

# XIX Kalibrierung von Zangenstrommessgeräten und -wandlern

## XIX.1 Geltungsbereich

Stromzangen wie Zangenstrommessgeräte (Zangenamperemeter) oder Zangenstromwandler dienen zur berührungslosen Messung der elektrischen Stromstärke in stromdurchflossenen Leitern. In der Regel liefern Stromzangen am Ausgang ihres Sekundärkreises ein Signal, das in Verlauf und Amplitude proportional zu dem im Primärkreis fließenden Strom ist. Folgende Arten von Stromzangen lassen sich unterscheiden:

- **Direkt anzeigende Stromzangen (Zangenstrommessgeräte / Strommesszangen)** zeigen die gemessene Stromstärke sofort an einem integrierten oder angeschlossenen Messinstrument an.
- **I-U Zangenstromwandler** wandeln die Stromstärke im Primärkreis in eine proportionale Spannung im Sekundärkreis. Die Anzeige erfolgt mit einem Spannungsmessgerät, Multimeter oder Oszilloskop und kann über den Wandlungsfaktor (z.B. 1:100 V/A) in die entsprechende Stromstärke umgerechnet werden.
- **I-I Zangenstromwandler** liefern einen proportionalen Messstrom im Sekundärkreis, der an einem Strommessgerät oder Multimeter gemessen werden kann.

Konstruktionsabhängig werden die Geräte passiv oder mit Hilfsenergie (z. B. Netzteil, Stromversorgung, Akku oder Batterien) betrieben. Je nach Ausführung können Zangendurchmesser handelsüblicher Zangen variieren. Abhängig von Bauform und Technologie solcher Geräte sind unterschiedliche Messunsicherheiten erzielbar, daher müssen des Weiteren folgenden Arten unterschieden werden: Die Verwendung eines kalibrierten Stromwandlers zur Messung von Stromstärken ist in Abs. VIb.1.1 beschrieben.

### Transformatorische Wandler

Diese Wechselstrom-Zangenstrommesser oder –wandler arbeiten nach dem Transformator-Prinzip. Die Stromzange fungiert hierbei als magnetischer Messwandler/Stromwandler. Dabei bilden der feste und der bewegliche Schenkel der Zange im geschlossenen Zustand den Trafokern, der zu messende Leiter die Primärwicklung und die Spule im Messgerät die Sekundärwicklung. Transformatorische Wandler belasten den Messkreis, sind aber auch ohne Hilfsenergie einsetzbar. Geräte dieser Bauart sind nicht DC-fähig.

### Hallsensorwandler

Für AC/DC-taugliche Geräte werden Hallsensoren oder magnetfeldabhängige (magnetoresistive) Widerstände, die auch statische Magnetfelder erfassen können, in einem Luftspalt des Kerns angebracht. Die erzeugten schwachen Signale müssen elektronisch verstärkt werden. Deshalb müssen diese Messgeräte über Batterien oder Netzgeräte mit Energie versorgt werden, sind aber auch für Wechselströme geeignet.

### Nullflusswandler

Ein sehr genaues Messprinzip stellt die sog. Kompensationsmethode dar: Dabei wird ein durch eine Kompensationswicklung fließender Strom so geregelt, dass der magnetische Fluss im Kern idealerweise zu null wird. Der Kompensationsstrom wird zur Anzeige gebracht. Vorteil hierbei ist, dass eventuelle nichtlineare Eigenschaften beispielsweise des Kerns oder des Hallsensors kaum noch Einfluss auf die Messung haben. Auch hierbei ist für die Regelung und den Kompensationsstrom eine Energieversorgung notwendig. Geräte dieser Bauart sind AC und DC-fähig.

### Rogowskispulen

Die Rogowskispule ist eine toroidförmige Luftspule, das heißt, sie hat keinen ferromagnetischen Kern. Sie besteht aus einem Leiterdraht, der möglichst gleichmäßig um einen festen Körper aus einem nicht leitenden und nicht ferromagnetischen Werkstoff gewickelt ist (Luftspule). Rogowskispulen sind sehr robust und es sind keine nichtlinearen Einflüsse eines Eisenkerns zu erwarten. Sie benötigen zur

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.40	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIX Kalibrierung von Zangenstrommessgeräten und -wandlern	1

Strommessung Hilfseinrichtungen wie Verstärker und/oder geeignete verstärkende Anzeigergeräte mit Hilfsenergie. Bauartbedingt sind Rogowskispulen nicht DC-fähig und weisen eine hohe Lageabhängigkeit des Messergebnisses auf.

**Oszilloskopstromzangen**

Diese Stromzangen sind in der Regel eine Sonderform AC/DC-tauglicher Hallsensorwandler, die mit einem Oszilloskop als Anzeigergerät verwendet werden. Die für den am Kabelende verbauten Verstärker benötigte elektrische Energie beziehen diese meist vom Oszilloskop. Die Kalibrierung des Frequenzgangs erfolgt wie in Kapitel IX.2.7 beschrieben

**HF-Stromzangen**

Die Kalibrierung liegt außerhalb dieses Geltungsbereiches. Sie wird im 50 Ω Leitungssystem durchgeführt und ist in AA0067 beschrieben.

**XIX.2 Kalibrierverfahren**

Neben den hier aufgeführten Beschreibungen sind weitere Angaben auch in der Richtlinie [VDI/ VDE/ DKD/ DGQ 2622-Blatt-23.1](#) enthalten.

**XIX.2.1 Messung am kurzgeschlossenen Leiter (Einfachwicklung)**

Die Kalibrierung bis 2,2 A erfolgt analog des in Kapitel III.1.2 dargestellten Kalibrierverfahrens für Stromstärkemessgeräte. Der Messstrom wird am z. B. an einem Multifunktionskalibrator wie Fluke 5700A erzeugt und fließt über eine ungeschirmte, kurzgeschlossene Leitung. Senkrecht zum Leiter erfolgt dann die Messung mit der zu kalibrierenden Stromzange, wobei auf die richtige Polarität zu achten ist, die bei den meisten Zangen durch einen Hinweispfeil überprüft werden kann. Soweit möglich wird die Leiterposition in der Mitte und senkrecht zur Zange gewählt oder eine passende Zentrierhilfe verwendet (siehe Bild XIX.5 Einleiter-„Kabelfix“). Es sollte dabei die Lageempfindlichkeit durch mehrere Messungen mit verschiedenen Ausrichtungen und Positionen (sofern vom Hersteller angegeben, nur im spezifizierten Bereich) des stromdurchflossenen Leitungsstück relativ zur Zange durchgeführt werden. Soweit nötig, werden dadurch bedingte Abweichungen erfasst, gemittelt und in die Angabe der Messunsicherheit mit einbezogen. Erfolgt die Ausgabe der Messwerte durch Strom- oder Spannungsmessung an einem Multimeter, so wird üblicherweise der nominelle Wandlungsfaktor (Herstellerangabe)

$$G = \frac{Y_{aus}}{I_{ein}}$$

als Verhältnis der erwarteten Ausgangsgröße  $Y_{aus}$  zur eingespeisten Stromstärke  $I_{ein}$  verwendet und im Kalibrierschein die daraus errechneten Messwerte angeben.

Höhere Ströme können an einem Stromverstärker wie z. B. Fluke 52120A, Fluke 5725A oder Fluke 5220A erzeugt werden. In diesen Fällen sollte die genaue Ermittlung der im Messkreis fließenden Stromstärke auf Basis der ohmschen Zusammenhänge zusammen mit einem Messshunt und Messung des Spannungsabfalls an HP 3458A (s. Kapitel IV.1) erfolgen, da v. a. die Unsicherheit der Wechselstromerzeugung stark lastabhängig sein kann.

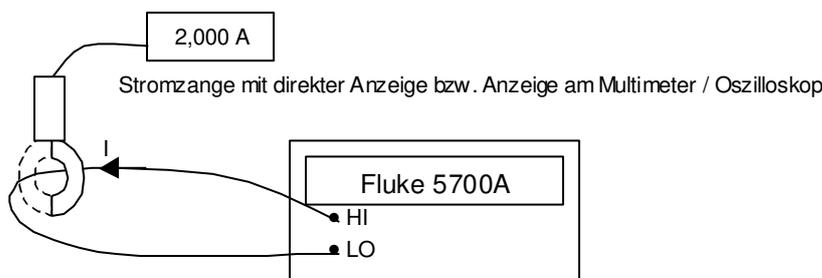


Bild XIX.1 Direkte Kalibrierung an einem Kalibrator (Fluke 5700A bis 2,2A)

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.40	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIX Kalibrierung von Zangenstrommessgeräten und -wandlern	2

Stromzange mit direkter Anzeige bzw. Anzeige am Multimeter / Oszilloskop

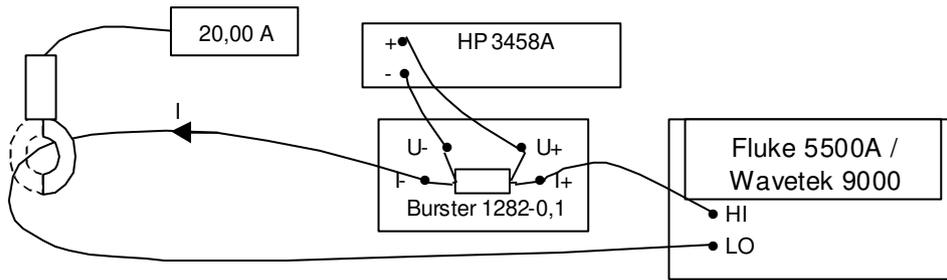


Bild XIX.2 Stromerzeugung über Shuntwiderstand (hier exemplarisch gezeigt bis 20 A)

### XIX.2.2 Messung an Leitungswicklungen

Um höhere Stromstärken zu kalibrieren, fließt der Strom über Wicklungen mit entsprechender Windungszahl. Dazu stehen z. B. 10-, 20-, 50 und 60-fache Wicklungen zur Verfügung. Die Wicklungen sind so konstruiert, dass sowohl Leitungswiderstand und Induktivität hinreichend gering sind, da die angeschlossenen Stromquellen nur eine begrenzte Ausgangsspannung (Compliance Voltage) besitzen. Die Bereitstellung von Stromstärken an 50facher Leitungswicklung erfolgt üblicherweise am Modell „Fluke 5500A/Coil“ oder eigener Nachbauten der Fluke 5500A/Coil. Die am Eingang der Spulen erforderlichen Ströme werden je nach Verfügbarkeit z. B. an Kalibratoren der Serie Fluke 5520A oder an Transkonduktanzverstärkern wie Fluke 5220 in Verbindung mit Fluke 5700A oder Fluke 5500A



verschiedene Leitungswicklungen

Kalibratoren erzeugt. Das Messobjekt wird an der Spule so positioniert, dass der Mehrfachleiter mittig und rechtwinklig zum Zentrum der Zange verläuft. Für maximale Stromstärken muss ein Verstärker wie Fluke 52120A verwendet werden. Es ist empfehlenswert je Messschritt einen Mittelwert aus mindestens 3 Messwerten nach erneutem Öffnen, Schließen und Positionieren der Zange aufzunehmen.

Da die induktive Belastung der Quelle einen signifikanten Anteil zur Unsicherheit leisten kann, muss, um die genaue Stromstärke der Quelle zu ermitteln, z.B. über einen geeigneten Nebenwiderstand (Shunt, wie z. B. Burster 1282-0,1) der Ausgangsstrom des Verstärkers „gemonitort“ werden (s. a. Kapitel IV.1 bzw. Bild XIX.2). Andernfalls ist die durch die Belastung zu erwartende Unsicherheit (z. B. Herstellerspezifikation oder Ermittlung aus Testmessungen) im Unsicherheitsbudget zu berücksichtigen. Der Anschluss erfolgt dann prinzipiell wie in Bild XIX.3 mit der Leitungswicklung in Serie zum Stromfluss. Der Rückleiter zur Stromquelle sollte so weit entfernt wie möglich vom Messobjekt geführt werden, um dessen Streufelder auf die Messung klein zu halten.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.40	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIX Kalibrierung von Zangenstrommessgeräten und -wandlern	3

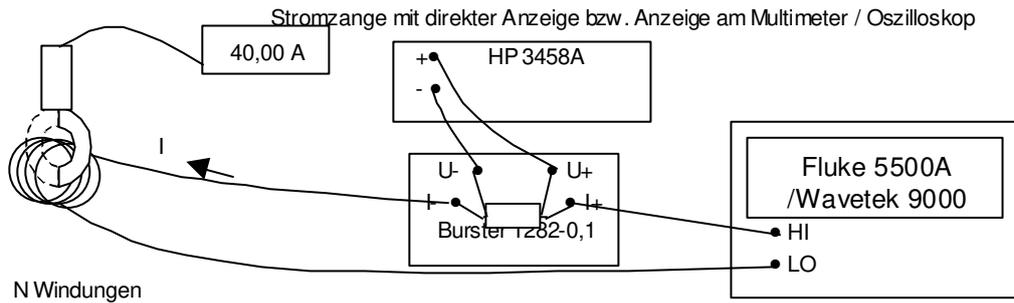


Bild XIX.3 Stromerzeugung über Leitungswicklungen

Die Kalibrierstromstärke ergibt sich dann zu  $I = N \cdot I_{ein}$  als Produkt aus Eingangsstromstärke  $I_{ein}$  des Kalibrators in die Leitungswicklung und Windungszahl  $N$  der Stromwicklungen. Da  $N$  selbst keine Unsicherheit besitzt, sind die weiteren Anteile zur Gesamtunsicherheit meist lediglich vom Messobjekt abhängig.



Bild XIX.4a Fluke 5500A/COIL

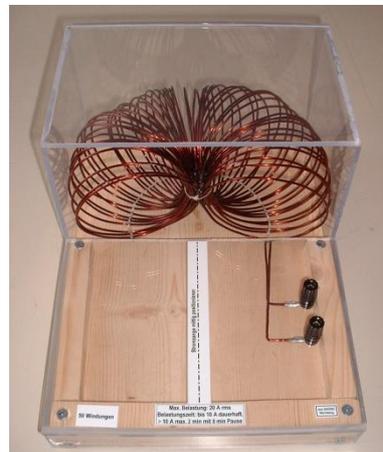


Bild XIX.4b esz-Eigenbau



Bild XIX.5 Einleiter-„Kabelfix“ (Zentrierhilfe)

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.40	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIX Kalibrierung von Zangenstrommessgeräten und -wandlern	4

### XIX.2.3 Kalibrierung von Präzisionsstromwandlern

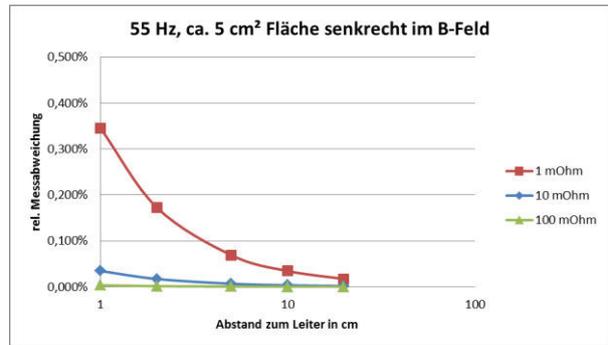
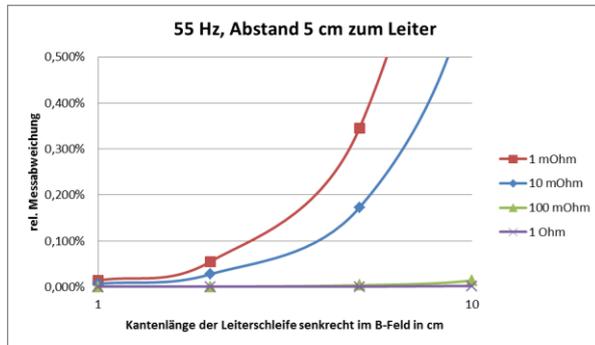
Um Präzisionsstromwandler (z. B. der Serie LEM Ultrastab) in hohen Messbereichen zu charakterisieren, werden prinzipiell die in Abs. XIX.2.1 und XIX.2.2 genannten Methoden an Einfach- oder Mehrfachwicklungen eingesetzt. Die Anforderungen an die Messunsicherheit erfordern v. a. bei höheren Einfachstromstärken und dem Einsatz von kleinen Shunts  $<1 \Omega$  separate Betrachtungen. Denn die Spannungsanschlüsse am Nebenwiderstand stellen dabei eine Feldspule (Pickup) dar, in die durch die hohen magnetischen Wechselfelder Spannungen induziert werden, die der Messspannung überlagert sind. Die Spannungen sind proportional zur aufgespannten Fläche des Pickups aus Messwiderstand und Zuleitungen, der Stromstärke, dem Abstand zum stromdurchflossenen Leiter (senkrecht zum Pickup) und der Frequenz der Wechselstromstärke:

$$U_{\text{induziert,max}} \approx B \cdot A \cdot 2\pi \cdot f = \frac{I}{2\pi \cdot r} \cdot \mu_r \mu_0 \cdot A \cdot 2\pi \cdot f = \frac{I}{r} \cdot \mu_r \mu_0 \cdot A \cdot f$$

Mit der stromstärkeabhängigen Spannung am Shunt wird die entstehende relative Messabweichung  $U_{\text{induziert}} / U_{\text{Shunt}}$  bei fester Geometrie nur noch abhängig vom eingesetzten Widerstand und der Frequenz zu:

$$\frac{U_{\text{induziert}}}{U_{\text{Shunt}}} \sim \frac{1}{r \cdot R_{\text{Shunt}}} \cdot \mu_r \mu_0 \cdot A \cdot f$$

Die Shuntgeometrie und der Abstand zum stromdurchflossenen Leiter (senkrecht zur Feldspule) spielen beim Monitoring von Wechselstromstärken mit kleinen Nebenwiderständen (im Bereich  $1 \text{ m}\Omega$  bis  $100 \text{ m}\Omega$ ) also eine entscheidende Rolle. Maximale Abstände von senkrecht zum Shunt (Feldspule) liegenden Leitern können helfen, induzierte Spannungen klein zu halten, ausgeschlossen werden können diese jedoch nicht. Daneben wirken sich alle Leiterbewegungen schädlich auf die Wiederholbarkeit der Messung aus. Auch koppeln magnetische Felder ggf. unvermeidbar in die Steuerspannung der Quelle (Transkonduktanzverstärker) und alle Leiterabschnitte des Spannungsabgriffs. Diese Störungen müssen durch verdrehte Messleitungen, Abstand zu stromführenden Leitern und den Einsatz von Ferriten (Chokes) klein gehalten werden.



geschätzter feldabhängiger Einfluss bei Verwendung verschiedener Messshunts<sup>1</sup>

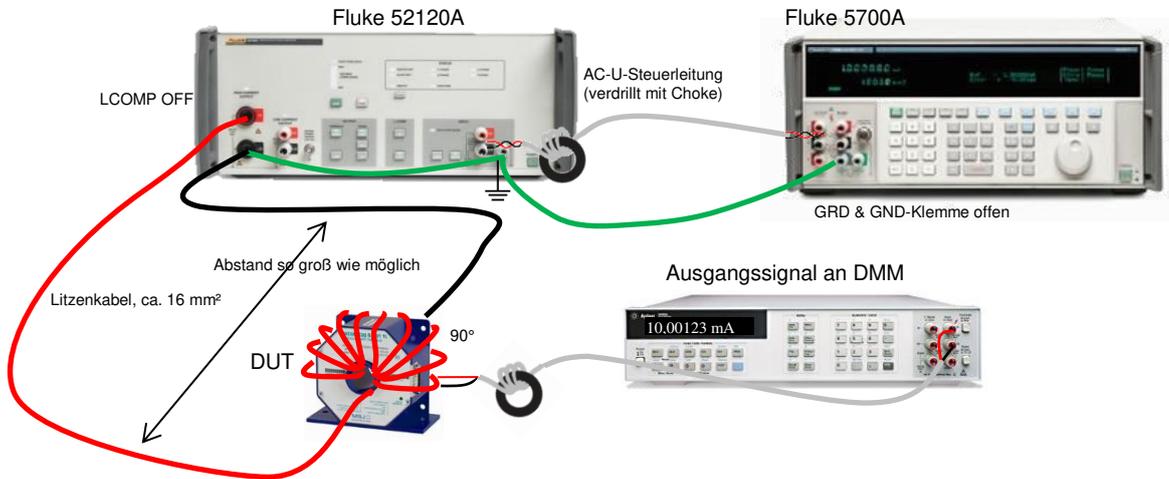
Es kann daher v. A. im Wechselstrombereich zweckmäßig sein, auf die Kontrollmessung mit einem Nebenwiderstand zu verzichten und lediglich die kalibrierte Quelle unter Berücksichtigung der Lastabhängigkeit ihrer Ausgangsstromstärke als Normal an der Einfach- bzw. Mehrfachwicklung zu betreiben. Als Anschlusskabel für die Hochstromquelle eignen sich besonders gut hochflexible Stromkabel aus der KFZ-Audiotechnik (Litzenkabel<sup>2</sup>) mit kleinem Widerstand und kleiner Induktivität.

<sup>1</sup> <http://dmsserver/technik/Tools/Magnetfeld-Einflussabschaetzung-bei-der-AC-Stromstaerkemessung.xls>

<sup>2</sup> siehe [http://www.st-andrews.ac.uk/~www\\_pa/Scots\\_Guide/audio/skineffect/page1.html](http://www.st-andrews.ac.uk/~www_pa/Scots_Guide/audio/skineffect/page1.html)

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.40	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIX Kalibrierung von Zangenstrommessgeräten und -wandlern	5

Für die Kalibrierung von Stromwandlern am Transkonduktanzverstärker Fluke 52120A hat sich dabei folgender Messaufbau als praktikabel erwiesen:



Möglicher Anschlussaufbau für die Kalibrierung von Präzisionsstromwandlern. Als Stromanschlusskabel sind Litzenkabel aus der KFZ-Audiotechnik empfehlenswert, da diese die Last am Verstärker besonders klein halten.

## XIX.3 Messunsicherheit

### XIX.3.1 Messunsicherheitsbilanz

#### Modellgleichung:

Für die Kalibrierung von Stromzangen und -wandlern formuliert sich das Modell für die gemessene Stromstärke am Kalibriergegenstand zu

$$I_{\text{Anz}} - \Delta I = N \cdot I_{\text{ein}} \cdot K_A \cdot K_P \cdot K_{\text{WP}} \cdot K_{\text{aus}}$$

mit

$I_{\text{Anz}}$  Abgelesene Stromstärke am Kalibriergegenstand

$\Delta I$  Abweichung des am Kalibriergegenstand abgelesenen Wertes vom Kalibrierwert

$N$  Windungszahl der verwendeten Stromwicklung

$I_{\text{ein}}$  Eingangsstromstärke (Kalibrierwert, Wert des Normal). Die Unsicherheiten der eingespeisten Stromstärke ergeben sich aus der Unterbilanz der Stromerzeugung z. B. gemäß Kapitel III und VI. Der Einfluss der Lastabhängigkeit und induktiven Rückkopplung auf die Quelle ist ggf. als verfahrensabhängiger Anteil bereits zu berücksichtigen.

$K_A$  Korrektionsfaktor bedingt durch die Auflösung der Anzeige des Strommessgerätes. Ausschlaggebend ist die niederwertigste Stelle der Anzeige ( $\Delta$ -Spanne zwischen  $\pm 0,5$  Digit). Dieser Anteil kann erst im konkreten Fall angegeben werden, die meisten handelsüblichen Stromzangenmultimeter sind mit mindestens  $4 \frac{1}{2}$  Stellen erhältlich. Präzisionswandler z. B. mit Gleichspannungsausgang erlauben sogar eine relative Ablesung im Bereich  $1 \cdot 10^{-6}$

$K_P$  Korrektionsfaktor durch das Streufeld der verwendeten Stromleitung bzw. Stromwicklung. Position, Ausrichtung und Lage der Zange zum Leiter sowie das unbekannte Streufeld der verwendeten Leitung können einen großen Anteil der Messunsicherheit darstellen. Der Anteil

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.40	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIX Kalibrierung von Zangenstrommessgeräten und -wandlern	6

ist sehr stark vom Messobjekt abhängig und kann durch verändern der Leiterposition in der Zange bestimmt werden. Gute Zangenstromwandler oder Zangen mit fest einspannbarer Leiterposition verringern diesen Anteil, so dass mit diesen die Stromstärke im Leiter sehr gut bestimmbar ist. Nullflusswandler wie die der Serie „LEM ITZ Ultrastab“ zeigen oft weder bei DC noch bei AC Messungen signifikante Einflüsse bei Bewegung der Zange oder der Leitungswicklung.

$K_{WP}$  Korrektionsfaktor bedingt durch Wiederholpräzision z.B. bei durch Erwärmung oder zeitliche Instabilität der Kalibrierstromstärke. Der Anteil ist z. T. vom Messobjekt abhängig und kann daher erst im konkreten Fall ermittelt werden. Er wird daher für die Berechnung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit zu Null angenommen.

$K_{aus}$  Das Kalibrierergebnis bezieht sich grundsätzlich immer auf den Verbund aus dem verwendetem Anzeigegerät und der Zange (bzw. Wandler). Wird das Wandlungsmaß  $G$  eines Wandlers

$$G = \frac{Y_{aus}}{N \cdot I_{ein}}$$

als Verhältnis des Ausgangssignals  $Y_{aus}$  zur Kalibrierstromstärke alleine bestimmt so ist die Unsicherheit und ggf. Korrektion des Anzeigegerätes zusätzlich zu berücksichtigen. Sie ergibt sich als Unterbilanz der zugehörigen Messgröße wie z. B. Gleichspannung, Gleichstromstärke oder Messung mit Oszilloskop als Normal.

Die beigeordnete **relative** erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ ) bestimmt sich zu:

$$W = 2 \cdot w = 2 \cdot \sqrt{w_{ein}^2 + w_A^2 + w_P^2 + w_{WP}^2 + w_{aus}^2}$$

**Tabellarische Darstellung der Messunsicherheitsbilanz:**

Größe	Schätzwert	Halbbreite	Verteilung	Unsicherheit	Sensitivität skoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
$x_i$	$x_i$	$a$		$w(x_i)$	$ c_i $	$w_i(y)$
$I_{Anz}$	$i_{Anz}$					
$N \cdot I_{ein}$	$i_{ein}$	$W_{ein}$	Normal	$W(I_{ein})/2$	1	$w_{ein}$
$K_{WP}$	1	$s$	Normal	$w(K_{WP}) = \frac{s/\sqrt{n}}{I_{Anz}}$	1	$w_{WP}$
$K_A$	1	$a_A/I_{Anz}$	Rechteck	$w(K_A) = \frac{a_A}{I_{Anz} \cdot \sqrt{3}}$	1	$w_A$
$K_P$	1	$\sigma_P$	Normal	$w(K_P) = \frac{\sigma_P}{\sqrt{n}}$	1	$w_P$
$K_{aus}$	1	$W_{aus}$		$W_{aus}/2$	1	$w_{aus}$
$\Delta I$	rel. Standardunsicherheit			$w(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N w_i^2(y)}$		$w(y)$
$\Delta I$	rel. erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ )			$W(y) = k \cdot w(y)$		$W(y)$

**Beispiel:**

Beispiel für Wechselstromstromstärkemessung  $N=10$  A bei 50 Hz an 3,5 Digit Zangenmultimeter. Die Ablesung ergab kaum zeitliche Instabilitäten, d.h. bei Wiederholung an derselben Position wurde innerhalb der Auflösung keine signifikante Änderung festgestellt. Es wurden  $n=3$  Messungen mit Veränderung der Zange im Leiter bei Verlassen der Mitten- und Senkrechtposition mit den Ablesungen 500,1 A, 500,0 A und 499,9 A durchgeführt. Daraus ergibt sich eine Standardabweichung von  $\sigma=0,1$  A und eine empirische Standardunsicherheit von  $\sigma/\sqrt{n} = 0,058$  A.

Größe	Schätzwert	Halbbreite	Verteilung	Unsicherheit	Sensitivität skoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
$X_i$	$x_i$	$a$		$w(x_i)$	$ c_i $	$w_i(y)$
$I_{Anz}$	500,0 A					
$N \cdot I_{ein}$	50 · 10,00 A	$0,65 \cdot 10^{-3}$	Normal, k=2	$\frac{0,65 \cdot 10^{-3}}{2}$	1	$0,325 \cdot 10^{-3}$
$K_{WP}$	1	0	Normal	-	1	-
$K_A$	1	$\frac{0,05 \text{ A}}{500 \text{ A}}$	Rechteck	$\frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}}$	1	$57,8 \cdot 10^{-6}$
$K_P$	1	$\frac{0,1 \text{ A}}{500 \text{ A}}$	Normal	$\frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}}$	1	$0,115 \cdot 10^{-3}$
$\Delta I$	rel. Standardunsicherheit			$w(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N w_i^2(y)}$		$0,35 \cdot 10^{-3}$
$\Delta I$	rel. erweiterte Messunsicherheit (k=2)			$W(y) = k \cdot w(y)$		$0,70 \cdot 10^{-3}$

### XIX.3.3 Ergebnisse

Es kann gezeigt werden, dass vor allem das Messobjekt in allen Fällen die Gesamtunsicherheit beeinflusst und damit erst im konkreten Fall berücksichtigt werden muss. Die Unsicherheit ergibt sich daher im Wesentlichen als Funktion der relativen Unsicherheit der Kalibrierstromstärke  $W(I_{in})$  und des Messobjekts  $W_{DUT}$  zu

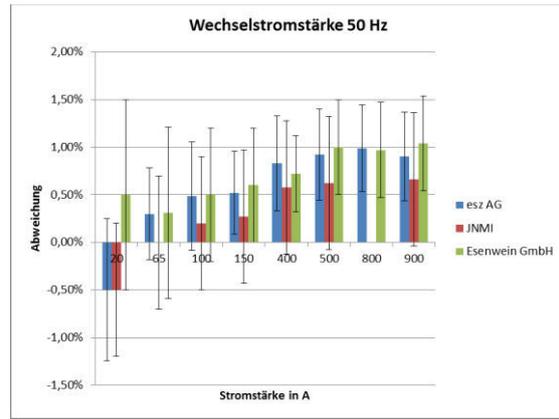
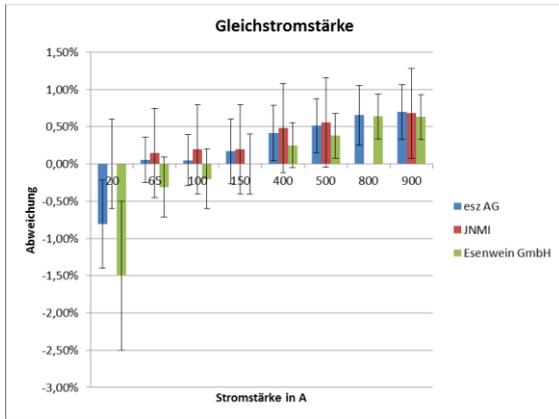
$$W(\Delta I) = \sqrt{W(I_{in})^2 + W_{DUT}^2} \cdot I$$

Der typische Einfluss auf AC/DC-Zangenmultimeter mit Hallsensorwandler wurde durch Testmessungen eines handelsüblichen Zangenmultimeters (Fluke 337) an unterschiedlichen Messplätzen und im Außenvergleich<sup>3</sup> bestimmt. Die Unsicherheit wurde aus der zweifachen Standardabweichung aller Messungen bei esz gebildet ( $n=21$  an teils unterschiedlichen Quellen und Wicklungen bzw. mit verschiedenen Bedienern). Der Anteil der Stromstärkeerzeugung spielt dabei eine untergeordnete Rolle und kann daher vernachlässigt werden. Die wesentlichen Komponenten zur Gesamtunsicherheit liefern das Messobjekt selbst und das Verfahren (Leitungswicklung). Die Unsicherheit  $W_{Hall}$  (k=2) der Gleichstromstärkeabweichung  $\Delta I_{DC}$  bzw. Wechselstromstärkeabweichung  $\Delta I_{AC}$  für Geräte ähnlicher Bauart (mit Hallsensorwandler) kann daraus geschätzt werden zu

$$W_{Hall}(\Delta I_{DC}) \approx 0,35 \%$$

$$W_{Hall}(\Delta I_{AC}) \approx 0,4 \%$$

<sup>3</sup> siehe Bericht unter <K:\Intranet\DKD-QS\DKD\Ringvergleiche\2014 Zangenmultimeter\Außenvergleich Zangenmultimeter 2013-2015.docx>



Ergebnisse des Außenvergleichs „Zangenmultimeter“ (Fluke 337) vom 17.10.2013 bis 29.1.2015

Die höchste Kalibrierfrequenz  $f_{max}(I_{in})$  ist von der Anzahl der Wicklungen  $N$ , dem Einfluss des Messobjektes und der "Compliance"-Spannung des verwendeten Stromverstärkers abhängig. Sie ist bei Verwendung von Transkonduktanz-Verstärkern wie Fluke 5220A oder 52120A für Stromstärken >11 A auch bei höheren Leiterquerschnitten auf etwa 2 kHz beschränkt.

### Weiterführende Dokumente

<http://dmsserver/technik/Arbeitsanweisungen/AA0114-Kalibrierumfang-Zangenmultimeter.doc>

<http://dmsserver/technik/Arbeitsanweisungen/AA0159-Kalibrierumfang-Zangenstromwandler.doc>

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.40	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XIX Kalibrierung von Zangenstrommessgeräten und -wandlern	9



© esz AG, 2018

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International zugänglich. Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, Postfach 1866, Mountain View, California, 94042, USA.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.40	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - <b>XIX Kalibrierung</b> von Zangenstrommessgeräten und -wandlern	10