

Luftbeschaffenheit
Ermittlung der Unsicherheit eines Meßverfahrens unter Feldbedingungen mit
Hilfe eines als Referenz benutzten zweiten Meßverfahrens
(ISO 13752 : 1998)

DIN
ISO 13752

Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Bd. 5

ICS 13.040.10

Deskriptoren: Luftbeschaffenheit, Meßverfahren, Unsicherheit, Referenzmeßverfahren

Air quality – Assessment of uncertainty of a measurement method under field conditions
using a second method as reference (ISO 13752 : 1998)

Qualité de l'air – Évaluation de l'incertitude d'une méthode de mesurage sur site en utilisant
une seconde méthode comme référence (ISO 13752 : 1998)

Die Internationale Norm ISO 13752, Ausgabe 1998-04-01, "Air quality – Assessment of uncertainty of a measurement method under field conditions using a second method as reference", ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 13752 wurde vom Unterkomitee SC 4 "Allgemeine Gesichtspunkte" des Technischen Komitees ISO/TC 146 "Luftbeschaffenheit" erarbeitet. An der Erstellung dieser Norm war der Fachbereich IV "Meßtechnik", Arbeitsgruppe "Prüfkriterien von Meßverfahren", der Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN beteiligt.

Für die im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen oder andere Unterlagen hingewiesen:

ISO 4225 : 1994 siehe DIN ISO 4225
ISO 6879 : 1995 siehe DIN ISO 6879
ISO 9169 : 1994 siehe DIN ISO 9169

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 55350-13

Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik – Begriffe zur Genauigkeit von Ermittlungsverfahren und
Ermittlungsergebnissen

DIN ISO 4225

Luftbeschaffenheit – Allgemeine Gesichtspunkte – Begriffe (ISO 4225 : 1994)

DIN ISO 6879

Luftbeschaffenheit – Verfahrenskenngrößen und verwandte Begriffe für Meßverfahren zur Messung der
Luftbeschaffenheit (ISO 6879:1995)

DIN ISO 9169

Luftbeschaffenheit – Bestimmung von Verfahrenskenngrößen von Meßverfahren (ISO 9169:1994)

Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, erste Auflage 1995, DIN, Beuth: Berlin

Fortsetzung Seite 2 bis 16

Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuß –

Deutsche Übersetzung

Luftbeschaffenheit

Ermittlung der Unsicherheit eines Meßverfahrens unter Feldbedingungen mit Hilfe eines als Referenz benutzten zweiten Meßverfahrens

Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedskörperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitgliedskörperschaft, die sich für ein Thema interessiert, für das ein Technisches Komitee eingesetzt wurde, ist berechtigt, in diesem Komitee mitzuarbeiten. Internationale (staatliche und nichtstaatliche) Organisationen, die mit der ISO in Verbindung stehen, sind an den Arbeiten ebenfalls beteiligt. Die ISO arbeitet bei allen Angelegenheiten der elektrotechnischen Normung eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedskörperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitgliedskörperschaften.

Die Internationale Norm ISO 13752 wurde vom Unterkomitee SC 4 "Allgemeine Gesichtspunkte" des Technischen Komitees ISO/TC 146 "Luftbeschaffenheit" erarbeitet.

Die Anhänge A, B und C dieser Internationalen Norm sind informativ.

Einleitung

Die Verfahrenskenngrößen von Meßverfahren zur Messung der Luftbeschaffenheit sind in ISO 6879 definiert. Entsprechende Prüfverfahren werden in ISO 9169 beschrieben, jedoch mit Ausnahme der Genauigkeit, die dem *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen* folgend (siehe [5]) in dieser Norm als Unsicherheit behandelt wird.

Die Meßunsicherheit unter Feldbedingungen wird ebenfalls in ISO 7935 und ISO 10849 (siehe [3] und [4]) behandelt. Das in diesen Normen beschriebene Verfahren ist jedoch begrenzt auf die Bestimmung einer konzentrationsunabhängigen systematischen Abweichung, wobei eine konzentrationsunabhängige Streuung vorausgesetzt wird, oder auf die Bestimmung einer konzentrationsproportionalen systematischen Abweichung, wobei eine konzentrationsproportionale Streuung vorausgesetzt wird.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm beschreibt ein Verfahren zur Ermittlung der Meßunsicherheit eines kalibrierten Meßverfahrens (Testmeßverfahren), das unter Feldbedingungen eingesetzt wird, mit Hilfe eines als Referenz benutzten zweiten Meßverfahrens (Referenzmeßverfahren). Dieses Referenzmeßverfahren muß nicht notwendigerweise ein gesetzlich vorgeschriebenes Meßverfahren sein. Die Meßunsicherheit wird aus zeitgleichen Parallelmessungen an realen Proben durch Vergleich der Meßwerte des Testmeßverfahrens mit denjenigen des Referenzmeßverfahrens abgeleitet. Das Ergebnis ist nur in dem Meßbereich gültig, in dem die Messungen durchgeführt wurden. Die Untersuchung ist insbesondere zur Validierung von Meßverfahren geeignet.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Internationalen Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 6879 : 1995

Luftbeschaffenheit – Verfahrenskenngrößen und verwandte Begriffe für Meßverfahren zur Messung der Luftbeschaffenheit

ISO 9169 : 1994

Luftbeschaffenheit – Bestimmung von Verfahrenskenngrößen von Meßverfahren

3 Symbole und Abkürzungen

Für die Zwecke dieser Internationalen Norm gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen:

a_0, a_1, a_2	Koeffizienten der Varianzfunktion
AQC	Luftbeschaffenheitsmerkmal (üblicherweise die Konzentration)
b_0, b_1	Koeffizienten der linearen Regressionsfunktion oder der Kalibrierfunktion
F	Prüfgröße für den F -Test
k	Erweiterungsfaktor
L	Likelihood-Funktion
ℓ	Logarithmus der Likelihood-Funktion
N, N_1, N_2	Anzahl der Wertepaare (x_i, y_i) bzw. Anzahl der Wertepaare der Teilgesamtheit 1 bzw. 2
$P(y_i)$	Wahrscheinlichkeit des Wertes y_i
r_i	Residuum beim Wert x_i
s, s_i	Standardabweichung als Funktion des AQC bzw. beim Wert x_i des AQC
s'	Transformierte Standardabweichung als Funktion des AQC
$s_{a_0}, s_{a_1}, s_{a_2}$	Standardabweichung der Koeffizienten a_0, a_1 bzw. a_2
s_{b_0}, s_{b_1}	Standardabweichung der Koeffizienten b_0 bzw. b_1
s_x, s_y	Standardabweichung aller Werte x_i bzw. y_i
$s_{y_{cor}}$	Standardabweichung des gemessenen y -Wertes nach Korrektur des systematischen Fehlers (systematische Meßabweichung)
$s_{\Delta y}$	Standardabweichung (Unsicherheit) des systematischen Fehlers (systematische Meßabweichung)
U	Erweiterte Unsicherheit (Erweiterungsfaktor $k = 2$) als Maß für die Meßunsicherheit
X	Variable der x -Werte des Referenzmeßverfahrens
x, x_i	Wert des AQC bzw. des i -ten Wertes des AQC
x'_i	Transformierter x_i -Wert
$\bar{x}, \bar{x}_w, \bar{y}$	Mittelwert und gewichteter Mittelwert aller Werte x_i bzw. Mittelwert aller Werte y_i
Y	Variable der y -Werte des Testmeßverfahrens
y_i	Meßwerte des Testmeßverfahrens beim Wert x_i oder Meßsignal des Testmeßverfahrens beim Wert x_i
y'_i	Transformierter y_i -Wert
$\hat{y}$	Schätzwert von Y beim Wert x des AQC
$\hat{y}_i$	Schätzwert von Y beim Wert x_i des AQC
y_{cor}	Meßwert des Referenzmeßverfahrens nach Korrektur des systematischen Fehlers (systematische Meßabweichung)
Δy	Systematischer Fehler (systematische Meßabweichung) beim Wert x des AQC
ε	Zufallszahl aus einer Normalverteilung mit dem Mittelwert Null und der Standardabweichung Eins
w_i	Wichtungsfaktor beim Wert x_i

4 Grundlagen

Es sind N Meßwertepaare $[(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)]$ durch zeitgleiche Parallelmessungen im Feld zu ermitteln. Die Meßwerte des Referenzmeßverfahrens (x -Meßverfahren) werden als wahre Werte des Luftbeschaffenheitsmerkmals betrachtet. Die Unterschiede zwischen den Werten eines Paares werden der Meßabweichung des Testmeßverfahrens (y -Meßverfahren) zugewiesen.

Es wird angenommen, daß zwischen den Variablen X und Y ein linearer Zusammenhang besteht, der nach Gleichung (1) geschätzt wird:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \quad (1)$$

Die Regressionskoeffizienten b_0 und b_1 können arithmetisch berechnet werden, wenn eine der folgenden Annahmen über die Streuung der y -Werte gilt:

- die Standardabweichung des Testmeßverfahrens ist unabhängig von x (d. h., die Standardabweichung ist konstant) und wird nach Gleichung (2) geschätzt:

$$s^2 = a_0^2 \quad \text{oder} \quad s = a_0 \quad (2)$$

- die Standardabweichung des Testmeßverfahrens ist proportional zu x (d. h., der Koeffizient der Änderung ist konstant) und wird nach Gleichung (3) geschätzt:

$$s^2 = a_2^2 x^2 \quad \text{oder} \quad s = a_2 x \quad (3)$$

ANMERKUNG 1:

Die erste Annahme berücksichtigt Schwankungen des Untergrundes oder des Wertes des Achsenabschnitts b_0 ohne Schwankungen der Steigung b_1 . Die zweite Annahme berücksichtigt Schwankungen der Steigung ohne Schwankungen des Untergrundes oder des Wertes des Achsenabschnitts.

ANMERKUNG 2:

Der Wert der Koeffizienten der Regressionsfunktion (Schätzung der systematischen Meßabweichung) wird durch Abweichungen von der Annahme über die Standardabweichung nur geringfügig beeinflusst. Der geschätzte zufällige Anteil der Meßunsicherheit hängt jedoch stark von der Annahme ab.

Die allgemeine Varianzfunktion, die in dieser Internationalen Norm benutzt wird, berücksichtigt nicht nur die Variabilität des Achsenabschnitts und der Steigung, sondern auch das statistische Rauschen, dessen Standardabweichung proportional zur Quadratwurzel des Wertes selbst ist (näherungsweise proportional zur Quadratwurzel von x), siehe Gleichung (4):

$$s^2 = a_0^2 + a_1^2 x + a_2^2 x^2 \quad (4)$$

ANMERKUNG 3:

Die Koeffizienten werden in den Gleichungen quadriert, da der Koeffizient und nicht sein Quadrat die physikalische Bedeutung widerspiegelt.

ANMERKUNG 4:

Das Berechnungsverfahren der allgemeinen Varianzfunktion nach ISO 9169 kann hier nicht verwendet werden, da Wiederholmessungen nicht zur Verfügung stehen.

Die Koeffizienten dieses Modells [b_0 und b_1 in Gleichung (1) und a_0 , a_1 und a_2 in Gleichung (4)] können nicht arithmetisch berechnet werden. Die Bestimmung erfolgt daher iterativ mit Hilfe des Maximum-Likelihood-Kriteriums, das ein Maß für die beste Anpassung der Daten an das Modell darstellt (siehe Bild 1). Nach der Auswahl eines Satzes von Startwerten für die Koeffizienten und mit der Annahme einer Normalverteilung kann die Wahrscheinlichkeit $P(y_i)$ eines jeden einzelnen Datenpunktes (x_i , y_i) auf der Geraden nach Gleichung (5) berechnet werden:

$$P(y_i) = \frac{1}{s_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{2s_i^2}} \quad (5)$$

Die Likelihood-Funktion L ist das mathematische Produkt der einzelnen Wahrscheinlichkeiten der y -Werte, siehe Gleichung (6):

$$L = \prod_{i=1}^N \frac{1}{s_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{2s_i^2}} \quad (6)$$

Der Wert von L ist ein Maß für die Anpassung der Daten an das Modell. Die Koeffizienten werden variiert und die Likelihood-Funktion L berechnet, bis ein maximaler Wert von L vorliegt. Die entsprechenden Koeffizienten stellen die bestangepaßten Koeffizienten für das Regressionsmodell dar. Die Berechnung mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode erfordert ein rechnergestütztes Optimierungsverfahren.

Die Unsicherheit eines Meßwertes wird für jeden Wert des Luftbeschaffenheitsmerkmals mit Hilfe der Regressionsfunktion bzw. der Varianzfunktion ermittelt.

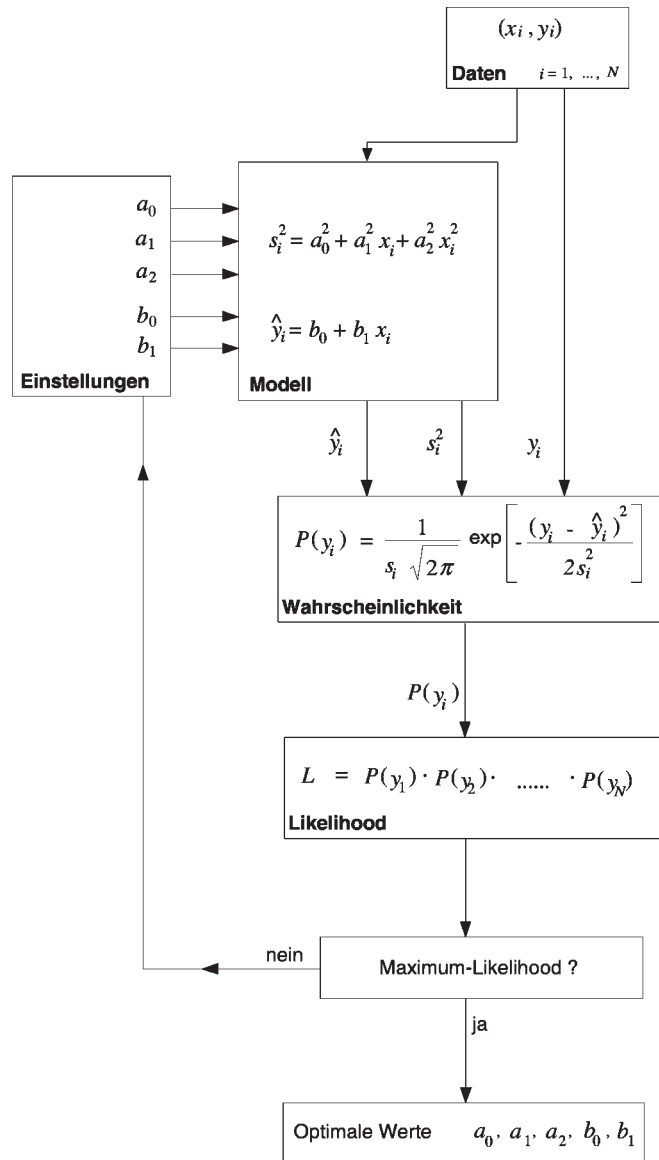


Bild 1: Ablaufdiagramm einer Regressionsanalyse mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode

5 Anforderungen

5.1 Allgemeines

Das in dieser Internationalen Norm beschriebene Verfahren setzt voraus, daß

- ein linearer Zusammenhang zwischen den zu vergleichenden Größen existiert; falls der Zusammenhang davon abweicht, aber mathematisch beschrieben werden kann, darf das Verfahren entsprechend angepaßt werden;
- die Meßabweichungen des Testmeßverfahrens normalverteilt sind;
- die Meßunsicherheit des Referenzmeßverfahrens im Vergleich zur Meßunsicherheit des Testmeßverfahrens vernachlässigbar ist; falls dies nicht der Fall ist, wird sie fälschlicherweise dem Testmeßverfahren zugeordnet, was zu einer Überschätzung der Meßunsicherheit des Testmeßverfahrens führt;
- die Auswirkungen durch die unterschiedliche Zusammensetzung der von beiden Meßverfahren gesammelten Luftproben vernachlässigbar sind im Vergleich zu der erwarteten Unsicherheit des Testmeßverfahrens; falls dies nicht der Fall ist, wird dieser Unsicherheitsbeitrag fälschlicherweise dem Testmeßverfahren zugeordnet, was zu einer Überschätzung der Meßunsicherheit des Testmeßverfahrens führt.