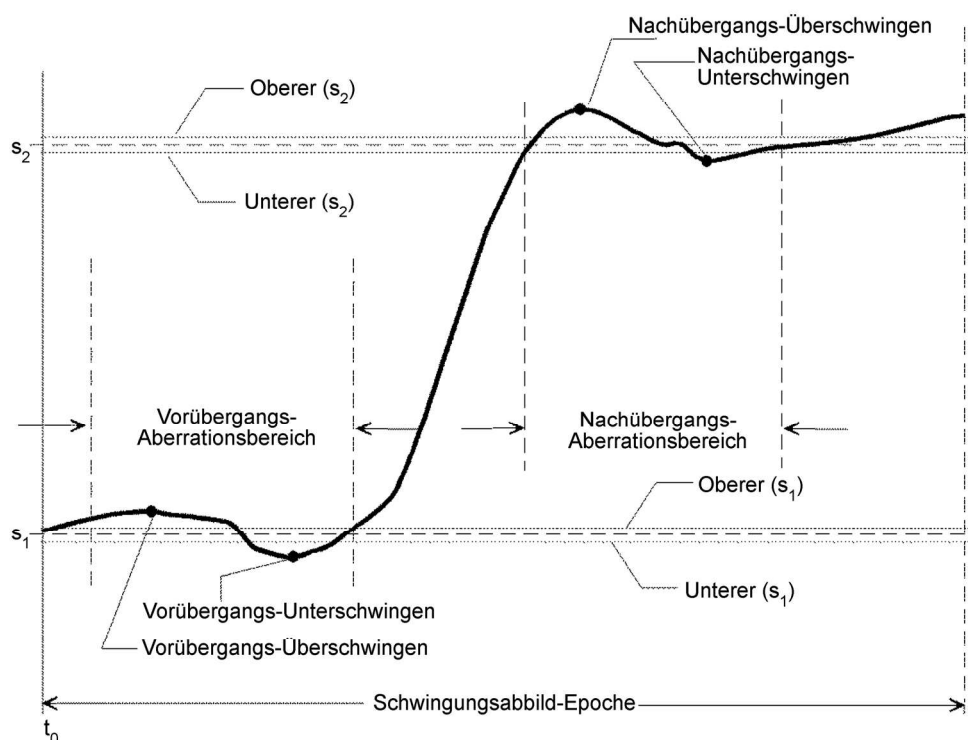


Bild 2 – Überspringen, Unterschwingen, Zustandspegel und Zustandsgrenzen eines einzelnen Übergangs in positiver Richtung

3.25

Zustand

(en: state)

bestimmter *Pegel* oder, sofern anwendbar, ein bestimmter *Pegel* und obere und untere Grenzwerte (die oberen und unteren *Zustandsgrenzen*), die auf diesen *Pegel* bezogen werden oder damit in Verbindung stehen.

Anmerkung 1 zum Begriff: Sofern nicht anders festgelegt, werden mehrere *Zustände* vom negativsten *Pegel* zum positivsten *Pegel* geordnet und die *Zustandspegel* dürfen sich nicht überschneiden. Der negativste *Zustand* wird als *Zustand 1* bezeichnet. Der positivste *Zustand* wird als *Zustand n* bezeichnet. Die *Zustände* werden mit $s_1, s_2, \dots, s_n$ symbolisiert; die *Zustandspegel* werden mit $\text{Pegel}(s_1), \text{Pegel}(s_2), \dots, \text{Pegel}(s_n)$, die oberen *Zustandsgrenzen* werden mit $\text{obere}(s_1), \text{obere}(s_2), \dots, \text{obere}(s_n)$, und die unteren *Zustandsgrenzen* werden mit $\text{untere}(s_1), \text{untere}(s_2), \dots, \text{untere}(s_n)$ symbolisiert.

[IEC 60469, Definition 3.2.40] (siehe Bild 2)

3.26

Zustandsgrenzen

(en: state boundaries)

obere und untere Grenzwerte der *Zustände* eines *Schwingungsabbildes*

Anmerkung 1 zum Begriff: Alle Werte eines *Schwingungsabbildes*, die innerhalb der Grenzen eines bestimmten Zustandes liegen, gelten als dieser Zustand. Die *Zustandsgrenzen* werden vom Anwender definiert.

[IEC 60469, Definition 3.2.41] (siehe Bild 2)

3.27**Zustandsereignis**

(en: state occurrence)

zusammenhängender Bereich eines *Schwingungsabbildes*, der durch die oberen und unteren *Zustandsgrenzen* eines *Zustandes* beschränkt ist und dessen *Dauer* der festgelegten *Mindestdauer* für das Erreichen des *Zustandes* entspricht oder sie überschreitet. Das *Zustandsereignis* besteht aus dem gesamten Bereich des *Schwingungsabbildes*, der innerhalb der Grenzen dieses *Zustandes* bleibt

Anmerkung 1 zum Begriff: *Zustandsereignisse* werden als geordnete Paare (s_i, n) nummeriert, dabei verweist s_i auf den i -ten Zustand, und n ist die Nummer des Ereignisses dieses bestimmten *Zustandes* innerhalb der *Schwingungsabbild-Epoche*. In einer bestimmten *Schwingungsabbild-Epoche*, bei der das *Schwingungsabbild* zuerst einen Zustand s_1 einnimmt, wird dieses *Zustandsereignis* mit $(s_1, 1)$ symbolisiert. Dieses *Zustandsereignis* ist vorbei, wenn das *Schwingungsabbild* diesen Zustand verlässt. Wenn das *Schwingungsabbild* das nächste Mal den Zustand s_1 einnimmt, dann würde dieses *Zustandsereignis* mit $(s_1, 2)$ symbolisiert werden, usw.

[IEC 60469, Definition 3.2.42]

3.28**Zeitbasis**

(en: timebase)

Komponente eines Messgeräts, welche einen einzelnen *Moment* für jede Abtastung in einem abgetasteten *Schwingungsabbild* vorgibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die *Zeitbasis* liefert einen Vektor von *Abtastmomenten*, wobei jeder *Moment* zu einer einzelnen Abtastung im *Schwingungsabbild* gehört. Oft ist das Zeitintervall zwischen *Abtastmomenten* nicht gleichmäßig und weist sowohl systematische als auch zufällige Fehler auf.

3.29**Übergang**

(en: transition)

zusammenhängender Bereich eines *Schwingungsabbildes*, der zwei *Zustandsereignisse*, die zeitlich aufeinander folgend und Ereignisse unterschiedlicher Zustände sind, entweder direkt oder über dazwischenliegende *Transienten* verbindet

[IEC 60469, Definition 3.2.47]

3.29.1**Übergang in negativer Richtung**

(en: negative-going transition)

Übergang, dessen *Endzustand* negativer als sein ursprünglicher Zustand ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Endpunkte des *Übergangs in negativer Richtung* stellen den letzten Austritt des *Schwingungsabbildes* aus einer höheren *Zustandsgrenze* und den ersten Eintritt des *Schwingungsabbildes* in eine niedrigere *Zustandsgrenze* dar.

[IEC 60469, Definition 3.2.47.1]

3.29.2**Übergang in positiver Richtung**

(en: positive-going transition)

Übergang, dessen *Endzustand* positiver als sein ursprünglicher Zustand ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Endpunkte des *Übergangs in positiver Richtung* stellen den letzten Austritt des *Schwingungsabbildes* aus einer niedrigeren *Zustandsgrenze* und den ersten Eintritt des *Schwingungsabbildes* in eine höhere *Zustandsgrenze* dar.

[IEC 60469, Definition 3.2.47.3]

3.30**Übergangsdauer**

(en: transition duration)

Differenz zwischen den zwei *Referenzpegelmomenten* desselben Übergangs

Anmerkung 1 zum Begriff: Die zwei Referenzpegel sind die 10-%- und 90-%-Referenzpegel, sofern nicht anders festgelegt.

[IEC 60469, Definition 3.2.48]

3.31**Übergangseignismoment**

(en: transition occurrence instant)

der erste 50-%-Referenzpegelmoment beim *Übergang* eines *stufenförmigen Schwingungsabbildes*, sofern nicht anders festgelegt

[IEC 60469, Definition 3.2.13.6] (siehe Bild 1)

3.32**Übergangseinschwingdauer**

(en: transition settling duration)

Zeitintervall zwischen dem 50-%-Referenzpegelmoment, sofern nicht anders festgelegt, und dem *Endmoment*, an dem das *Schwingungsabbild* die *Zustandsgrenze* eines festgelegten *Zustandes* bei seiner Annäherung an diesen *Zustand* überschreitet

[IEC 60469, Definition 3.2.49]

3.33**Übergangseinschwingfehler**

(en: transition settling error)

maximaler Fehler zwischen einem Wert des *Schwingungsabbildes* und einem festgelegten *Referenzpegel* innerhalb eines benutzerdefinierten *Zeitintervalls* der *Schwingungsabbild-Epoche*. Das *Zeitintervall* beginnt an einem benutzerdefinierten *Moment* in Bezug auf den 50-%-Referenzpegelmoment

[IEC 60469, Definition 3.2.50]

3.34**Unterschwingen**

(en: undershoot)

Aberration des *Schwingungsabbildes* innerhalb eines *Nachübergangs-Aberrationsbereichs* oder *Vorübergangs-Aberrationsbereichs*, der kleiner als die untere *Zustandsgrenze* des zugehörigen *Zustandspegels* ist. Wenn es mehr als eine dieser *Aberrationen* des *Schwingungsabbildes* gibt, dann ist diejenige mit dem größten Betrag das *Unterschwingen*, sofern nicht anders festgelegt

[IEC 60469, Definition 3.2.53] (siehe Bild 2)

3.35**Schwingungsabbild**

(en: waveform)

Darstellung eines *Signals* (z. B. grafisch, punktweise, Oszilloskopdarstellung, diskrete Zeitfolgen, Gleichungen oder Wertetabellen).

Anmerkung 1 zum Begriff: Es ist zu beachten, dass sich der Begriff *Schwingungsabbild* auf eine gemessene oder anderweitig definierte Schätzung des physikalischen Phänomens oder *Signals* bezieht.

[IEC 60469, Definition 3.2.54]

3.35.1

Schwingungsabbild, korrigiert

(en: waveform, corrected)

abgetastetes *Schwingungsabbild*, das das Ergebnis der Anwendung von *Korrekturen* auf das gemessene *Schwingungsabbild* ist

3.35.2

Schwingungsabbild, impulsförmig

(en: waveform, impulse-like)

Schwingungsabbild, welches beim Falten mit einer idealen Stufe zu einem *stufenförmigen Schwingungsabbild* führt

[IEC 60469, Definition 3.2.54.2]

3.35.3

Schwingungsabbild, gemessen

(en: waveform, measured)

abgetastetes Schwingungsabbild, das die Ausgabe eines Messsystems ist, bevor jegliche Korrekturen oder Rekonstruktionen angewendet werden

3.35.4

Schwingungsabbild, rekonstruiert

(en: waveform, reconstructed)

abgetastetes Schwingungsabbild, das das Ergebnis der Anwendung von Rekonstruktionsverfahren auf das korrigierte Schwingungsabbild ist

3.35.5

Schwingungsabbild, Referenz-

(en: waveform, reference)

Schwingungsabbild, mit dem andere *Schwingungsabbilder* verglichen werden

[IEC 60469, Definition 3.2.54.3]

3.35.6

Darstellung eines abgetasteten Schwingungsabbildes

(en: sampled waveform representation)

Schwingungsabbild bestehend aus einer Reihe von abgetasteten numerischen Werten, die sequentiell oder nichtsequentiell als Funktion der Zeit erfasst werden

[IEC 60469, Definition 3.2.61.2]

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies wird auch als *abgetastetes Schwingungsabbild* benannt, und der Vorgang wird als Abtastung bezeichnet.

3.36

Schwingungsabbild-Aberration

(en: waveform aberration)

algebraische Differenz zwischen den Werten eines *Schwingungsabbildes* und eines *Referenz-Schwingungsabbildes* zu allen entsprechenden *Momenten* in einer festgelegten *Schwingungsabbild-Epoche*

[IEC 60469, Definition 3.2.55]

3.37

Schwingungsabbild-Verzögerung (Voreilung)

(en: waveform delay (advance))

Dauer zwischen den *Momenten* des ersten *Übergangsereignisses* von zwei *Schwingungsabbildern*

[IEC 60469, Definition 3.2.56]

3.38**Schwingungsabbild-Epoche**

(en: waveform epoch)

Zeitintervall, auf das ein *Schwingungsabbild* für eine bestimmte Berechnung, ein bestimmtes Verfahren oder eine Diskussion eingeschränkt ist. Außer wenn es anders festgelegt ist, wird die *Schwingungsabbild-Epoche* als der Bereich angenommen, in dem das *Schwingungsabbild* gemessen oder bestimmt wird

[IEC 60469, Definition 3.2.57]

3.39**Messvorgang eines Schwingungsabbildes**

(en: waveform measurement process)

Ausführung eines Verfahrens zur Messung des *Schwingungsabbildes* unter Berücksichtigung spezifischer Einrichtungen, Geräte, Instrumente, Hilfseinrichtungen, Bedingungen, Bediener und Beobachter.

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei diesem Vorgang wird den Elementen des *Schwingungsabbildes* ein Messwert (Maßzahl und Einheit) zugeordnet.

[IEC 60469, Definition 3.2.59]

3.40**Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgerät**

(en: waveform recorder)

Instrument oder Gerät zum Erfassen und anschließenden Speichern einer Folge von Daten, die dem gemessenen Signal entsprechen

4 Schwingungsabbild-Messung

Ein *Signal* ist das zu untersuchende physikalische Ereignis, und muss gemessen werden. Ein *Schwingungsabbild* ist eine Darstellung dieses *Signals* und ist zum Zweck dieser Norm das Ergebnis eines *Schwingungsabbild-Messvorgangs*. Obwohl ein *Schwingungsabbild* auf verschiedene Weise dargestellt werden kann, wird hier nur eine *abgetastete Schwingungsabbild-Darstellung* des gemessenen oder anderweitig geschätzten *Signals* betrachtet. Ein *abgetastetes Schwingungsabbild* wird sowohl in der *Amplitude* wie auch der *Zeit* aufgrund der Digitalisierung durch das *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgerät* diskretisiert. Zeit-Digitalisierung führt zu einer Darstellung des *Schwingungsabbildes* als eine Reihe diskreter *Schwingungsabbild-Abtastungen*. Aufgrund der Amplituden-Digitalisierung erhält jede *Schwingungsabbild-Abtastung* einen diskreten Wert. Das *Schwingungsabbild* kann aus jedem *Signal* bestehen, von einem ultraschnellen optischen Impuls bis zu einem ultralangsamem geologischen Ereignis. Das *abgetastete Schwingungsabbild* $y[t_n]$ kann mathematisch dargestellt werden als:

$$y[t_n] = \sum_{n=0}^{N-1} y(t) \delta(t - n\Delta t), \quad (3)$$

wobei $y(t)$ das Eingangssignal des *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgeräts* ist, t die *Zeit*, n der diskrete Zeitindex, N die Anzahl der *Abtastungen* im *Schwingungsabbild*, Δt das diskrete Zeitinkrement und δ die Einheitsimpulsfunktion ($\delta(t=0)=1$; $\delta(t \neq 0)=0$). Diese Gleichung beschreibt einen idealisierten Zustand, in dem die Messsystemantwort eine Einheitsimpulsfunktion ist, die Abtastintervalle sind äquidistant und es gibt kein Rauschen, das vom Messsystem eingebracht wurde.

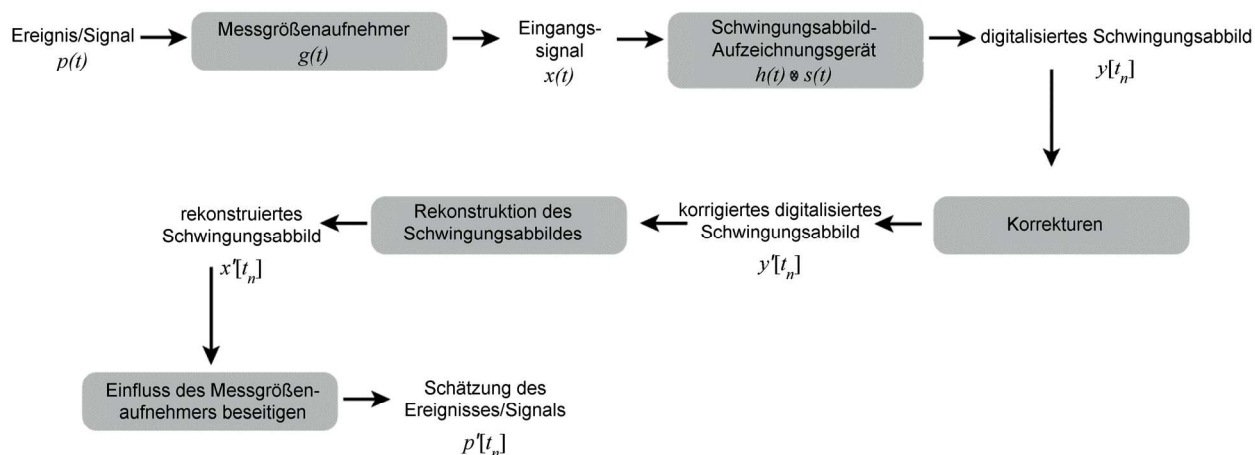


Bild 3 – Erzeugung gemessener, korrigierter, rekonstruierter Schwingungsabbilder und abschließende Schätzung des Eingangssignals

Der Vorgang der *Schwungsabbildmessung* ist schematisch in Bild 3 dargestellt und ergibt das *gemessene Schwingungsabbild*, das als *abgetastetes Schwingungsabbild* dargestellt ist. Nachträgliche *Korrekturen* führen zu zunehmend genaueren Schätzungen des Eingangssignals. Aufgrund der Komplexität der Berechnung von Messunsicherheiten für *Schwungsabbildparameter* gilt diese Version der Norm nur für *gemessene Schwingungsabbilder*. *Korrigierte Schwingungsabbilder* und *rekonstruierte Schwingungsabbilder* werden in einer nachfolgenden Ausgabe behandelt, werden jedoch kurz in Abschnitt 5 diskutiert.

4.1 Schwingungsabbild-Parameter

Schwungsabbild-Parameter sind Werte, die wichtige Merkmale eines *Schwungsabbildes* darstellen. Typischerweise beschreiben *Schwungsabbild-Parameter* deutliche Merkmale eines *Schwungsabbildes*, die Diskussion, Analyse und Vergleich von *Schwungsabbildern* ermöglichen. Diese *Parameter* sind zusammen mit ihren Definitionen in der IEC 60469 bereitgestellt.

Nachfolgend werden Verfahren zur Berechnung von *Messunsicherheiten* für eine gegebene Reihe von *Schwungsabbild-Parametern* entwickelt, die einem *gemessenen Schwingungsabbild* entnommen wurden. Weiter werden Informationen über die Leistungsanforderungen in Bezug auf eine Messanwendung erörtert. Die *Messunsicherheiten* von *korrigierten Schwingungsabbildparametern* werden in 5.1 kurz vorgestellt, und Sample-für-Sample-Unsicherheiten der korrigierten *Schwungsabbilder* in 5.2. In dieser Ausgabe der Norm werden keine *Messunsicherheiten rekonstruierter Schwingungsabbilder* entwickelt, dennoch wird dieses Thema kurz in 5.2.2 beschrieben. Diese *Messunsicherheiten* werden in einer nachfolgenden Ausgabe dieser Norm betrachtet. Die Wirkung des Messgrößenaufnehmers auf das *Eingangssignal* wird nicht berücksichtigt.

4.2 Vorgang der Schwingungsabbild-Messung

Dieser Vorgang ist "eine Ausführung eines Verfahrens zur Messung des *Schwungsabbildes* unter Berücksichtigung spezifischer Einrichtungen, Geräte, Instrumente, Hilfseinrichtungen, Bedingungen, Bediener und Beobachter. Bei diesem Vorgang wird den Elementen des *Schwungsabbildes* ein Messwert (Maßzahl und Einheit) zugeordnet.", siehe Definition 3.39. Der Vorgang umfasst Hardware, Software, Vorgehensweisen und die Umgebung. Das Messsystem umfasst Hard- und Software (siehe 4.2.1). Das *Schwungsabbild-Aufzeichnungsgerät* ist ein Bestandteil des Messsystems und liefert die Erfassung, Aufzeichnung und bisweilen die Verarbeitung des *Schwungsabbildes*. Die Hardware umfasst Prüfgeräte (einschließlich *Schwungsabbild-Aufzeichnungsgerät*), Stecker, Adapter, Kabel und alle anderen Zusatzkomponenten, die für die Durchführung der Messung erforderlich sind.

Die Umgebung umfasst Temperatur, Feuchtigkeit sowie elektromagnetische Strahlung, da diese Auswirkungen auf den Vorgang der *Schwungsabbild-Messung* haben. Temperatur und Feuchtigkeit beispielsweise beeinträchtigen das Verhalten von Messgrößenaufnehmer und Messgerät. Daher muss das Verfahren der *Schwungsabbildmessung* präskriptiv den Bereich der zulässigen Temperatur- und

Feuchtigkeitsbedingungen für die *Schwingungsabbildmessung* definieren. Ebenso kann elektromagnetische Strahlung in der Umgebung den Vorgang der *Schwingungsabbildmessung* beeinträchtigen. Einige Geräte können sehr empfindlich auf die Anwesenheit elektromagnetischer Hintergrundstrahlung oder unbeabsichtigter elektromagnetischer Energie sein und können fehlerhafte Messwerte ausgeben, wenn die Expositionsgrenzen überschritten werden. Folglich muss die elektromagnetische Verträglichkeit hinsichtlich der Störfähigkeit auf und der Erzeugung von elektromagnetischen Interferenzen durch die Messgeräte bekannt sein und bei der Entwicklung von Verfahren zur *Schwingungsabbild-Messung* berücksichtigt werden. Die Interferenzen können von Netz- und Signalleitungen entweder abgestrahlt oder weitergeleitet werden. Weiter kann elektrostatische Entladung (ESD) relevant bei Schwingungsabbild-Messvorgängen sein, da sie möglicherweise beschädigend oder anderweitig negativ auf die Leistung der Elektronik einwirkt. Dementsprechend wird ESD-Schutz den Vorgang der *Schwingungsabbild-Messung* unterstützen.

Das Ziel jedes Vorgangs zur *Schwingungsabbild-Messung* ist die Ermöglichung einer Genauigkeitsbestimmung für den Wert eines oder mehrerer Parameter eines *Schwingungsabbildes* durch den Anwender der Norm, entweder ausdrücklich oder impliziert. Bild 3 zeigt die Teilschritte für jeden Vorgang zur *Schwingungsabbild-Messung*. Der nachfolgende Prozess zur *Schwingungsabbild-Analyse*, der Werte für die *Schwingungsabbild-Parameter* ausgibt, beinhaltet drei unterschiedliche aufeinanderfolgende Vorgänge:

- a) Der Vorgang der Schwingungsabbild-Messung, der das Schwingungsabbild liefert
- b) Analyse des Schwingungsabbildes zur Wertbestimmung eines oder mehrerer Parameter
- c) Eine Schätzung der Unsicherheit für den Wert des Schwingungsabbild-Parameters, folglich relativ zum Wert des Signalparameters bestimmt.

Die Gewissheit, zu der sich *Schwingungsabbild-Parameter* und *Signalparameter* ähneln, ist abhängig von der Kombination aus Qualität, Genauigkeit und Gültigkeit der ersten beiden Schritte. Die Qualität, Genauigkeit und Gültigkeit des ersten Schrittes ist abhängig vom Messsystem und ist in 4.2.1 beschrieben.

4.2.1 Allgemeine Beschreibung des Messsystems

Die breite Palette von Geräten, Systemen, Instrumenten und Techniken, die in praktisch unendlich vielen Kombinationen konfiguriert werden dürfen, um eine *Signal-zu-Schwingungsabbild-Umwandlung* zu liefern, veranlasst zur Diskussion spezifischer Implementierungen über den Anwendungsbereich dieser Norm hinaus. Eine derartige Diskussion wird zurückgestellt auf andere Normen, Dokumente oder Spezifikationen, die die Eigenschaften oder Methoden spezifischer Geräte, Systeme, Instrumente oder Techniken beschreiben oder definieren. Dieser Abschnitt beschreibt nur einige der allgemeinen gemeinsamen Merkmale der zu berücksichtigenden *Signalmesssysteme*. Gerätehandbücher und Anwendungshinweise der Hersteller dürfen spezifische Anleitungen zum Gebrauch der Geräte in einem Messsystem liefern.

Es gibt zwei unterschiedliche Methoden für die Erfassung von *Schwingungsabbildern*; kontinuierlich und abgetastet. Die kontinuierliche Erfassung ist ein Vorgang in Echtzeit und bezieht sich auf die Aufnahme eines Signals durch eine Form der kontinuierlichen Messung, die zu einem bestimmten Zeitpunkt vor der Ankunft des Signals am *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgerät* beginnt und zu einem bestimmten Zeitpunkt nach dessen Ankunft endet. Dies ermöglicht eine Erfassung nicht-wiederkehrender oder unerwarteter transients Signale. Die meisten, wenn nicht alle, Echtzeit-*Schwingungsabbild-Erfassungen* werden mit Hilfe eines abtastenden Erfassungsprozesses durchgeführt. Abtastende Erfassung führt zu einer Diskretisierung der Zeitaufzeichnung, die ein abgetastetes *Schwingungsabbild* erzeugt. Das bedeutet, dass das abgetastete *Schwingungsabbild* eine Reihe von diskreten Werten (den *Abtastungen*) zu bekannten *Momenten* ist, wobei die Werte jeder dieser *Abtastungen* proportional zum Eingangssignal zu jenen *Momenten* sind. Diese Proportionalität ist das Ergebnis der Wechselwirkung des *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgeräts* mit dem *Eingangssignal* (siehe Bild 3). Ein Abtastvorgang kann entweder in Echtzeit oder äquivalenter Zeit abgebildet sein. Echtzeit-Abtastung darf entweder mit Einzelschuss-*Signalen* oder wiederholenden *Signalen* verwendet werden. Wie oben beschrieben, ist das *Signal* abgetastet, und diese *Abtastungen* werden zu einem *Schwingungsabbild* zusammengefügt. Äquivalentzeit-Abtastung erfordert wiederkehrende und zyklisch-stationäre *Signale* sowie eine Methode, um aufeinanderfolgende *Schwingungsabbilder* genau zu synchronisieren, bevor sie zum *erfassten Schwingungsabbild* zusammengesetzt werden. Äquivalentzeit unterscheidet sich von Echtzeit darin, dass jeder Durchlauf des Eingangssignals ein Teil-*Schwingungsabbild* ergeben kann, das eine oder mehrere *Abtastungen* enthält, wobei jede dieser Abtastungen unterschiedlichen Momenten in der *Schwingungsabbild-Epoche* entsprechen kann, und dass die Teil-*Schwingungsabbilder* zum gesamten *Schwingungsabbild* zusammengefügt werden können. Äquivalentzeit-Abtastung ermöglicht eine Erfassung von *Schwingungsabbildern*, wenn Echtzeiterfassung eine unzureichende Menge an Informationen

aufgrund von Rauschen oder einem begrenzten Frequenzgang des Echtzeit-Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgeräts erbringen würde. Wiederholt sich das Signal, darf entweder die Echtzeit- oder Äquivalenzzeit-Abtastung verwendet werden, um mehrfache Durchläufe des Signals für eine Erhöhung des Signal-Rausch-Verhältnisses des erfassten *Schwingungsabbildes* zu mitteln.

Das komplette Messsystem wird für die Umwandlung eines Signals in ein *Schwingungsabbild* verwendet, und kann ungefähr in drei Teile aufgeteilt werden: Erfasser, Wandler und *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgerät*. Der Erfasser akquiriert oder speichert den physikalischen Prozess, dem das *Signal* unterliegt und leitet es weiter an den Wandler. Beispiele von Erfassern sind koaxiale Eingangsverbinder, optische Linsen, Antennen, chemische Konzentratoren usw. Der Wandler (oft als Detektor bezeichnet) wandelt das Ereignis/*Signal* an seinem Eingang in ein *Signal*, das besser vom *Aufzeichner* erfasst werden kann. Wandler sind beispielsweise optische Detektoren, Mikrowellendetektoren, Teilchendetektoren, chemische Sensoren, akustische und seismischen Sensoren etc. Das *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgerät* erfasst das *Schwingungsabbild*, das eine Aufzeichnung des Signals ist. *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgeräte* sind beispielsweise Oszilloskope, Computersysteme zur Datenerfassung, High-Speed-Digital-Multimeter und Schreiber. Das Format des *Schwingungsabbildes* ist zumeist digital, andere Formate (beispielsweise Papier eines Bandschreibers oder die Photographie einer Kathodenoszilloskop-Anzeige) sind ebenfalls zulässig.

Die möglichen Fehler und Unsicherheiten, die von jedem Teil einfließen können, müssen in Betracht gezogen werden, um die Qualität, Genauigkeit und Gültigkeit der aus der Analyse des *Schwingungsabbildes* entstammenden Schlussfolgerungen zu bestimmen. Der Erfasser kann beispielsweise das *Signal* verzerren, der Wandler kann hochfrequente Informationen wegen unzureichender Bandbreite verlieren, und das *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgerät* kann Digitalisierungsfehler einbringen.

5 Korrektur von Schwingungsabbildern und Schwingungsabbild-Parametern

Schwingungsabbilder und/oder *Schwingungsabbild-Parameter* dürfen auf unterschiedliche Art und Weise korrigiert werden. *Schwingungsabbild-Korrektur* bezeichnet das Ändern des Wertes jeder Abtastung des *Schwingungsabbildes* basierend auf gesammelten Informationen über das Verhalten des Messsystems, wohingegen die *Korrektur von Schwingungsabbild-Parametern* nur die Änderung spezifischer Werte jener *Schwingungsabbild-Parameter* bezeichnet, die sich bei der Kalibrierung des Messsystems als unzulässig erwiesen haben (Verstärkungsfehler, Offsetfehler, etc.). *Korrekturen* dürfen angewendet werden, wenn das Verfahren für die *Korrektur* des *Schwingungsabbildes* und/oder seiner Parameterwerte genau bestimmt worden ist, und ein Verfahren zum Messen der notwendigen *Korrekturfunktionen* und Koeffizienten inklusive Messunsicherheitsanalyse dieser Funktionen und Koeffizienten entwickelt worden ist. Das *korrigierte Schwingungsabbild* darf Kompensationen für Fehlereinflüsse aus Amplitudenverstärkung (linear und nichtlinear), Amplitudenversatz, Analog-zu-Digital-Umwandlung, *Zeitbasis*verstärkung und ungleichmäßigen Abtastintervallen (auch als nicht-äquidistante Abtastintervalle bekannt) aufweisen. Hinweis: Gleichung (3) zeigt keinen dieser Effekte.

Alle *Parameter* sind das Ergebnis von Algorithmen, die numerische Berechnungen, numerische Näherungen und benutzerdefinierte Werte enthalten dürfen. Benutzerdefinierte Werte zum Beispiel dürfen für Zustandspegel verwendet werden (7.1.1.1). Die Unsicherheit eines benutzerdefinierten Wertes wird durch eine Typ B-Unsicherheit beschrieben (Abschnitt 6). Da die Werte benutzerdefiniert sind, dürfen die *Freiheitsgrade* unbegrenzt sein. Die meisten Werte von *Schwingungsabbild-Parametern* sind das Ergebnis von numerischen Berechnungen. Alle der zugehörigen numerischen Verfahren sind mit Unsicherheiten behaftet. Numerische Näherung (Interpolation) wird verwendet, um Unterteilungen der Referenzpegel (7.1.1.4) und Referenzpegelmomente (7.1.2.3) sowie Werte für andere *Schwingungsabbild-Parameter* zu berechnen. Unsicherheiten bei numerischen Berechnungen und Näherungen sind vom Typ A, wenn statistische Verfahren verwendet werden, andernfalls vom Typ B.

5.1 Korrektur von Schwingungsabbildparametern

Die *Korrektur von Schwingungsabbild-Parametern* erfolgt durch Multiplikation und Addition von *Korrekturen* auf die Parameterwerte, da die in dieser Norm beschriebenen Parameter skalare Werte annehmen. Dementsprechend muss das Messsystem kalibriert werden, um Korrekturfaktoren für Multiplikationen und Korrekturterme für Additionen zu erhalten. Ein Beispiel für die *Korrektur von Schwingungsabbild-Parametern* ist die Änderung der Werte zeitlicher *Parameter* (Übergangsdauer, Impulsdauer, Verzögerung, etc.) um

bekannte Fehler der *Zeitbasisverstärkung*, die zu einer fehlerhaften Dehnung oder Stauchung der *Schwingungsabbild-Epoche* führen würden. Ein anderes Beispiel wäre die Korrektur der *Pegelparameter* um bekannte Fehler des Messsystems in Amplitudenverstärkung oder Offset.

Die Methode zur Korrektur von Fehlern in den Werten von *Schwingungsabbild-Parametern* muss durch den Benutzer dieser Norm beschrieben werden. Diese Beschreibung muss Fehlermessverfahren, Messunsicherheiten dieses Messverfahrens, das Verfahren zur Korrektur der Werte der *Schwingungsabbild-Parameter* sowie Unsicherheiten dieser *Korrekturmethode* enthalten. Der Wert des resultierenden *korrigierten Schwingungsabbild-Parameters* muss als Nominalwert mit erweiterten Messunsicherheiten dargestellt werden.

5.2 Korrektur und Rekonstruktion von Schwingungsabbildern

Schwingungsabbild-Korrektur darf den Wert jeder *Abtastung* in einem *Schwingungsabbild* verändern. Ein Beispiel für *Schwingungsabbild-Korrektur* ist die Änderung von *Schwingungsabbild-Werten* durch Entfaltung der effektiven Impulsantwort des Jitters im Messsystem. Ein weiteres Beispiel ist die *Korrektur der Schwingungsabbild-Werte* aufgrund ungleichmäßiger Abtastintervalle. *Schwingungsabbild-Korrekturen* können ferner in die zwei allgemeinen Kategorien *Sample-für-Sample-* bzw. *inkrementelle Korrektur* und *vollständige Schwingungsabbild-Korrektur* aufgeteilt werden. *Sample-für-Sample-Korrekturen* werden oft mithilfe von Interpolationsverfahren angewendet, und *vollständige Schwingungsabbild-Korrekturen* mithilfe der Rekonstruktion des Schwingungsabbildes.

5.2.1 Sample-für-Sample-Korrektur

Das *Schwingungsabbild* ist eine Aufnahme der diskreten Amplitude über die diskrete Zeit. *Sample-für-Sample-Korrekturen* werden angewendet, wenn Fehler in diesem Diskretisierungsprozess auftreten. Die zeitdiskreten Abtastintervalle beispielsweise sind aufgrund der in der Zeitbasisschaltung verwendeten digitalen Elektronik möglicherweise nicht über den gesamten Signalzeitraum gleichförmig. Ebenso werden die amplitudendiskretisierten Messwerte, die vom Analog-Digital-Umsetzer (ADC) des Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgeräts erfasst werden, nicht gleichmäßig über den Bereich der Signalamplitude inkrementiert.

5.2.1.1 Zeitbasisfehler

Verfahren zur Messung von Zeitdiskretisierungsfehlern der *Zeitbasis* von *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgeräten* werden in IEEE 1057, 4.6 beschrieben. Die Messung von *Zeitbasisfehlern* zeigt Zeitfehler über den Zeit-Vektor auf. Unter Verwendung dieses Vektors können die Amplitudenwerte des *Schwingungsabbildes* beispielsweise durch Interpolation korrigiert werden. Das Verfahren zur Korrektur der *Zeitbasisfehler* in *Schwingungsabbildwerten* muss vom Anwender dieser Norm beschrieben werden. Diese Beschreibung muss das Verfahren zur Messung der *Zeitbasisfehler* enthalten sowie *Messunsicherheiten* dieses Verfahrens, das Verfahren zur Korrektur der *Schwingungsabbild-Werte*, und *Unsicherheiten* dieses *Korrekturverfahrens*. Die Amplitude des resultierenden *korrigierten Schwingungsabbildes* muss als Nominalwert mit *erweiterten Messunsicherheiten* dargestellt werden, wobei jeder Abtastung eine eigene *erweiterte Messunsicherheit* beigeordnet werden muss. Die *Abtastmomente* müssen nach Korrektur als äquidistant definiert werden. Dennoch existiert für den Wert jedes Abtastmoments eine Unsicherheit, und für jeden *Abtastmoment* muss die *erweiterte Messunsicherheit* angegeben werden.

5.2.1.2 ADC-Fehler

Verfahren zur Messung der ADC-Fehler des Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgeräts werden in IEEE 1057, 4.6 beschrieben. Eine Messung der ADC-Fehler zeigt Amplitudenfehler als eine Funktion des Amplitudenvektors. Bei Verwendung dieses Vektors können die *Amplitudenwerte* des *Schwingungsabbildes* korrigiert werden, beispielsweise durch Interpolation. Das Verfahren zur Korrektur von ADC-Fehlern in *Schwingungsabbild-Werten* muss vom Anwender dieser Norm beschrieben werden. Diese Beschreibung muss das Verfahren zur Messung von ADC-Fehlern enthalten sowie die *Unsicherheiten* des Verfahrens, das Verfahren zur Korrektur der *Schwingungsabbild-Werte*, und *Unsicherheiten* dieses *Korrekturverfahrens*. Die Amplitude des resultierenden *korrigierten Schwingungsabbildes* muss als Nominalwert mit *erweiterten Messunsicherheiten* dargestellt werden, wobei jeder Abtastung eine eigene *erweiterte Messunsicherheit* beigeordnet werden muss.

5.2.2 Vollständige Schwingungsabbild-Korrektur

Im Allgemeinen wird das *Schwingungsabbild* aufgrund der Beeinflussung durch das Messsystem nicht mit dem *Eingangssignal* $x(t)$ identisch sein. Diese Beeinflussung auf das *Signal* kann mathematisch beschrieben werden 1) als eine Faltung von $x(t)$ mit der Impulsantwort des Gerätes (oder Messsystems) $h(t)$, um ein *Faltungssignal* $y(t)$ zu erhalten, und 2) als eine Folgekorrelation von $y(t)$ mit der Abtastepoche $s(t)$, um eine zeitkontinuierliche Darstellung $f(t)$ von $x(t)$ zu erhalten. Die Faltung $y(t)$ aus zwei zeitkontinuierlichen Funktionen $x(t)$ und $h(t)$ definiert ist als

$$y(\tau) = \int_{t=-\infty}^{\infty} x(t)h(\tau-t)dt \equiv x(t) * h(t), \quad (4)$$

wobei τ die *Verzögerung* zwischen $x(t)$ und $h(t)$ ist und das Symbol "*" eine Faltung darstellt. Die Korrelation von $y(t)$ mit $s(t)$ wird beschrieben durch:

$$f(\tau) = \int_{t=-\infty}^{\infty} y(t)s(\tau+t)dt \equiv y(t) \otimes s(t), \quad (5)$$

wobei das Symbol „ $\otimes$ “ eine Korrelation kennzeichnet. $s(t)$ darf in $h(t)$ enthalten sein, sofern korrekt durchgeführt (unterschiedliche Zeichen in den Integralen sind zu beachten). Die Faltung ist kommutativ, sodass $x(t) * h(t) = h(t) * x(t)$, während die Korrelation nicht kommutativ ist (die Reihenfolge ändert die Phase des Ergebnisses). Beide mathematische Operationen können um mehrere Variablen erweitert werden. Im Frequenzbereich ist die Faltung von zwei Funktionen proportional zum Produkt ihrer individuellen Transformationen, das bedeutet:

$$FT \left\{ \int_{t=-\infty}^{\infty} x(t)h(\tau-t)dt \right\} = X(\omega)H(\omega) = F(\omega), \quad (6)$$

wobei ω die Winkelfrequenz ist, FT die Frequenz-Transformation, $F(\omega)$ und $H(\omega)$ die komplexen Spektren von $f(t)$ und $h(t)$, und $s(t)$ ist hier implizit enthalten in $h(t)$. Die Fourier-Transformation ist die am häufigsten verwendete Frequenz-Transformation.

$h(t)$ darf als Faltung multipler Ansprechverhalten beschrieben werden, wie die mit einer Gaußfunktion gefaltete Impulsantwort des Geräts, die die statistische Verteilung des Jitters darstellt, und darf die Korrelation der Abtastepoche $s(t)$ beinhalten. Diese Funktion $h(t)$ kann als die Antwort des Messsystems auf ein ideales Eingangssignal betrachtet werden, das durch die Einheitsimpulsfunktion $\delta(t)$ beschrieben wird, wobei $\delta(t=0) = 1$, $\delta(t \neq 0) = 0$, das bedeutet:

$$h(t) = \delta(t) * h(t). \quad (7)$$

Um eine genauere Darstellung von $x(t)$ zu erhalten, als $f(t)$ liefern kann, muss entweder ein Messsystem verwendet werden, das über $h(t)$ verfügt, um $\delta(t)$ an $x(t)$ zu nähern, das heißt $f(t) = h(t) \otimes x(t) \approx x(t)$, andernfalls muss der Einfluss von $h(t)$ auf $f(t)$ beseitigt werden.

Das Verfahren zur Entfernung von $h(t)$ aus $f(t)$ zum Erhalt einer genaueren Darstellung von $x(t)$ wird als *Schwingungsabbild-Rekonstruktion* (oft in Bezug auf *Entfaltung*) bezeichnet. Die meisten Verfahren zur *Rekonstruktion von Schwingungsabbildern* verwenden die Darstellung im Frequenzbereich, weil der Vorgang lediglich ist eine Division von Spektren ist:

$$X(\omega) \approx X'(\omega) = \frac{F(\omega)}{H(\omega)}. \quad (8)$$

Das Symbol " $\approx$ " wird verwendet, um keine Gleichwertigkeit zwischen $X(\omega)$ und $X'(\omega)$ zuzulassen, da ein reales Messsystem Amplitudenrauschen, Triggerjitter und *Unsicherheiten* in $h(t)$ aufweist. Aufgrund der zwei Unbekannten $h(t)$ und $x(t)$ bei nur einer Gleichung würde ein inverses Problem entstehen. Dieses Problem

wird oft gelöst unter Verwendung normalisierter *Rekonstruktionen von Schwingungsabbildern*, um das *rekonstruierte Schwingungsabbild* zu erhalten. *Unsicherheiten* aus der *Rekonstruktion von Schwingungsabbildern* werden in dieser Ausgabe der Norm nicht behandelt.

6 Messunsicherheiten

Eine *Messunsicherheitsanalyse* hat zwei unterschiedliche Aufgaben; eine dient der messtechnischen Dimensionierung und die andere dem Entwurf des Messsystems. Der messtechnische Aspekt der Unsicherheitsanalyse liefert Informationen über den möglichen Bereich der Werte, die ein *Parameter* in einem *Schwingungsabbild* mit einer festgelegten Wahrscheinlichkeit einnehmen könnte. Dies ist für ein Vertrauen in den Wert der *Messgröße* ebenso wertvoll wie für die Verifikation und Validierung der Leistung eines Messsystems. Zum Grundgerüst beim Messsystementwurf gehört als Teil der Unsicherheitsanalyse die sogenannte Sensitivitätsanalyse. Diese hilft bei Entwurf und Entwicklung von Messsystemen. Wenn es beispielsweise mehr als einen Weg gibt, eine Messung durchzuführen, zeigt eine gründliche Sensitivitätsanalyse, welcher die geringste *Messunsicherheit* liefert.

Im Allgemeinen umfasst die *Messunsicherheit* viele beitragende Anteile. Nach ISO/IEC Guide 98-3: 2008 und ISO/IEC Guide 99: 2007 kann jeder *Messunsicherheitsanteil* als Typ A oder Typ B-Unsicherheit klassifiziert werden. Der *Typ A-Messunsicherheitsanteil* wird anhand einer statistischen Analyse einer Reihe von Messungen bestimmt und durch eine experimentelle Standardabweichung beschrieben, woraus sich eine *Standardmessunsicherheit* ergibt. Normalerweise kann diese Standardabweichung durch eine Erhöhung der Anzahl der Messungen verringert werden. Der *Typ B-Messunsicherheitsanteil* wird statt durch die statistische Analyse der Messreihe beispielsweise mittels Erfahrungswerten oder anderen Informationen bewertet. *Typ B-Messunsicherheiten* werden normalerweise Messgeräten beigeordnet und als *Gerätemessunsicherheit* bezeichnet. Sie werden üblicherweise vom Hersteller oder Kalibrierer des Geräts geliefert. Die *Standardmessunsicherheiten* für jede der verschiedenen Eingangsgrößen eines gegebenen Messmodells werden anschließend kombiniert, um die kombinierte *Standardmessunsicherheit* für die *Messgröße* zu erhalten. Die gewünschte Unsicherheit ist die erweiterte *Messunsicherheit* für die *Messgröße* und ergibt sich durch Multiplikation der kombinierten *Standardunsicherheit* mit einem *Erweiterungsfaktor*, um das gewünschte *Vertrauensintervall* zu erhalten.

6.1 Messunsicherheitsfortpflanzung

Um die *Standardmessunsicherheiten* der Eingangsschätzwerte $x_1, x_2, \dots, x_n$ zu der *kombinierten Standardunsicherheit* des Ausgangsschätzwertes y fortzupflanzen, sind Kenntnisse des *Messmodells* f erforderlich. Dieses kann verwendet werden, um den Ausgangsschätzwert y aus den Eingangsschätzwerten zu berechnen:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (9)$$

Im Allgemeinen kann f eine beliebige lineare oder nichtlineare Funktion sein. Für die Messunsicherheitsfortpflanzung durch f bestehen zwei unterschiedliche Ansätze (siehe JCGM 101, Ergänzung 1 zu GUM). Dabei kann man entweder Monte-Carlo-Simulationen anwenden oder f mit einer Taylor-Reihe erweitern und abhängig von der Nichtlinearität von f eine bestimmte Anzahl von Termen der Taylorreihenentwicklung für die Unsicherheitsfortpflanzung verwenden. Diese Norm konzentriert sich auf die Unsicherheitsfortpflanzung unter Verwendung einer Linearisierung von f , und betrachtet somit die Taylor-Reihen-Approximation erster Ordnung des Messmodells $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Darüber hinaus wird eine skalare Schreibweise verwendet, da die Parameter $f, x_1, x_2, \dots, x_n$, wie in dieser Version der Norm behandelt, eindimensionale Größen sind. Es sei darauf hingewiesen, dass eine ähnliche Schreibweise anhand von Vektoren und Matrizen für die Unsicherheitsfortpflanzung multidimensionaler Größen (siehe JCGM 102, Ergänzung 2 zu GUM) zum Einsatz kommen kann, die für die Handhabung der Sample-für-Sample-Unsicherheiten notwendig sein kann. Monte-Carlo-Verfahren zur Abschätzung der Messunsicherheit von Schwingungsabbild-Parametern werden in Abschnitt 8 diskutiert.

6.1.1 Unkorrelierte Eingangsgrößen

Wenn die Eingangsschätzwerte $x_1, x_2, \dots, x_n$ unkorreliert oder voneinander unabhängig sind, erhält man die *kombinierte Standardunsicherheit* $u_c(y)$ aus den *Standardmessunsicherheiten* der Eingangsschätzwerte $u(x_i)$ mit $i = 1, 2, \dots, n$ mittels

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (10)$$

Die partiellen Ableitungen $\frac{df}{dx_i} = c_i$ werden auch als Sensitivitätskoeffizienten bezeichnet und beschreiben, wie der Ausgangsschätzwert y mit einer Änderung von x_i variiert.

6.1.2 Korrelierte Eingangsgrößen

Wenn die Eingangsschätzwerte korreliert oder voneinander abhängig sind, müssen Korrelationen für die Berechnung der *kombinierten Standardunsicherheit* berücksichtigt werden

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left(\frac{df}{dx_i} \frac{df}{dx_j} \right) u(x_i, x_j), \quad (11)$$

wobei $u(x_i, x_j) = u(x_j, x_i)$ die geschätzte Kovarianz ist, der die Schätzwerte x_i und x_j zugeordnet sind. Normalerweise wird die Kovarianz zwischen den zwei Schätzungen x_i und x_j aus m unabhängigen Paaren simultaner Beobachtungen der entsprechenden *Messgrößen* X_i und X_j berechnet.

$$u(x_i, x_j) = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m (X_{i,k} - x_i)(X_{j,k} - x_j). \quad (12)$$

In (12) wird davon ausgegangen, dass die *Messgröße* eine Normalverteilung und *Messunsicherheit* vom Typ A hat. Wenn die entsprechenden *Messgrößen* Typ B (systematische) *Messunsicherheiten* haben, muss die Kovarianz entsprechend ausgewertet und kombiniert (addiert) werden. Die Auswertung der Kovarianz nach Typ B muss basierend auf Erfahrung und technischem Wissen (Beurteilung durch Experten) durchgeführt werden, beispielsweise aus gesammelten Daten.

6.2 Gesammelte Daten und deren Standardabweichung

Gesammelte Daten und deren zusammengefasste Standardabweichung (siehe ISO/IEC Guide 98-3) liefern eine Möglichkeit, wodurch die Unsicherheit eines *Messwertes* durch Mittelwertbildung aus früheren Messungen mit mehr Vertrauen abgeschätzt werden kann. Die gesammelten Daten werden hier genutzt als *Parameterwerte*, um ein Kalibriernormal zu beschreiben, oder als Zwischenergebnisse für die Berechnung von *Werten* der Messgröße. Wenn ein *Parameterwert* über die Zeit monoton abnimmt oder zunimmt unter Verwendung korrigierter Mittelwerte und Standardabweichungen aus gesammelten Daten für diesen Parameter, können Fehler im Wert der *Messgröße* und seiner Unsicherheit auftreten. Ein gebräuchliches Verfahren, gesammelte Daten und deren Standardabweichung aufzunehmen, ist über eine Regelkarte. Regelkarten sind statistische Werkzeuge, die verwendet werden, um die Änderung in einem ausgewählten *Parameter* über die Zeit anzuzeigen (siehe ISO 10012-2 und ISO 7870-1). Ein Beispiel für die Verwendung einer zusammengefassten Standardabweichung ist die Vermessung eines Kalibriernormals während jeder Benutzung bei der Messung eines Kundengerätes. Die Vermessung des Kalibriernormals liefert einen *Parameter* g , der bei der Berechnung von Kenndaten für das Kundengerät benutzt wird. Bei jeder Messung eines Kundengerätes wird g ebenfalls gemessen, und dabei kann der Mittelwert von g berechnet werden zu:

$$\bar{g} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M g_i, \quad (13)$$

wobei $\bar{g}$ der Mittelwert von g_i ($i = 1, \dots, M$) ist, die die Werte von g sind, welche aus den i -fachen Messungen des Kalibrierungsnormals berechnet wurden, und M die Anzahl der Messungen. $\bar{g}$ würde bei der Berechnung des Parameterwertes, der das Kundengerät beschreibt, verwendet werden. Die *Standardmessunsicherheit* $\sigma_{\bar{g}}$ wird $\bar{g}$ beigeordnet unter Verwendung von:

$$\sigma_{\bar{g}} = \frac{s_g}{\sqrt{M}}, \quad (14)$$

Wobei s_g die Standardabweichung der Abtastung ist, gegeben durch:

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (g_i - \bar{g})^2}. \quad (15)$$

Die entsprechende *erweiterte Unsicherheit* $U_{\bar{g}}$ ist gleich $\sigma_{\bar{g}}$ multipliziert mit einem *Erweiterungsfaktor*, der ein Perzentil der t-Verteilung mit ν *Freiheitsgraden* ist (hier: $\nu = M - 1$). Wenn andererseits der zur Berechnung der *Parameter* für das Kundengerät verwendete Wert von g auf den gesammelten Daten basiert, kann der Mittelwert von $\bar{g}$ verwendet werden, der beschrieben wird durch:

$$\bar{g} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{g}_j, \quad (16)$$

wobei $\bar{g}_j$ (mit $j = 1, \dots, N$) der Mittelwert des j -fachen Messdatensatzes ist, von dem jeder M_j -Messungen von $g_{i,j}$ (mit $i = 1, \dots, M_j$) enthält:

$$\bar{g}_j = \frac{1}{M_j} \sum_{i=1}^{M_j} g_{i,j}, \quad (17)$$

und somit auf allen verfügbaren Werten von g basiert, wobei N die Anzahl von unabhängigen Messungen $\bar{g}_j$ ist. In diesem Fall kann die $\bar{g}$ -beigeordnete *Standardmessunsicherheit* berechnet werden zu:

$$\sigma_{\bar{g}} = \frac{1}{\sqrt{N}} s_g, \quad (18)$$

wobei

$$s_g = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N s_{g_j}^2 (M_j - 1)}{\sum_{j=1}^N M_j - N}} \quad (19)$$

und s_{g_j} die *Standardabweichung* der Abtastung ist, die auf den j -fachen Messdaten basiert:

$$s_{g_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M_j} (g_{i,j} - \bar{g}_j)^2}{M_j - 1}}. \quad (20)$$

Die zugehörige *erweiterte Messunsicherheit* U_g ist gleich σ_g multipliziert mit einem Erweiterungsfaktor, der ein Perzentil der *t*-Verteilung mit ν *Freiheitsgraden* ist (hier: $\nu = \sum_{j=1}^N M_j - N$).

Insbesondere, wenn $M_j = M$, ergibt sich

$$\bar{s}_g = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (g_{i,j} - \bar{g}_j)^2}{N(M-1)}} \quad (21)$$

$$\sigma_g = \frac{\bar{s}_g}{\sqrt{N}} \quad (22)$$

und

$$\nu = N(M-1). \quad (23)$$

6.3 erweiterte Messunsicherheit und Erweiterungsfaktor

Um die *erweiterte Messunsicherheit* U_p zu erhalten, wird die *kombinierte Standardunsicherheit* mit einem *Erweiterungsfaktor* k_p multipliziert: $U_p = k_p u_c(y)$. Der Wert dieses *Erweiterungsfaktors* ist abhängig von den *Freiheitsgraden* und der Wahrscheinlichkeitsverteilung des Messergebnisses für jede der angegebenen Eingangsgrößen. Der Anwender dieser Norm wählt den Wert von k_p in Abhängigkeit des Vertrauensniveaus, das er mit seinen Messergebnissen erzielen möchte. Tabelle 1 zeigt den Wert von k_p , welcher die Wahrscheinlichkeit p der *t*-Verteilung für verschiedene *Freiheitsgrade* umfasst.

Die *Messunsicherheit* einer *Messgröße* umfasst häufig die Unsicherheitsbeiträge von mehr als einem Parameter. In diesem Fall empfiehlt ISO/IEC Guide 98-3 die Verwendung der Welch-Satterthwaite-Formel (siehe 6.3.1) und dann die Verwendung der daraus berechneten effektiven *Freiheitsgrade*, um einen *Erweiterungsfaktor* zu erhalten. Dieser *Erweiterungsfaktor* wird der Multiplikator für die *kombinierte Standardunsicherheit*, um die *erweiterte Messunsicherheit* zu erhalten. Wenn sich der Anwender der Norm nicht für die Verwendung der Welch-Satterthwaite-Formel entscheidet, muss er eine Begründung und Beschreibung des verwendeten Verfahrens liefern.

Tabelle 1 – Wert des Erweiterungsfaktors k_p , der die Wahrscheinlichkeit p der t-Verteilung für verschiedene Freiheitsgrade umfasst (aus ISO/IEC Guide 98-3)

Freiheitsgrad ν	Wahrscheinlichkeit p in Prozent					
	68,27 ^a	90	95	95,45 ^a	99	99,73 ^a
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8	1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9	1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10	1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11	1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12	1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13	1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14	1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15	1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16	1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17	1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18	1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
19	1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20	1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25	1,02	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
30	1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35	1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000
^a Für eine durch eine Normalverteilung mit Erwartung μ_z und Standardabweichung σ beschriebene Menge z umfasst das Intervall $\mu_z \pm k_p \sigma$ entsprechend $p = 68,27, 95,45$ und $99,73$ Prozent der Verteilung für $k_p = 1, 2$, und 3 .						

In bestimmten Fällen kann der zentrale Grenzwertsatz für die Berechnung der *erweiterten Messunsicherheit* verwendet werden. Der zentrale Grenzwertsatz besagt, dass die Verteilung von Y mit $Y = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n$ annähernd normal sein wird, wenn die X_i unabhängig sind und $\sigma^2(Y)$ viel größer ist

als jede einzelne Komponente $c_i^2 \sigma^2(X_i)$. Dies impliziert, dass sich die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Y der Normalverteilung annähert wie die Anzahl der Eingangsgrößen, die zur Vergrößerung Standardabweichung von Y beitragen. Als wichtige Konsequenz muss für eine angemessene erste Näherung für die Berechnung einer *erweiterten Messunsicherheit* $U_p = k_p u_c(y)$ für k_p ein Wert aus der Normalverteilung verwendet werden.

Diese Norm liefert Informationen darüber, wie man die *erweiterte Messunsicherheit* für einen gegebenen *Schwingungsabbild-Parameter* berechnet. Darüber hinaus liefert diese Norm Informationen über den *Freiheitsgrad* für den gegebenen *Schwingungsabbild-Parameter*, der notwendig ist, um die *erweiterte Messunsicherheit* für andere *Schwingungsabbild-Parameter* zu berechnen, die davon abhängig sind.

6.3.1 Effektive Freiheitsgrade

Die effektiven *Freiheitsgrade* werden verwendet, um die *Freiheitsgrade* für eine Reihe verschiedener unabhängig gemessener Werte zu nähern, die verwendet werden, um den Wert einer *Messgröße* zu berechnen. Die Welch-Satterthwaite-Formel sollte zur Berechnung der effektiven *Freiheitsgrade* verwendet werden, aus denen der *Erweiterungsfaktor* bestimmt werden kann. Die Welch-Satterthwaite-Formel lautet:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^4 u^4(x_i)}{v_i}}, \quad (24)$$

Wobei $c_i \equiv \partial y / \partial x_i$ die Sensitivitätskoeffizienten sind und v_i die Freiheitsgrade, die den Eingangsschätzwerten x_i beigeordnet sind.

6.4 Gesamtmessunsicherheiten von Schwingungsabbildern

Eine Sample-für-Sample *Unsicherheitsanalyse*, bei der die *Unsicherheiten* für jede *Abtastung* des *Schwingungsabbildes* berechnet werden, wird auch Gegenstand einer folgenden Ausgabe dieser Norm sein. In einer Sample-für-Sample *Unsicherheit* hat jede *Abtastung* des *Schwingungsabbildes* *Unsicherheitsbeiträge* sowohl in der *Amplitude* wie auch in der *Zeitbasis*. Beide können stochastisch (z. B. durch Rauschen und Jitter) und / oder deterministisch sein (z. B. aufgrund Verstärkung und Diskretisierung). Beispiele für deterministische *Amplituden-* und *Zeitbasisvorgänge*, die *Unsicherheitsbeiträge* einbringen können, sind unter anderem Digitalisierungs-, Offset- sowie Verstärkungsfehler und ungleichmäßige *Abtastzeitmomente*. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders dieser Norm, die Vorgänge zu identifizieren, die zu einer Sample-für-Sample *Messunsicherheit* beitragen, um dann diese Beiträge zu quantifizieren (Thema einer späteren Ausgabe dieser Norm). Diese Vorgänge führen zu einem elliptischen *Unsicherheitsbereich* um jede *Abtastung* des *Schwingungsabbildes*. Dieser Bereich kann für jede *Abtastung* des *Schwingungsabbildes* verschieden sein.

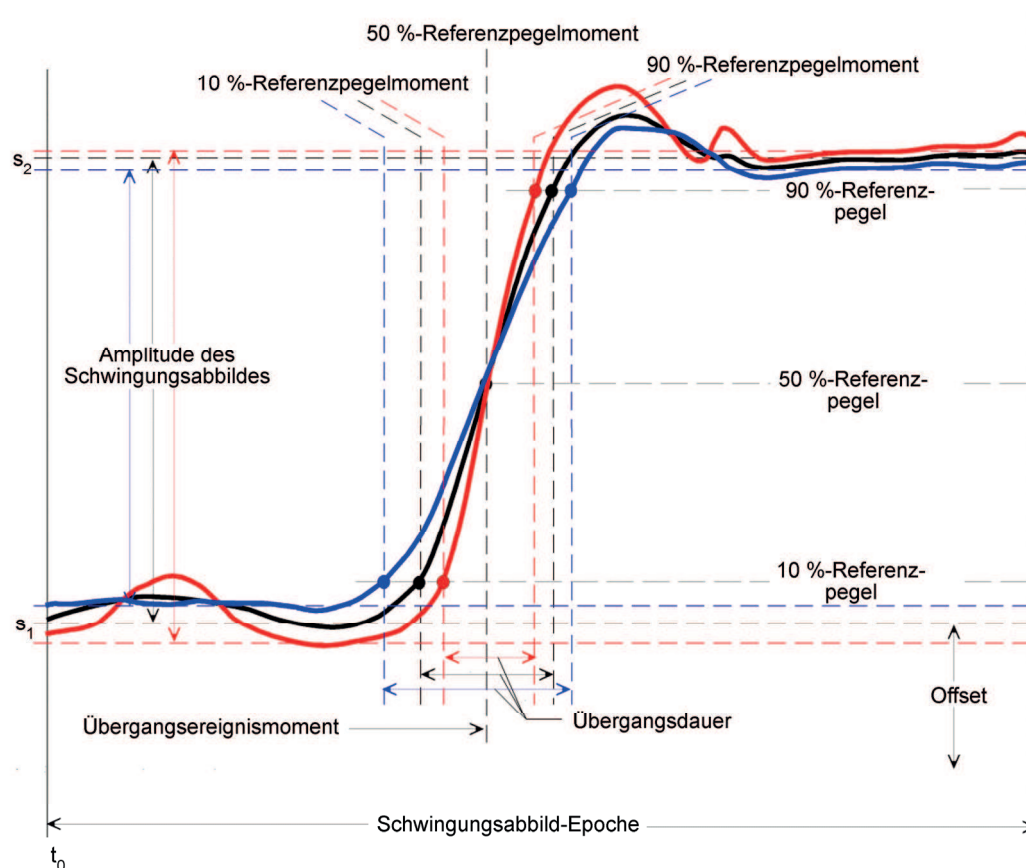


Bild 4 – Beispiele von Grenzwerten eines Schwingungsabbildes mit Schwerpunkt auf Kurvenformen, die die Impulsparameter-Messungen beeinflussen

Die schwarze Kurve stellt das nominale oder erwartete Schwingungsabbild dar, das von einem speziellen Signal erfasst wurde, gemessen mit einem speziellen Messsystem, das durch seine nominelle Bandbreite und nominelle Amplitudenverstärkung beschrieben werden kann. Die rote Kurve entspricht einem Schwingungsabbild mit demselben Messsystem, jedoch mit höherer als der nominalen Bandbreite und Amplitudenverstärkung, wodurch man das Schwingungsabbild mit der höchsten Verstärkung und Bandbreite erhält. Die blaue Kurve zeigt ein Schwingungsabbild wieder mit demselben Messsystem, jedoch mit geringerer als der nominalen Bandbreite und Amplitudenverstärkung, wodurch man das Schwingungsabbild mit der niedrigsten Verstärkung und Bandbreite erhält.

Eine Sample-für-Sample Unsicherheit liefert obere und untere Unsicherheitsgrenzwerte für das Schwingungsabbild, sofern durchgeführt für das gesamte Schwingungsabbild. Wenn Korrelationen zwischen den einzelnen Abtastungen des Schwingungsabbildes vernachlässigt werden, werden diese Grenzen für alle möglichen Signalverläufe zugelassen, und jede Kurvenform, die innerhalb dieser Grenzen oder Grenzwerte liegt, ist zulässig, außer es gelten andere Einschränkungen. Dann können diese Grenzen oder Grenzwerte nicht sinnvoll für die Berechnung der Unsicherheiten von Schwingungsabbild-Parametern angewendet werden. Für eine bessere Abschätzung der Schwingungsabbild-Verläufe wäre es notwendig, das Signal, das in das Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgerät einfällt zu parametrieren, ebenso wie die Impulsantwort des Messsystems, das zur Erfassung des Schwingungsabbildes verwendet wurde. Dieses Parametrierungsverfahren erfordert ein Messmodell, das für Schwingungsabbild-verändernde Vorgänge verantwortlich ist, welche mitunter eine Funktion der Zeit sein können. Die Unsicherheiten dieser Parameter würden dann Informationen über die möglichen Kurvenformen des gemessenen Schwingungsabbildes liefern. Grenzwerte dieser Schwingungsabbild-Verläufe sollten die möglichen Schwingungsabbilder eingrenzen, die von einem bestimmten Signal durch eine bestimmte Reihe benutzerdefinierter Messgeräte erfasst worden sein könnte. Ein nominelles Schwingungsabbild und seine Kurvenformen sind in Bild 4 gezeigt anhand eines Beispiels, bei dem das Ansprechverhalten des Messgerätes durch seine Amplitudenverstärkung und Bandbreite gekennzeichnet ist.

Fehler zu unterschiedlichen *Momenten* im *Schwingungsabbild*, die aus den oben beschriebenen Effekten resultieren, dürfen auch korreliert sein. Eine vollständige Behandlung solcher Korrelationen erfordert auf Monte-Carlo- oder auf Kovarianz-Matrix basierende Verfahren, wie im GUM Supplement 1 und 2 beschrieben.

7 Messunsicherheiten von Schwingungsabbild-Parametern

Dieser Abschnitt enthält Parameter, für die *Messunsicherheiten* berechnet werden. Es folgt eine Liste von Parametern, die in IEC 60469 definiert sind und/oder für die Berechnungsalgorithmen vorgestellt werden. Die Parameter sind eingeteilt in *Amplituden-* und *Zeitparameter*. *Amplitudenparameter* werden zuerst beschrieben, da sie in der anschließenden Berechnung der meisten der zeitlichen Parameter verwendet werden. Die Klammern zeigen die Abhängigkeit von anderen Parametern.

Der Anwender der Norm muss ausführliche Informationen über verwendete Verfahren und Messgeräte bereitstellen, die bei der Erfassung eines *Schwingungsabbildes* verwendet werden. Diese Informationen müssen eine Beschreibung des Messsystems mit detailliertem Schaltbild enthalten, worin Verbindungen und Verbindungstypen (Steckertypen, Kabeltypen und -länge, etc.) sowie Details über Geräteleistungsdaten aufgezeigt sind. Der Benutzer muss eine Beschreibung der Berechnungsverfahren zum Erhalt der *Schwingungsabbild-Parameterwerte* liefern, sofern abweichend von den in IEC 60469 angegebenen Verfahren. Die Angabe von *Schwingungsabbild-Parameterwerten* durch den Anwender muss für jeden Parameter eine *Messunsicherheit*, den *Messunsicherheitstyp* und den *Freiheitsgrad* enthalten.

Die Berechnung der *Schwingungsabbild-Parameterwerte* und deren *Messunsicherheiten* basiert auf der Analyse dieser *Schwingungsabbilder*. Die Wiedergabetreue der *gemessenen Schwingungsabbilder* relativ zu den vom Messobjekt erzeugten *Schwingungsabbildern* (*Ausgangssignal* von einem Impulsgenerator oder Impuls-/ Sprungantwort des Messgerätes auf ein bekanntes *Eingangssignal*) ist abhängig von den Eigenschaften des Messsystems, welches Pulsgeneratoren und *Schwingungsabbild-Aufzeichnungsgeräte* enthalten darf. Um die Genauigkeitsabschätzung der *Schwingungsabbild-Parameter* zu verbessern, die die Leistungsfähigkeit des Messobjekts beschreiben, werden die *gemessenen Schwingungsabbilder* korrigiert um Zeitbasisfehler und Fehler aus statischer sowie digitalisierender Verstärkung. Diese *korrigierten Schwingungsabbilder* liefern eine höhere Wiedergabetreue der Leistungsfähigkeit des Prüflings als die *gemessenen Schwingungsabbilder*. Die *Messunsicherheiten* des *korrigierten Schwingungsabbildes* und seiner *Parameter* sollten aufgrund der zusätzlich zur Verbesserung der Schätzung verwendeten Informationen kleiner sein, wenn die Unsicherheitsanalyse korrekt durchgeführt wurde und das Messsystem angemessen ausgelegt ist, als *Messunsicherheiten* eines *gemessenen Schwingungsabbildes* und dessen *Parameter*. Allerdings wird die Unsicherheitsanalyse für das korrigierte Schwingungsabbild mehr Variablen enthalten als jene für das gemessene Schwingungsabbild. Analog dazu wird ein *rekonstruiertes Schwingungsabbild* eine genauere Darstellung der Leistungsfähigkeit des Messobjekts liefern als ein *korrigiertes Schwingungsabbild*. Diese Verbesserung ist der höheren Komplexität bei der Verarbeitung des *Schwingungsabbildes* und der Erhöhung der Anzahl von bei der Unsicherheitsanalyse zu berücksichtigenden Variablen geschuldet.

Viele der *Schwingungsabbild-Parameter* sind aus den elementaren *Schwingungsabbild-Parametern* berechnet, wie in Bild 5 dargestellt. Die elementaren *Schwingungsabbild-Parameter* sind *Zustandspegel*, *Anfangsmoment* und die *Schwingungsabbild-Epoche*. Der *Anfangsmoment* kann jeden Wert annehmen, außer wenn zwei oder mehr *Schwingungsabbilder* verwendet werden, um einen zeitlichen *Schwingungsabbild-Parameter* zu berechnen. Die *Messunsicherheit* in der *Schwingungsabbild-Epoche* gleicht einer *Messunsicherheit* im *Abtastintervall* aufgrund:

$$D_E = N \Delta t, \quad (25)$$

wobei D_E die *Schwingungsabbild-Epoche* ist, Δt das *Abtastintervall* und N die Anzahl der *Abtastungen*. Für Δt in (25) wird vorausgesetzt, dass das *Abtastintervall* für jede der N *Abtastungen* im *Schwingungsabbild* gleich ist. Dies ist normalerweise nicht der Fall. Folglich hat der Anwender dieser Norm zwei Möglichkeiten, um die *Messunsicherheit* für D_E zu berechnen. Eine Möglichkeit ist die Auslegung dieser *Messunsicherheit* anhand der Variationen eines einzelnen Wertes von Δt . Die andere Möglichkeit ist die Auslegung der *Messunsicherheit* anhand der Veränderungen der N -möglichen verschiedenen Werte von Δt , wobei für jeden der N -eindeutigen *Abtastungen* im *Schwingungsabbild* ein eindeutiger Wert von Δt gilt.

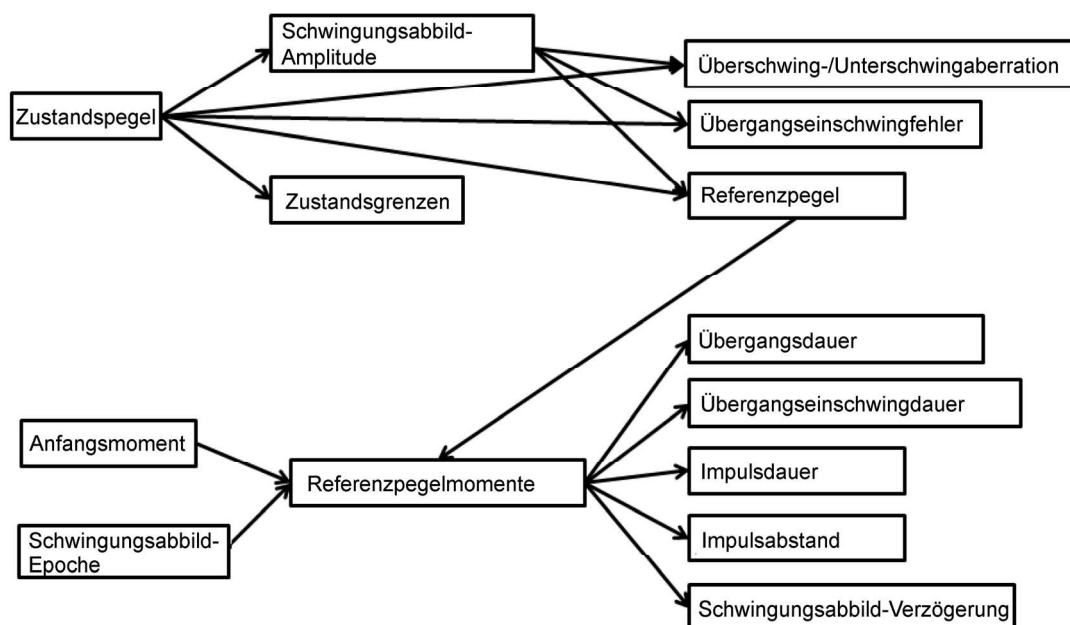


Bild 5 – Zusammenhang zwischen ausgewählten Schwungsabbild-Parametern

Signale, die am Eingang des *Schwungsabbild-Aufzeichnungsgeräts* anliegen, dürfen nichtwiederholte (auch bekannt als transiente oder „Einzelschuss“-Signale) oder periodisch wiederholte Signale sein. Wenn sich das Signal nicht wiederholt, wird das *gemessene Schwungsabbild* ungemittelt sein, auch „Single-sweep“ *Schwungsabbild* genannt. Wiederholt sich das Signal, wird das *gemessene Schwungsabbild* gemittelt, auch *gemitteltes Schwungsabbild* genannt. In jedem Fall hat der Anwender dieser Norm verschiedene Möglichkeiten zur Erfassung eines *Schwungsabbildes* oder einer Reihe von *Schwungsabbildern*, zur Mittelung einer Reihe von *Schwungsabbildern* sowie zur Berechnung der *Schwungsabbild-Parameter* eines gemittelten oder ungemittelten *Schwungsabbildes*. In der Regel sind diese Möglichkeiten:

- Mittelwertberechnung einer Reihe von *Schwungsabbildern*, dann Berechnung der *Schwungsabbild-Parameter* dieses gemittelten *Schwungsabbildes* und schließlich *Messunsicherheitsberechnung* der *Schwungsabbild-Parameter*.
- Wiederholung der Berechnung der *Schwungsabbild-Parameter* für entweder einen Satz gemittelter oder ungemittelter *Schwungsabbilder*, die einen Satz von *Schwungsabbild-Parametern* liefern, dann Mittelwertberechnung aus diesem *Schwungsabbild-Parametersatz* und schließlich *Messunsicherheitsberechnung* der *Schwungsabbild-Parameter*.

7.1 Amplitudenparameter

7.1.1 Zustandspegel

Der *Zustandspegel*, oder der Wert des *Pegels*(s_i) mit „ s_i “ als i -ter Zustand, ist der elementarste *Schwungsabbild-Parameter*. Er ist die Basis zur direkten oder indirekten Berechnung aller Amplitudenparameter und der meisten Zeitparameter. Für den Wert des *Zustandspegels* gibt es eine Vielzahl von Verfahren zur Berechnung oder Annahme [IEC 60469, 5.2]. Jedes dieser Verfahren wird eine andere *Messunsicherheit* ergeben, die hier kurz in Tabelle 2 beschrieben und zusammengefasst werden. Nachfolgend wird der jeweils typische Unsicherheitstyp gezeigt. Abhängig vom typischen Messverfahren, das vom Anwender dieser Norm verwendet wird, darf es entweder vom Typ A oder Typ B sein.