

# Sweep-Test zur Bestimmung der Messfeldgröße für Strahlungsthermometer

**Frank Liebmann**, Fluke Calibration, 799 E Utah Valley Dr., American Fork, Utah, 84003, USA

## Kurzfassung

Die Messfeldgröße für ein Strahlungsthermometer kann durch eine Reihe von Methoden quantifiziert werden. Die Daten aus diesen Tests sind entscheidend für die Ermittlung der Kalibriergeometrien sowohl für Kalibrier- und Messapplikationen. Es gibt heute eine begrenzte Anzahl standardisierter Testmethoden zur Bestimmung der Messfeldgröße. Das Verfahren über das hier diskutiert werden soll, ist als „Sweep-Test“ bekannt. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über das Sweep-test und erläutert die mathematische Grundlage dafür. Die Arbeit zeigt dann Ergebnisse von Tests die sowohl mit Laborstrahlungsthermometer und tragbaren Strahlungsthermometer gemeinhin als Infrarot-Thermometer erzielt wurden. Die Ergebnisse dieser Tests sind etabliertes Verfahren bekannt als Messfeldgrößemethode.

## 1 Einleitung

Der Inhalt dieser Arbeit wurde ursprünglich auf einer früheren Tagung diskutiert [1]. Die frühere Arbeit hat gezeigt, dass der Sweep-Test zur Bestimmung der Messfeldgröße (SSE) für Strahlungsthermometer geeignet ist. Es gab ein paar Probleme mit dieser Methode. Erstens war die ursprünglich verwendete Mathematik für die Konvertierung sehr schwierig. Zweitens gab es ziemlich viel Unsicherheit da nicht genau bekannt war ob 100 Prozent der Messfeldgröße in der Blende enthalten sind. Diese zweite Unsicherheit ruft auch Bedenken bei traditionellen Messfeldgröße-Tests hervor, die eine veränderbare Blende verwenden.

## 2 Diskussion der Methoden

Diese Arbeit vergleicht zwei Methoden, die Messfeldgrößen Methode und den Sweep-Test. Die Messfeldgrößen-Methode ist eine traditionelle Methode der Bestimmung der Messfeldgröße für ein Strahlungsthermometer [2][3]. Sie verwendet eine veränderbare Blende. Die Blendegröße wird variiert, und der Temperatur- oder Strahldichtewert des Strahlungsthermometers wird bei verschiedenen Blenden-Durchmessern beobachtet. Der Sweep-Test verwendet einen seitlichen Sweep eines Strahlungsthermometers über die X-Achse der Blende [1][4]. Die Daten werden als Strahldichte oder Temperatur über Abstand der Blendenmitte gesammelt. Dieser Prozess wird weiter im folgenden Abschnitt diskutiert.

## 3 Daten des Sweep-Test

Die Sweep-Daten besitzen einige interessante Eigenschaften, die sie nützlich zur Bestimmung der Messfeldgröße machen. Ein Graph der Messfeldgröße ist grundsätzlich ein Strahlprofil der eingehenden Strahldichte. Abbildung 1 zeigt ein typisches Messfeldgrößen-

Daten-Set. Der Großteil und die Streuung werden in Abbildung 1 aufgezeigt [5][6]. Die Größe des Großteils ist interessant, aber typischerweise nicht nutzbar für die Berechnung der Unsicherheit. Dies liegt daran, dass der Großteil hauptsächlich innerhalb der Blende eines Strahlungsthermometrie-Messsystems enthalten ist. Andererseits ist die Streuung typischerweise die interessante Eigenschaften da sie die Messabweichung-, Unsicherheit-, oder Korrekturwerte von der Benutzung eines bestimmten Blendendurchmessers geben kann.

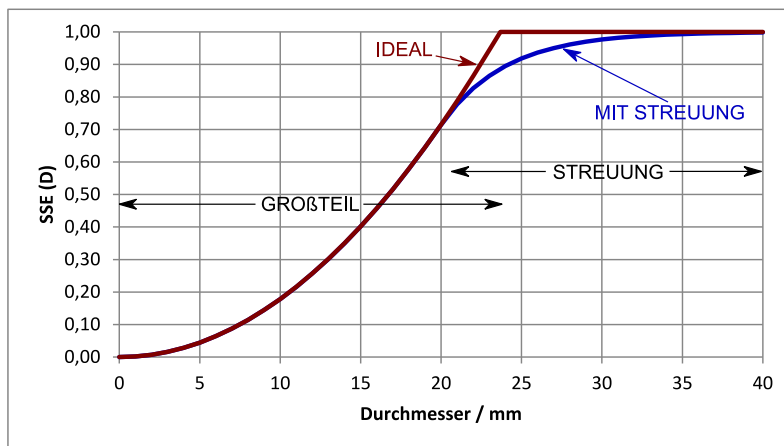


Abbildung 1.  
Beispiel der  
Messfeldgröße-  
Daten.

Abbildung 2 zeigt ein typisches Sweep-Daten-Set. Diese Sweep-Daten werden vom Beispiel in Abbildung 1 mit einer 40 mm Blende modelliert. Das Beispiel zeigt Sweeps von Strahlungsthermometern mit und ohne Streuung. Es gibt ein paar merkwürdige Eigenschaften. Erstens zeigen die Ideal-Daten nahe von  $d = 0$  keine Veränderung mit der Entfernung  $d$ . Jedoch hat die Datenstreuung eine Krümmung. Zweitens sind die Daten auf und unter  $SW(d) = 0,90$  sehr unabhängig von der Streuung. Dies ergibt die Möglichkeit bei Benutzung des  $SW(d) = 0,99$  den Zerfall der Streuung zu berechnen bei  $SW(d) = 0,90$  den Durchmesser des Großteils zu berechnen. Von dieser Daten ist es klar dass Teile der Sweep-Daten zu Bestimmung des Großteil und der Streuung verwendet werden können.

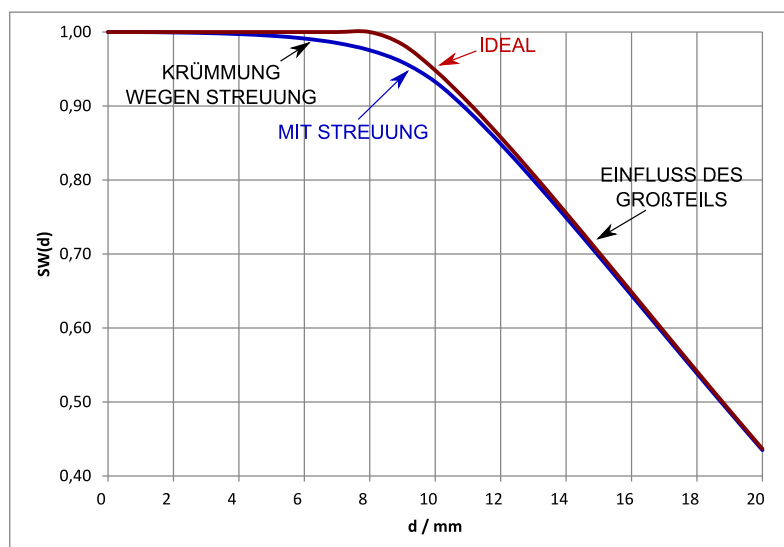


Abbildung 2.  
Beispiel der  
Sweep Daten.  
Die Mitte der  
Blende wird  
als  $d = 0$   
gerechnet.

#### 4 Konvertierung der Sweep-Daten zu SSE-Daten

Diese Umsetzung basiert auf der vorherigen Modellierung der Sweep-Daten [1][4]. Im Grunde besteht diese Modellierung auf einer numerischen Faltung der Sweep-Daten. Für die Messfeldgröße-Daten wird die Form einer Teilfunktion angenommen (1). Die Gültigkeit dieser Annahme wird später in dieser Arbeit gezeigt. Falls die Funktion in Gleichung(1) als kontinuierlich angenommen wird, müssen die Bedingung in Gleichung (2) erfüllt sein. Dies ist jedoch nicht notwendig für diese Arbeit. In diesen Gleichungen ist  $D$  der Durchmesser der Messfeldgröße.  $D_i$ ,  $D_0$ ,  $\gamma$ , und  $\tau$  sind Parameter welche die Daten ausgleichen können.  $D_i$  entspricht dem oberen Grenzwert des Großteils.  $D_0$  entspricht dem unteren Grenzwert der Streuung.  $\gamma$  entspricht der Messfeldgröße im Punkt wohin die Streuung beginnt, und  $\tau$  entspricht dem Zerfall der Streuung.

$$SSE(D) = \begin{cases} \gamma \left( \frac{D}{D_0} \right) & D < D_0 \\ 1 - (1 - \gamma) \exp \left[ -\frac{(D - D_0)}{\tau} \right] & D > D_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$D_i = \frac{D_0}{\sqrt{\gamma}}$$

$$\gamma = \frac{D_0}{2\tau + D_0} \quad (2)$$

Für diese Modellierung wird angenommen, dass einige Punkte zur Bestimmung der Messfeldgröße verwendet werden können. Sweep-Daten zwischen 0,90 und 0,99 der Strahldichte von der Blendenmitte werden verwendet, wenn der Durchmesser des Großteil zwischen 20% und 80% des Blendendurchmesser ist. Es wurde herausgefunden, dass Daten die nicht zwischen diesen beiden Durchmessern liegen, wegen ihrer großen Werte von  $dSW/dd$ , keine mathematischen Probleme verursachen.

Diese Daten werden modelliert und werden in Tabellen 1 und 2 gezeigt. Die Eingaben in diesen Tabellen sind die Abstände  $d$  von der Blendenmitte soweit  $SW(d)$  ist 0,99 und 0,90. Die Ausgaben der Tabellen sind die Parameter von Gleichung (1)  $D_i$  und  $\tau$ . Für Tabelle 2 entspricht  $a$  dem Blendendurchmesser.  $SW_{99}$  ist das Verhältnis  $d/a$  soweit  $SW(d/a) = 0,99$  und wird durch die Spalten der Tabelle ausgedrückt.  $SW_{90}$  ist das Verhältnis  $d/a$  bei  $SW(d/a) = 0,90$ . Die Differenzen zwischen  $SW_{90}$  und  $SW_{99}$  werden durch die Zeilen der Tabelle dargestellt. Tabelle 1 wird benutzt um das Verhältnis von  $D_i$  zu  $a$  zu berechnen. Tabelle 2 wird benutzt um das Verhältnis des SSE Zerfalls ( $\tau$ ) zu  $D_i$  zu berechnen.

Tabelle 1. Berechnung von  $D_i/a$

		SW <sub>99</sub>									
		0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
SW <sub>90</sub> - SW <sub>99</sub>	0,06	X	X	X	X	X	X	X	0,4851	0,4333	0,3804
	0,08	0,7667	0,7221	0,6760	0,6286	0,5801	0,5304	0,4838	0,4276	0,3743	0,3197
	0,10	0,7182	0,6598	0,6236	0,5747	0,5247	0,4734	0,4209	0,3671	0,3107	0,2497
	0,12	0,6671	0,6182	0,5687	0,5181	0,4662	0,4127	0,3564	0,2958	0,2277	0,1460
	0,14	0,6112	0,5607	0,5090	0,4556	0,3994	0,3994	0,2723	0,1944	0,0975	X
	0,16	0,5409	0,4895	0,4347	0,3757	0,3108	0,2477	0,1393	X	X	X
	0,18	0,4317	0,3870	0,3293	0,2597	0,1705	X	X	X	X	X

Tabelle 2. Berechnung von  $\tau/D_i$

		SW <sub>99</sub>									
		0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
SW <sub>90</sub> - SW <sub>99</sub>	0,06	X	X	X	X	X	X	X	0,0805	0,1019	0,1266
	0,08	0,0614	0,0691	0,0786	0,0897	0,1027	0,1181	0,1314	0,1579	0,1874	0,2248
	0,10	0,1105	0,1301	0,1299	0,1438	0,1609	0,1819	0,2083	0,2415	0,2905	0,3667
	0,12	0,1646	0,1725	0,1856	0,2036	0,2271	0,2581	0,3015	0,3673	0,4839	0,7616
	0,14	0,2324	0,2378	0,2548	0,2805	0,3185	0,3185	0,4714	0,6676	1,3084	X
	0,16	0,3353	0,3367	0,3610	0,4070	0,4861	0,5832	1,0880	X	X	X
	0,18	0,5503	0,5290	0,5770	0,7025	1,0483	X	X	X	X	X

Als Beispiel wird ein Sweep-Test mit einem Strahlungsthermometer mit einem Blendendurchmesser von 40 mm durchgeführt. Die durchschnittlichen Sweep-Daten sind  $SW(8,2 \text{ mm}) = 0,99$  und  $SW(12,7 \text{ mm}) = 0,90$ . Die Verhältnisse  $d/a$  sind 0,205 und 0,318. 0,318 entspricht einem  $SW_{90} - SW_{99}$  von 0,113. Mit Interpolation beider Tabellen werden Werte zu  $D_i/a$  und  $\tau/D_i$  als 0,4735 und 0,2108 berechnet. In dimensionalen Koordinaten ist es  $D_i = 18,94 \text{ mm}$  und  $\tau = 3,99 \text{ mm}$ . Mit den Gleichungen (1) und (2) bedeutet, dass  $SSE(40 \text{ mm}) = 0,9993$ .

## 5 Praktische Messungen

Zur Überprüfung der vorgestellten Theorie wurden fünf Strahlungsthermometer verwendet.. Drei der Instrumente benutzten einen "Thermopile-Detector" und werden gewöhnlich Infrarot-Thermometer genannt. Zwei der Instrumente hatten "Pyroelectrical-Detectors". Eine Zusammenfassung dieser Instrumente wird in Tabelle 3 gezeigt. Daten von der Blende, mit ein Sternchen (\*) markiert, waren außerhalb der Grenzwert der Tabellen 1 und 2. Tabelle 3 enthält auch einen Vergleich des SSE(a)-Ergebnisses für den Messfeldgröße-Test und Sweep-Test wie in den Spalten 7 und 8 gezeigt. Für diesen Vergleich entspricht der

Blenden-Durchmesser dem Durchmesser vom Sweep-Test. In Tabelle 3 entspricht die Spalte 1 dem geprüften Strahlungsthermometer. Spalte 2 ist der „best case“ des Herstellers für (D:S). Spalte 3 ist die in der Prüfung verwendete Messentfernung. Spalte 4 ist der spezifizierte Messfeldgröße-. Spalte 5 ist die gemessene Feldmessgröße für diesen Durchmesser. Spalte 6 ist der Durchmesser der für die Prüfung verwendeten Blende. Die Graphen der Ergebnisse werden in Abbildung 3 gezeigt. In Abbildung 3 entsprechen die '+' Symbole der Messfeldgröße-Daten und die Kurven kommen von der Konvertierung der Sweep-Daten.

Tabelle 3. Zusammenfassung der zum Test verwendeten Strahlungsthermometer

Strahlungsthermometer	D:S	Messentfernung	Durchmesser FOV (0,90)	SSE für Durchmesser	SSE(a)		
					Sweep Blende Größe	Messgr.-Test	Sweep-Test
IRT1	50:1	300 mm	19 mm	0,9929	20 mm	0,9953	0,9970
					30 mm	0,9999	0,9999
					50 mm*	1,0000	NA
IRT2	12:1	300 mm	38 mm	0,9833	40 mm	0,9843	0,9849
					80 mm	0,9998	0,9998
					120 mm*	1,0000	NA
IRT3	60:1	600 mm	21,5 mm	0,9904	25 mm	0,9996	0,9974
					50 mm	1,0000	1,0000
RT1	53:1	362 mm	6,8 mm	0,8508	20 mm*	0,9975	NA
					35 mm*	0,9982	NA
RT2	105:1	440 mm	18 mm	0,8183	20 mm*	0,8925	NA
					35 mm	0,9994	0,9995

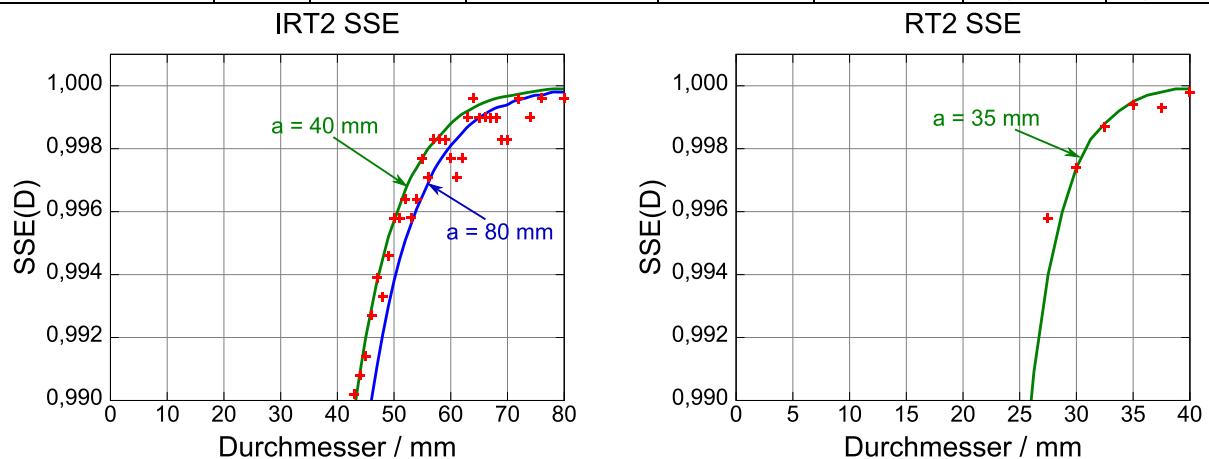


Abbildung 3 Vergleich der Messfeldgröße- und Sweepdaten

## 6 Zusammenfassung

Die Daten in diese Arbeit zeigen dass der Sweeptest gültige Berechnungen des Messfeldgröße produziert. Außer einigen Messabweichung im Fall der IRT 3 passen die Daten sehr gut zusammen. Weiterhin sind die mathematische Problemen der ursprünglichen Methode beseitigt worden. Die Genauigkeit des Vergleichs ist ein Aspekt für die Nutzbarkeit dieser Methode. Der zweite Aspekt ist die Beantwortung der Frage nach der Messfeldgröße, für den jeweilig verwendeten Blendendurchmesser zu finden. In allen Fällen hat der Sweep-

Test diese Daten vorausgesagt. Die nächste Schritt um diese Methode zu einem standardisierten Test zu entwickeln ist eine Prüfung der Methode in verschiedenen Laboratorien. Es ist der Wunsch des Autors dass geeignete Laboratorien an dieser Arbeit teilnehmen.

## 7 Literatur

- [1] Liebmann, F., Kolat, T: Radiation Thermometer Size-Of-Source Effect Testing Using Aperture, presented at ITS9 2012, to be published in the American Institute of Physics in Volume 8 of Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry.
- [2] ASTM Standard E1256-11: Standard Test Methods for Radiation Thermometers (Single Waveband Type)
- [3] VDI/VDE Richtlinien 3511 Blatt 4.3: Technische Temperaturmessung Strahlungsthermometrie Standard-Test-Methoden für Strahlungsthermometer (Einwellenband Type)
- [4] Liebmann, F., Mathematical Considerations behind the Sweep Size-Of-Source Effect Method, Memorias del Simposio de Metrología 2012, Querétaro, México
- [5] Yoon H., Eppeldauer, G, Radiation Thermometer Designs in Radiometric Temperature Measurements, I. Fundamentals, 2010, Seiten 146 - 157
- [6] Nutter, G., Radiation Thermometers: Design Principles and Operating Characteristic in Theory and Practice of Radiation Thermometry, 1988, Seiten 303 - 320

**Kontakt:** Frank Liebmann, frank.liebmann@flukecal.com, Tel.: +1 801-847-1154, Fax: +1 801-763-1700