

Technische Commissie Drukmeting

Bepaling van de Onzekerheid bij Drukmeters

|

01-10-2004

INHOUD

1	Doel van de informatie	2
2	Definities	2
3	Nomenclatuur	3
4	Inleiding	3
5	Doel van de kalibratie	4
6	Voorbeeld van een kalibratie van een <i>drukmeter</i>	5
7	Het vaststellen van de <i>standaardonzekerheden</i>	6
8	Bepaling van de <i>totale onzekerheid</i> in de gemeten <i>afwijkingen</i>	9
9	Referentiedocumenten	12
10	Revisietabel	12

1 Doel van de informatie

Vastleggen van de wijze waarop de onzekerheid in de afwijkingen bij de kalibratie van drukmeters wordt bepaald.

2 Definities

Drukmeter	te kalibreren drukmeetinstrument.
Referentiedrukbalans	drukbalans welke als referentiestandaard of werkstandaard worden gebruikt bij de kalibratie.
Referentie druk	de, door de <i>referentiedrukbalans</i> , opgewekte druk.
Afwijking	afgelezen waarde op de <i>drukmeter</i> minus de <i>referentiedruk</i> .
Schaaldeel	afstand (in de betreffende drukeenheid) van twee opeenvolgende schaal markeringen op een analoge <i>drukmeter</i> of het minst betekenis dragende cijfer (of getal) in het display van een digitale <i>drukmeter</i> .
Kleinste afleeseenheid	kleinst mogelijke aflezing (in de betreffende drukeenheid) op de <i>drukmeter</i> . Voor een analoge <i>drukmeter</i> is dit een waarde die afhangt van de breedte van het <i>schaaldeel</i> , de breedte van de punt van de wijzer en van de ervaring van de waarnemer. Bij digitale <i>drukmeters</i> is dit het <i>schaaldeel</i> .
Spreidingsbreedte	Het verschil tussen de grootste en de kleinste van de betrokken waargenomen waarden.
Kalibratie historie	chronologisch overzicht van kalibratieresultaten van een <i>drukmeter</i> .
Standaardonzekerheid	de onzekerheid van het resultaat van een meting of in een factor die de meting beïnvloedt, uitgedrukt als een standaardafwijking
Gecombineerde standaard-onzekerheid	de onzekerheid van het resultaat van een meting of in een factor die de meting beïnvloedt, uitgedrukt als een standaardafwijking
Totale onzekerheid	grootte die het interval rond het resultaat van een meting definieert, waarvan met een grote mate van betrouwbaarheid mag worden verwacht dat de waarden, die redelijkerwijs aan de meetgrootte kunnen worden toegekend, daarbinnen liggen.
Dekkingsfactor k	getal, dat wordt gebruikt als vermenigvuldigingswaarde voor de <i>gecombineerde standaardonzekerheid</i> om aldus een <i>totale onzekerheid</i> te verkrijgen.
Hysteresis	het verschil tussen de aflezingen van een <i>drukmeter</i> , bij dezelfde aangeboden druk, bij de opgaande en de neergaande meetserie (uitgezonderd de drukken aan de onderkant en bovenkant van de volle schaalwaarde).

3 Nomenclatuur

p_{ref}	=	referentiedruk
p_{rdg}	=	afgelezen druk
Δp_{rdg}	=	afwijking van de drukmeter
u	=	de standaardonzekerheid
U	=	de totale onzekerheid
u_{ref}	=	standaardonzekerheid in de referentiedruk
δp_{rdg}	=	kleinste afleeseenheid van de drukmeter
u_{rdg}	=	<i>standaardonzekerheid</i> ten gevolge van de beperkingen van de aflezing
δp_{flc}	=	fluctuatie van de aflezing
u_{flc}	=	<i>standaardonzekerheid</i> ten gevolge van de fluctuatie van de aflezing
δp_{temp}	=	correctie voor de temperatuursafhankelijkheid van de <i>drukmeter</i>
u_{temp}	=	<i>standaardonzekerheid</i> ten gevolge van de temperatuursafhankelijkheid van de <i>drukmeter</i>
u_A	=	<i>standaardonzekerheid</i> ten gevolge van de korte termijn stabiliteit (type A).
n	=	aantal waarnemingen
u_{dev}	=	standaardonzekerheid in de gemeten afwijkingen
U_{dev}	=	totale onzekerheid in de gemeten afwijkingen

4 Inleiding

Binnen de Technische Commissie Drukmeting (TCDM) bestaat behoefte aan een praktijkrichtlijn voor de bepaling van de onzekerheid in de gemeten *afwijkingen* bij het kalibreren van *drukmeters*. Aan de hand van een voorbeeld zal in deze richtlijn de bepaling van de onzekerheid in de gemeten *afwijkingen* worden behandeld.

Het vaststellen van de *standaardonzekerheid* in de *afwijkingen* van de *drukmeter* ten gevolge van de lange-termijn stabiliteit (reproduceerbaarheid) is een lastige zaak. Dit is alleen mogelijk indien de *drukmeter* regelmatig ter kalibratie wordt aangeboden en er een *kalibratie-historie* bestaat. Omdat de *kalibratie-historie* van de aangeboden *drukmeters* meestal niet bekend is moet de *standaardonzekerheid* ten gevolge van de bijdrage van de lange-termijn stabiliteit in de gemeten *afwijkingen* buiten beschouwing worden gelaten. Men dient de berekening van deze onzekerheid over te laten aan de gebruiker van de *drukmeter*.

De bepaling van de onzekerheid van de, in de -geaccrediteerde laboratoria, gebruikte *referentiedrukbalansen* wordt in deze praktijkrichtlijn buiten beschouwing gelaten.

Bij het opstellen van deze praktijkrichtlijn is regelmatig gebruik gemaakt van de, onder paragraaf Referentiedocumenten, weergegeven literatuur. In de tekst worden verwijzingen naar referentiedocumenten aangegeven met bijvoorbeeld ([2], blz. 8).

Bij het afronden van meetonzekerheden zijn de richtlijnen van de ISO 31-0, Annex B, 'Guide to the Rounding of Numbers' gehanteerd. Samengevat komt het op het volgende neer : Bij het afronden worden de algemene afrondingsregels gebruikt. Het tussenresultaat wordt zodanig afgerond dat de uitgangswaarde (de *standaardonzekerheid*) niet meer dan 1 % verandert. De afronding van het eindresultaat (de *totale onzekerheid*) mag deze waarde niet meer dan 5 % omlaag brengen. Als dit wel zo is dient er naar boven te worden afgerond.

Deze praktijkrichtlijn is opgesteld door een werkgroep uit de Technische Commissie voor Drukmetingen, bestaande uit:

dr. J.P. v.d. Meulen (KNMI)

dhr. C. Adolfse (Minerva IPM B.V.)

ing. J.C.G.A. Verbeek (NMI Van Swinden Laboratorium B.V.)

en na aanpassingen in de Technische Commissie Drukmeting geaccepteerd.

5 Doel van de kalibratie

Het doel van de kalibratie van een *drukmeter* is het bepalen van de *afwijkingen* in een doorlopende meetcyclus van toe- en afnemende drukken en het bepalen van de onzekerheid in deze *afwijkingen*. De *totale onzekerheid* in de *afwijkingen* bestaat uit de volgende *standaardonzekerheden*:

Standaardonzekerheid van de referentiedruk.

Onzekerheidsbijdragen drukmeter:

standaardonzekerheid ten gevolge van de beperkingen van de afleesmogelijkheid

standaardonzekerheid ten gevolge van fluctuatie van de aflezing.

standaardonzekerheid ten gevolge van de temperatuursafhankelijkheid

standaardonzekerheid ten gevolge van de korte termijn stabiliteit (type A evaluatie van de *standaardonzekerheid*).

6 Voorbeeld van een kalibratie van een *drukmeter*

6.1 De beschrijving van de *drukmeter*

Omschrijving *drukmeter*

Type	:	Digitale <i>drukmeter</i>
Bereik	:	(0 ÷ 1 000) kPa , overdruk
<i>Schaaldeel</i>	:	0,1 kPa
Medium	:	Stikstof/Lucht
Specificatie	:	0,25 % van de volle schaalwaarde
Temperatuur-coëfficiënt	:	0,005 % van de aflezing per °C

6.2 De meetresultaten van de kalibratie

De *drukmeter* wordt volgens de, in het laboratorium geldende, werkprocedure gekalibreerd op 11 meetpunten (inclusief het nulpunt). Voor aanvang van de kalibratie is het begin van de schaalwaarde op nul gezet. Volgens de kalibratie-overeenkomst is het niet toegestaan de volle schaalwaarde van de *drukmeter* op de juiste waarde in te stellen.

De omgevingstemperatuur tijdens het uitvoeren van de kalibratie is $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

In tabel 1 wordt een voorbeeld gegeven van resultaten van de kalibratie:

Referentiedruk	Aflezing opgaande druk	Aflezing neergaande druk	Afwijking opgaande druk	Afwijking neergaande druk
$p_{\text{ref}} / \text{kPa}$	$p_{\text{rdg}} / \text{kPa}$	$p_{\text{rdg}} / \text{kPa}$	$\Delta p_{\text{rdg}} / \text{kPa}$	$\Delta p_{\text{rdg}} / \text{kPa}$
0,000	(0,0)	0,1	+0,0	+0,1
100,001	100,2	100,3	+0,2	+0,3
200,002	200,4	200,4	+0,4	+0,4
300,003	300,3	300,4	+0,3	+0,4
400,004	400,3	400,4	+0,3	+0,4
500,005	500,6	500,7	+0,6	+0,7
600,005	600,3	600,5	+0,3	+0,5
700,006	700,4	700,6	+0,4	+0,6
800,007	800,6	800,6	+0,6	+0,6
900,008	900,4	900,6	+0,4	+0,6
1 000,009	1 000,6	-	+0,6	-

Tabel 1

7 Het vaststellen van de *standaardonzekerheden*

7.1 Algemeen

Het vaststellen van de onzekerheid geschiedt volgens de richtlijnen in het document EA-4/02 ([3], blz. 1...15).

7.2 Het rekenmodel

De afwijkingen van de *drukmeter* worden bepaald met behulp van de onderstaande vergelijking:

$$\Delta p_{rdg} = p_{rdg} - p_{ref} + \delta p_{rdg} + \delta p_{flc} + \delta p_{temp} \quad (7-1)$$

Hierin is:

p_{ref}	=	de referentiedruk
p_{rdg}	=	de, op de <i>drukmeter</i> , afgelezen druk
Δp_{rdg}	=	afwijking van de <i>drukmeter</i>
δp_{rdg}	=	correctie van de aflezing voor de beperkte afleesbaarheid door de <i>kleinste afleeseenheid</i> van de <i>drukmeter</i>
δp_{flc}	=	correctie voor fluctuatie van de aflezing
δp_{temp}	=	correctie voor de temperatuursafhankelijkheid van de <i>drukmeter</i> .

7.3 De type B evaluatie van de *standaardonzekerheid*

7.3.1 De *standaardonzekerheid* van de referentiedrukbalans

De onzekerheid in de *referentiedruk* (p_{ref}) is met behulp van een onzekerheidsanalyse in de procedure van de *referentiedrukbalans* vastgelegd. De gegevens van de *referentiebalans* zijn:

Type	:	drukbalans
Bereik	:	(0,1 ÷ 2,5) MPa
Medium	:	Stikstof/Lucht
Onzekerheid(U_{ref})	:	$5 \cdot 10^{-4} \cdot p_{ref}$

Het certificaat van de *referentiedrukbalans* geeft de *totale onzekerheid* welke verkregen is door gebruik van de onzekerheidsdekkingsfactor; $k = 2$. De *standaardonzekerheid* is dan:

$$u_{ref} = (5 \cdot 10^{-4} \cdot p_{ref})/2 = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot p_{ref} \quad (7-2)$$

7.3.2 De *standaardonzekerheid* ten gevolge van de beperkte afleesbaarheid

Als δp_{rdg} de *kleinste afleeseenheid* is, dan kan de, door de *drukmeter*, gemeten druk liggen binnen het interval $p_{rdg} - \delta p_{rdg}/2$ en $p_{rdg} + \delta p_{rdg}/2$. De *kleinste afleeseenheid* dient te worden opgevat als een interval waarbinnen de waarden rechthoekig verdeeld zijn met een breedte δp_{rdg} en met een variantie $u_{rdg}^2 = (\delta p_{rdg})^2/12$. Dit betekent dat de standaard onzekerheid ten gevolge van de *kleinste afleeseenheid* (u_{rdg}) $0,29 \cdot \delta p_{rdg}$ is ([1], blz. 54).

De kleinste afleeseenheid van de drukmeter is 0,1 kPa, derhalve is de standaardonzekerheid ten gevolge van de beperkingen van de afleesmogelijkheid (u_{rdg}) van de drukmeter 0,029 kPa.

7.3.3 De standaardonzekerheid ten gevolge van fluctuaties van de aflezing

Als de aflezing fluctueert terwijl de druk stabiel is, dient de helft van de spreidingsbreedte van deze fluctuatie te worden meegenomen in de berekening van de totale onzekerheid. Als δp_{flc} de helft van spreidingsbreedte is, dan kan de gemeten druk liggen in het interval $p_{rdg} - \delta p_{flc}$ en $p_{rdg} + \delta p_{flc}$. De spreidingsbreedte dient te worden opgevat als een interval waarbinnen de waarden rechthoekig verdeeld zijn. De breedte van het interval is $2 \cdot \delta p_{flc}$.

De variantie $u_{flc}^2 = (2 \cdot \delta p_{flc})^2 / 12$ en de standaard onzekerheid is $0,58 \cdot \delta p_{flc}$ ([1], blz. 54).

Bij een stabiele, door de referentiedrukbalans, opgewekte druk p_{ref} fluctueert de uitlezing, de spreidingsbreedte van deze fluctuatie is 2 schaaldelen (0,2 kPa). De standaardonzekerheid door de fluctuatie (u_{flc}) van de aflezing is 0,058 kPa.

7.3.4 De standaardonzekerheid ten gevolge van temperatuursafhankelijkheid van de drukmeter

De omgevingstemperatuur tijdens de kalibratie van de drukmeter is $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. De afgelezen waarde van de drukmeter wordt niet gecorrigeerd voor de actuele omgevingstemperatuur. Als δp_{temp} de helft van spreidingsbreedte is, dan kan de gemeten druk liggen in het interval $p_{rdg} - \delta p_{temp}$ en $p_{rdg} + \delta p_{temp}$. De spreidingsbreedte dient te worden opgevat als een interval waarbinnen de waarden rechthoekig verdeeld zijn. De breedte van het interval is $2 \cdot \delta p_{temp}$.

De variantie $u_{temp}^2 = (2 \cdot \delta p_{temp})^2 / 12$ en de standaard onzekerheid is $0,58 \cdot \delta p_{temp}$ ([1], blz. 54).

De standaardonzekerheid door de temperatuursafhankelijkheid van de drukmeter (u_{temp}) is 2°C vermenigvuldigd met 0,005 % is 0,01 % van de, op de drukmeter, afgelezen waarde. Bij een afgelezen druk van 1 000 kPa komt dit overeen met 0,1 kPa.

7.4 De type A evaluatie van de standaardonzekerheid

De standaardonzekerheid in de afwijkingen ten gevolge van de korte termijn stabiliteit wordt bepaald door herhaald meten (minimaal vijf maal) in hetzelfde punt. In tabel 2 wordt een voorbeeld gegeven van resultaten gevolgd door de berekening van deze standaardonzekerheid (u_A).

Bij een beperkt aantal herhalingsmetingen ($n < 10$) wordt de halve spreidingsbreedte van het resultaat van de metingen gebruikt voor het bepalen van de standaardonzekerheid als gevolg van de korte termijn stabiliteit van de drukmeter. Deze situatie wordt het beste beschreven door een rechthoekige waarschijnlijkheidsverdeling.

Bij de praktische uitvoering van de herhalingsmetingen is het van belang dat iedere meting op dezelfde wijze wordt uitgevoerd. Kies voor het herhaald meten een meetpunt tussen 50 % en 100% van de volle schaalwaarde van de *drukmeter* welke de grootste afwijking vertoont.

Meetpunt (i)	Aflezingsdrukmeter p_{rdg} /kPa
1	1 000,2 (min)
2	1 000,4
3	1 000,3
4	1 000,6 (max)
5	1 000,5
6	1 000,2

Tabel 2

De gemiddelde waarde van de zes meetwaarden ($n = 6$) uit tabel 2 is:

$$\bar{p}_{rdg} = \frac{\sum_{i=1}^6 p_{rdg,i}}{6} = 1000,37 \text{ kPa} \quad (7-3)$$

De standaardonzekerheid door de korte termijn stabiliteit van de *drukmeter*:

$$u_A = \frac{p_{rdg,max} - p_{rdg,min}}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,4 \text{ kPa}}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,12 \text{ kPa} \quad (7-4)$$

De *standaardonzekerheid* ten gevolge van de korte termijn stabiliteit in het gemiddelde voor de, op de *drukmeter*, afgelezen druk p_{rdg} bij een overdruk 1000 kPa is 0,12 kPa.

8 Bepaling van de *totale onzekerheid* in de gemeten *afwijkingen*

8.1 Het onzekerheidsbudget

In deze paragraaf wordt de onzekerheid in de gemeten afwijking Δp_{rdg} berekend bij een druk van **1000 kPa**. Voor de andere meetpunten wordt de berekening op dezelfde wijze uitgevoerd. De onzekerheden van de andere meetpunten staan in de tabel van het certificaat (bijlage A). Er worden geen correcties toegepast voor de beperkte afleesbaarheid van de *drukmeter* en een eventuele fluctuatie van de aflezing.

Type B							
Grootheid	Waarde	Onzekerheid	Verdeling	Deler	Standaard onzekerheid	Partieel afgeleiden	Onzekerheidsbijdrage
X_i	x_i	$U(x_i)$			$u(x_i)$	$\partial \Delta p_{rdg} / \partial x_i [x_i \cdot \text{kPa}^{-1}]$	$\partial \Delta p_{rdg} / \partial x_i u(x_i)$
p_{ref}	1 000,009 kPa	0,50 kPa	normaal	2	0,25 kPa	1	0,25 kPa
δp_{rdg}	0,0 kPa	0,05 kPa	rechth.	$\sqrt{3}$	0,029 kPa	1	0,029 kPa
δp_{flc}	0,0 kPa	0,1 kPa	rechth.	$\sqrt{3}$	0,058 kPa	1	0,058 kPa
δp_{temp}	0,0 kPa	0,1 kPa	rechth.	$\sqrt{3}$	0,058 kPa	1	0,058 kPa
Type A							
p_{rdg}	1 000,6 kPa	0,2 kPa	rechth.	$\sqrt{3}$	0,12 kPa	1	0,12 kPa
						$u = \sqrt{\sum (u_i(y))^2}$	0,29 kPa
						$k:$	2
Δp_{rdg}	+0,6 kPa					$U = k \cdot u$	0,58 kPa

8.2 De gerapporteerde resultaten

De gemeten afwijking van de *drukmeter* bij een aangeboden *referentiedruk* van 1 000 kPa is $(0,6 \pm 0,58)$ kPa.

De gerapporteerde totale onzekerheid in de *afwijkingen* is gebaseerd op de *standaardonzekerheid* vermenigvuldigd met de dekkingsfactor $k=2$.

In de tabel van het certificaat (zie bijlage A) zijn de waarden voor de *totale onzekerheid* afgerond volgens de regels uit referentiedocument [7], Annex B (zie ook Inleiding van dit document). De waarden voor de *referentiedruk* in tabel 1 (blz. 4) van deze praktijkrichtlijn zijn in de tabel van het voorbeeld certificaat (zie bijlage A) geïnterpoleerd naar nominale drukwaarden. De onzekerheid in de *afwijkingen* als gevolg van deze interpolatie kan worden verwaarloosd.

Resultaat Hieronder wordt het resultaat van de kalibratie en de bijbehorende onzekerheid weergegeven.

Afgelezen druk	Verschil /kPa		Onzekerheid
p /kPa	Toenemende druk	Afnemende druk	/kPa
0,0	(0,0)	+ 0,1	0,27
100,0	+ 0,2	+ 0,3	0,28
200,0	+ 0,4	+ 0,4	0,29
300,0	+ 0,3	+ 0,4	0,31
400,0	+ 0,3	+ 0,4	0,34
500,0	+ 0,5	+ 0,4	0,37
600,0	+ 0,3	+ 0,5	0,41
700,0	+ 0,4	+ 0,6	0,45
800,0	+ 0,6	+ 0,6	0,49
900,0	+ 0,4	+ 0,7	0,54
1 000,0	+ 0,6	-	0,58

Grootste verschil : 0,07 % F.S.

Grootste hysteresis : 0,03 % F.S.

Verschil = Afgelezen druk - Referentiedruk

9 Referentiedocumenten

- [1] Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections (<http://www.bipm.org/>)
- [2] JCGM 200:2012, International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition, 2008 (<http://www.bipm.org/>)
- [3] EA-4/02 M: 2013, Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration, (<http://www.european-accreditation.org/>)
- [4] Nauwkeurigheid van metingen, NEN 3114, Nederlands Normalisatie Instituut, 2^e druk, augustus 1990.
- [5] Pressure Gauges with Elastic Element for General Application, DIN 16005, February 1987
- [6] Indicating and Recording Pressure Gauges, Vacuum Gauges and Pressure-Vacuum Gauges with Elastic Sensing Element, OIML R 101, 1991(E)
- [7] ISO 80000-1:2009(en), Quantities and units — Part 1: General
- [8] Guidelines on the Calibration of Electromechanical Manometers, EURAMET cg-17, Version 2.0 (03/2011), Previously EA-10/17 (www.euramet.org)

10 Revisietabel

1-10-2004	Nieuw document
1-1-2009	Overgaan document van RvA naar VSL website, verwijzingen RvA zijn verwijderd.
1-7-2016	Paragraaf Referentiedocumenten geüpdated