



## **Gesetzliches Messwesen**

Prüfanweisung für die

Eichung und für die messtechnische Qualifizierung von  
Durchflusssensoren als Teilgeräte zur Bestimmung der  
thermischen Energie (Wärme und Kälte in Kreislaufsystemen)  
und  
Anforderungen an Normale (Prüfstände)

**(GM-P 7.2 Wärme- und Kältezähler - Durchflusssensor)**

**Stand 16.02.2022**

Beschlossen von der AGME am 05.07.2022 zur Gültigkeit ab 01.08.2022

Rechtssammlung der DAM unter 6.7.11.0



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>6</b>
1.1	<b>Geltungsbereich, Inkrafttreten .....</b>	<b>6</b>
1.1.1	Übergangsbestimmungen .....	6
1.2	<b>Begriffe .....</b>	<b>6</b>
1.3	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>10</b>
1.4	<b>Formelzeichen .....</b>	<b>11</b>
1.4.1	Großbuchstaben .....	11
1.4.2	Kleinbuchstaben .....	13
1.4.3	Griechische Buchstaben .....	15
1.5	<b>Flussdiagrammsymbolik .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>Verzeichnis der Vorschriften und Regelungen .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Verfahrensablauf der Eichung (Überblick) .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Prüfmittel .....</b>	<b>19</b>
4.1	<b>Allgemeines .....</b>	<b>19</b>
4.2	<b>Prüfstände .....</b>	<b>19</b>
4.2.1	Allgemeine Anforderungen .....	19
4.2.2	Auslaufleitung und Zwischenrohr .....	19
4.2.3	Gasanzeiger und Entlüftungseinrichtungen .....	20
4.2.4	Abzweigung hinter der Messstrecke .....	20
4.2.5	Abgrenzungsstelle .....	20
4.2.5.1	Absperreinrichtungen für Prüfungen mit stehendem Start-Stopp .....	20
4.2.5.2	Umschalteneinrichtungen für Prüfungen mit fliegendem Start-Stopp .....	20
4.2.6	Absperreinrichtungen vor der Messstrecke .....	21
4.2.7	Ein- und Auslaufstrecke .....	21
4.2.8	Versorgungseinrichtungen .....	21
4.2.9	Durchflusskonstanz .....	21
4.2.10	Verhinderung des Mitmessens von Luft .....	22
4.3	<b>Normale .....</b>	<b>22</b>
4.3.1	Waagen .....	22
4.3.1.1	Wägebehälter .....	24
4.3.1.2	Prüfanforderung .....	24
4.3.2	Referenzzähler .....	24
4.4	<b>Prüfmittel .....</b>	<b>24</b>
4.4.1	Durchflussmesseinrichtung .....	24
4.4.2	Temperaturmesseinrichtung .....	24
4.4.3	Druckmesseinrichtung .....	24
4.4.4	Zeitmessgerät .....	24



4.4.5	Dichtemesseinrichtung.....	25
<b>4.5</b>	<b>Software zur automatischen Erfassung und Auswertung von Messergebnissen .....</b>	<b>25</b>
4.5.1	Allgemeines .....	25
4.5.2	Zugangsberechtigung .....	25
4.5.3	Kennzeichnung.....	25
4.5.4	Dokumentation und Datensicherung .....	26
<b>4.6</b>	<b>Rückführung und Rückführungsfristen .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Referenzbedingungen .....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Messtechnische Qualifizierung von Durchflusssensoren zum Zwecke einer späteren Eichung .....</b>	<b>27</b>
<b>6.1</b>	<b>Messtechnische Prüfung der Prüflinge.....</b>	<b>27</b>
6.1.1	Bestimmung der Wiederholpräzision.....	27
6.1.2	Richtigkeitsprüfung .....	28
6.1.2.1	Volumendurchflüsse.....	28
6.1.2.2	Mindestprüfvolumen .....	28
<b>6.2</b>	<b>Messunsicherheiten .....</b>	<b>29</b>
6.2.1	Allgemeines .....	29
6.2.2	Messabweichungen .....	29
6.2.3	Sollvolumen .....	30
6.2.4	Istvolumen .....	30
6.2.5	Eingangsrößen Kalibrierung eines Referenzzählers oder Prüflings gegen Waage .....	30
6.2.5.1	Allgemeines .....	30
6.2.5.2	Sollvolumen .....	31
6.2.5.3	Waage .....	32
6.2.5.3.1	Wägewert.....	32
6.2.5.3.2	Auftrieb .....	32
6.2.5.3.3	Verdunstung, Innere.....	32
6.2.5.3.4	Verdunstung, Äußere .....	33
6.2.5.3.5	Diverter .....	34
6.2.5.3.6	Wasserdichte, Temperatureinfluss .....	36
6.2.5.3.7	Wasserdichte, Mediumeinfluss.....	37
6.2.5.3.8	Zwischenrohr .....	38
6.2.5.3.9	Mitgeführte Luft in der Rohrleitung .....	39
6.2.5.3.10	Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Temperatureinfluss.....	40
6.2.5.3.11	Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Druckeinfluss.....	40
6.2.5.3.12	Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Messung.....	41
6.2.5.3.13	Abtropfzeit.....	41
6.2.5.3.14	Langzeitstabilität .....	42



6.2.5.3.15	Temperaturstabilität .....	42
6.2.5.3.16	Tauchrohr.....	42
6.2.5.3.17	Kompressibilität von Wasser .....	43
6.2.5.4	Istvolumen.....	43
6.2.5.4.1	Impulsanzahl.....	44
6.2.5.4.2	Impulswertigkeit .....	44
<b>6.2.6</b>	<b>Eingangsgroßen Kalibrierung mit einem Referenzzähler .....</b>	<b>44</b>
<b>6.2.6.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>44</b>
<b>6.2.6.2</b>	<b>Sollvolumen.....</b>	<b>46</b>
<b>6.2.6.3</b>	<b>Referenzzähler.....</b>	<b>46</b>
6.2.6.3.1	Impulsanzahl.....	46
6.2.6.3.2	Impulswertigkeit .....	46
6.2.6.3.3	Langzeitstabilität .....	47
6.2.6.3.4	Wiederholpräzision.....	47
6.2.6.3.5	Kalibrierung.....	47
6.2.6.3.6	Wasserdichte, Temperatureinfluss am Prüfling .....	47
6.2.6.3.7	Wasserdichte, Temperatureinfluss am Referenzzähler .....	48
6.2.6.3.8	Zwischenrohr .....	48
6.2.6.3.9	Mitgeführte Luft in der Rohrleitung .....	48
6.2.6.3.10	Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Temperatureinfluss.....	49
6.2.6.3.11	Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Druckeinfluss.....	49
6.2.6.3.12	Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Messung.....	49
6.2.6.3.13	Kompressibilität des Wassers .....	49
6.2.6.4	Istvolumen.....	49
6.2.6.4.1	Allgemeines .....	49
6.2.6.4.2	Impulsanzahl.....	49
6.2.6.4.3	Impulswertigkeit .....	50
<b>7</b>	<b>Eichung .....</b>	<b>50</b>
<b>7.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>50</b>
<b>7.2</b>	<b>Beschaffenheitsprüfung (formale Prüfung) .....</b>	<b>51</b>
7.2.1	Äußere Beschaffenheitsprüfung.....	51
7.2.2	Kontrolle der metrologisch relevanten Soft/Firmware bei elektronischen Zählern.....	51
7.2.3	Innere Beschaffenheitsprüfung .....	51
<b>7.3</b>	<b>Messtechnische Prüfung bei der Durchführung der eichtechnischen Prüfung .....</b>	<b>52</b>
7.3.1	Allgemeines .....	52
7.3.2	Richtigkeitsprüfung .....	52
7.3.3	Prüfdurchflüsse.....	53
7.3.4	Prüfung mit Waagen .....	54



7.3.5	Prüfung mit Referenzzählern .....	54
<b>7.4</b>	<b>Kennzeichnung und Bescheinigung .....</b>	<b>54</b>
7.4.1	Allgemeines .....	54
7.4.2	Kennzeichnung bei der Eichung .....	55
7.4.3	Bescheinigung (Eichschein).....	55
<b>8</b>	<b>Prüfungsniederschriften .....</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>56</b>
<b>9.1</b>	<b>Beispiele für die Bestimmung des Mindestprüfvolumens .....</b>	<b>56</b>
9.1.1	Analoge Anzeigen.....	56
9.1.2	Digitale Anzeigen.....	56
<b>9.2</b>	<b>Prüfdurchflüsse .....</b>	<b>57</b>
<b>9.3</b>	<b>Bestimmung der Wiederholpräzision bei Reihenschaltung .....</b>	<b>60</b>
<b>9.4</b>	<b>Beispiel für die Ermittlung des Zeitfehlers und dessen Unsicherheit der Umschalteneinrichtung.....</b>	<b>60</b>
<b>9.5</b>	<b>Tauchrohr-Auftriebskorrektur.....</b>	<b>61</b>
<b>9.6</b>	<b>Wiederholpräzision.....</b>	<b>62</b>
<b>9.7</b>	<b>Prüfung und Mindestprüflast der Waage .....</b>	<b>63</b>
9.7.1	Prüfung der Waage.....	63
9.7.2	Mindestprüflast der Waage unter Betrachtung des eingefüllten Mediums .....	65
<b>9.8</b>	<b>Abnahme und Überwachung von Prüfständen.....</b>	<b>67</b>
<b>9.9</b>	<b>Validierung des Prüfstands bei den Temperaturen, bei denen der Prüfstand betrieben wird.....</b>	<b>69</b>



## 1 Allgemeines

Die Prüfanweisung beinhaltet Anforderungen an die Eichung von Durchflusssensoren von Wärme- und Kältezählern, deren messtechnische Qualifizierung zum Zwecke einer späteren Eichung, sowie Anforderungen an die dazu erforderlichen Normale (Prüfstände).

### 1.1 Geltungsbereich, Inkrafttreten

Diese Prüfanweisung behandelt die Eichung von Durchflusssensoren von Wärmezählern (abgegebene Thermische Energie), und Kältezähler (aufgenommene Thermische Energie) nach DIN EN 1434 mit Wasser und Heißwasserzähler nach EO 22, die durch Eichbehörden oder staatlich anerkannte Prüfstellen geprüft werden. Unter Beachtung der gesetzlichen Bestimmungen und seitens der Gremien "Arbeitsgemeinschaft Mess- und Eichwesen" (AGME), "Bund-Länder-Ausschuss Gesetzliches Messwesen" (BLA) und "Regelermittlungsausschuss" (REA) gefassten Beschlüsse.

Diese Prüfanweisung ersetzt die Prüfanweisung GM-P 7.2 Wärmezähler - Durchflusssensor vom 19.05.2020.

Sie tritt am 01.08.2022 in Kraft.

#### 1.1.1 Übergangsbestimmungen

Warmwasserprüfstände für die Prüfung von Durchflusssensoren von Wärmezählern, die zum Zeitpunkt des Inkrafttretens dieser Prüfanweisung in Betrieb sind, dürfen weiter verwendet werden.

Kaltwasserprüfstände für die Prüfung von Durchflusssensoren von Zählern für Thermische Energie, die zum Zeitpunkt des Inkrafttretens dieser Prüfanweisung in Betrieb sind, dürfen weiter verwendet werden.

Bei Änderungen an bereits bestehenden Prüfständen gelten die neuen Anforderungen dieser Prüfanweisung für die zu ersetzenden Bestandteile.

### 1.2 Begriffe

**Abgrenzungsstelle**

Definierte Stelle in der Auslaufleitung zur Abgrenzung des gemessenen Prüfvolumens.

**Abtasteinrichtung**

Gerät, das für die Prüfung von Zählern auf das Zählwerk aufgesetzt wird und z.B. die Umdrehungen eines umlaufenden Zählgliedes bzw. des Anlaufsterns in volumenproportionale Impulse umsetzt.

**Auslaufleitung**

Rohrleitung zwischen Messstrecke und Wägebehälter

**Belastungsbereich**

Durchflussbereich des Prüflings zwischen dem kleinsten und größten Durchfluss ( $Q_{\min}$  und  $Q_n$  bzw.  $q_i$  und  $q_p$ ).



#### Durchflusssensor

Ein Teilgerät, durch das die Wärmeträgerflüssigkeit (Aufnahme und/oder Abgabe thermischer Energie) entweder im Vorlauf oder im Rücklauf eines Wärmetauscherkreislaufes fließt und das ein Signal abgibt, das eine Funktion des Volumens oder der Masse oder des Volumen- oder Massendurchflusses ist.

#### Ein- bzw. Auslaufstrecken

Störungsfreie gerade Rohrleitung vor bzw. hinter einem Zähler als Bestandteil der Messstrecke.

#### Fehlergrenze

Grenze der zulässigen Messabweichungen eines Durchflusssensors (MPE).

#### Gasabscheider

Gerät zum Abscheiden von Lufteinschlüssen aus dem Messgut Wasser.

#### Gasanzeiger

Durchsichtiges Teil in der Rohrleitung zum Erkennen von Luftblasen im durchströmenden Wasser.

#### Grenzrichtwert

Obere Grenze für den Absolutwert der Messabweichung oder für die Standardunsicherheit, die von einer Komponente des Prüfstands erreicht werden darf.

#### Impulswertigkeit

Volumenwert (z.B. in Liter pro Impuls) eines Impulses, der von einer impulsgebenden Einrichtung am Zähler für Prüfzwecke oder zu Fernanzeige erzeugt wird.

#### Istvolumen

Wasservolumen, das während eines Prüfungsvorgangs vom Prüfling erfasst wird.

#### Kalibrieren

Feststellen der Messabweichung zwischen einem Prüfling und der höherwertiger Referenz.

#### Kältezähler

siehe Messgerät

#### Kaltwasser

Kaltwasser nach DIN EN 1434-5 mit einer Temperatur von  $15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  definiert.

#### Messabweichung des Prüflings

Differenz zwischen Sollvolumen und Istvolumen. Diese kann auch relativ (z.B. in %) bezogen auf das Sollvolumen angegeben werden.

#### Messgerät

Messgerät steht als Sammelbegriff von Durchflusssensor für Zähler für thermische Energie, als Teilgerät für Zähler für thermische Energie, vollständiger Wärmezähler nach EO 22, Teilgeräte für Wärmezähler nach EO 22 und Heisswasserzähler für Wärmetauscherkreisläufe nach EO 22.

#### Messrichtigkeit

Qualitatives Maß der Annäherung des Mittelwertes an einen Referenzwert, quantitativ bestimmbar durch die systematische Messabweichung.

#### Messstrecke

Teil des Prüfstandes, in den der Prüfling einschließlich der Ein- und Auslaufstrecken eingebaut wird.



#### Messunsicherheit, erweiterte

Kennwert, der einem Bereich des Messergebnisses kennzeichnet, von dem erwartet werden kann, dass er einen großen Anteil der Werte umfasst, die der Messgröße vernünftigerweise zugeordnet werden kann. Um die erweiterte Messunsicherheit zu erhalten, muss die kombinierte Standardunsicherheit mit dem Erweiterungsfaktor  $k$  multipliziert werden. In dieser Prüfanweisung wird  $k = 2$  gesetzt.

#### Mindestprüfvolumen

Das kleinste Prüfvolumen, das für den jeweiligen Prüfdurchfluss verwendet werden darf.

#### Normal

Realisierung der Definition einer Größe mit angegebenem Größenwert und beigeordneter Messunsicherheit, benutzt als Referenz. Ein Normal kann sein ein Prüfstand oder Teile eines Prüfstandes. Ein Normal bei einem Prüfstand kann sein: Bezugnormal (höherer Ordnung, z.B. Waage) und/oder Gebrauchsnormal (Referenzzähler).

#### Normalgewicht

Gewichtsstück, welches zum Kalibrieren von Waagen oder hierarchisch nachgeordneter Gewichtsstücke verwendet wird. Normalgewichtsstücke sind so zu wählen, dass ihr Einfluss auf die Messunsicherheit weniger als  $1/3$  der Fehlergrenze der Kalibrierung beträgt.

#### Prüfmittel

Gesamtheit aller messenden und sonstigen Geräte und Einrichtungen einschließlich Software, die für die Prüfung verwendet werden.

#### Prüffehlergrenze

Ist die Fehlergrenze, die die Waage bei der Kalibrierung aufgrund des Eichwerts ( $e$ ) einhalten muss.

#### Prüfling

Zu prüfender Durchflusssensor

#### Prüfstand

Gesamtheit aller Einrichtungen, die für die Eichung von Zählern benötigt werden (z.B. Messstrecke, Wasserversorgung, Referenzzähler, Waage, Armaturen etc.).

#### Referenzzähler

Als Gebrauchsnormal verwendeter Zähler, der mit dem Prüfling in Reihe geschaltet wird.

#### Reihenprüfung

Gleichzeitige Prüfung mehrerer hintereinander in der Messstrecke eingebauten Zähler mit einem gemeinsamen Normal.

#### Sollvolumen

Wasservolumen, das während eines Prüfvorgangs vom Normal erfasst wird.

#### Standardunsicherheit

Als Standardabweichung ausgedrückte Unsicherheit des Ergebnisses einer Messung oder Einflussgröße.

#### Standardunsicherheit, kombinierte

Standardunsicherheit eines Messergebnisses, wenn dieses Ergebnis aus den Werten einer Anzahl von Ausgangs- und Einflussgrößen gewonnen wird. Falls diese unkorreliert sind, ergibt sich aus der Quadratwurzel der Summe der Quadrate der Standardunsicherheiten dieser Größen die Kombinierte Messunsicherheit des Messergebnisses.



**Umschaltvorrichtung**

Besondere Abgrenzungsstelle in der Auslaufleitung für die Prüfung mit fliegendem Start und Stopp.

**Volumenauflösung**

Das Volumen in Litern, das dem kleinsten darstellbaren Volumenfortschritt entspricht.

**Wägebehälter**

Gefäß auf der Waage zur Aufnahme des während eines Messvorganges vom Prüfling abgegebenen Wasservolumens.

**Wägewert**

Messwert, der von der Anzeigeeinrichtung der Waage angezeigt wird.

**Wärmezähler**

siehe Messgerät

**Warmwasser**

Warmwasser nach DIN EN 1434-5 mit einer Temperatur von  $50\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  definiert.

**Wiederholpräzision**

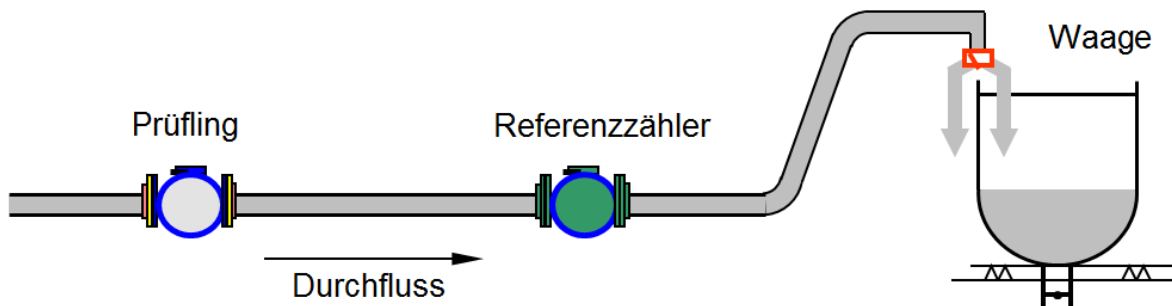
Messpräzision unter Wiederholbedingungen.

**Zertifikat**

Kann eine Bauartzulassung (mit Kennzeichnung nach TR-K 16), Baumusterprüfbescheinigung oder Entwurfsprüfbescheinigung sein.

**Zwischenrohr**

Rohrleitung zwischen Prüfling und Abgrenzungsstelle.





### 1.3 Abkürzungen

AGFW	: Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.
AGME	: Arbeitsgemeinschaft Mess- und Eichwesen
BLA	: Bund-Länder-Ausschuss Gesetzliches Messwesen
CEN	: European Committee for standardization
DIN	: Deutsches Institut für Normung e.V.
DN	: Nennweite
EO	: Eichordnung
EN	: Europäische Norm
GM-AR	: Gesetzliches Messwesen -Allgemeine Regelungen-
GM-B	: Gesetzliches Messwesen - Regelungen zu Bescheinigungen -
ISO	: International Organization for Standardization
MessEG	: Mess- und Eichgesetz
MessEV	: Mess- und Eichverordnung
MessEGebV	: Mess- und Eichgebührenverordnung
MPE	: Maximum permissible error (Fehlergrenze), maximal zulässige Messabweichung
MID	: Magnetisch-induktive Durchflusssensoren
NSW	: Nichtselbsttätige Waage
OIML	: ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE
PTB	: Physikalisch-Technische Bundesanstalt
REA	: Regelermittlungsausschuss
TR-K	: Technische Richtlinien der PTB für thermische Energie



## 1.4 Formelzeichen

### 1.4.1 Großbuchstaben

Formelzeichen	Bezeichnung / Erläuterung	Einheit
$A_{TR}$	Querschnitt der Tauchrohrwand	$m^2$
$A_B$	freier Behälterquerschnitt (abzüglich der Fläche eventueller Einbauten, aber einschließlich $A_{TR}$ )	$m^2$
$E_f$	Fehlergrenze des Durchflusssensors bei der Eichung	% v.M.
$K$	Teilungsfaktor	-
$K_{LA}$	Faktor der Luftauftriebskorrektur	-
$K_{RA}$	Faktor der Korrektur für den Tauchrohrbetrieb	-
$K_{pw}$	additive Wasserdichtekorrektur	$kg/m^3$
$MA_{Pr}$	Messabweichung des Prüflings	$m^3$
$MA_{Pr,rel}$	Relative Messabweichung des Prüflings	% v.M.
$M_{int}$	Masse bei Intervall Füllvorgang	kg
$M_{kont}$	Masse bei kontinuierlichen Füllvorgang	kg
$MPE$	maximal zulässige Messabweichung (Fehlergrenze)	%
$MPE_{reduziert}$	eingeschränkte MPE	%
$Q_{min}$	Kleinster Durchfluss, bei dem der Zähler die Fehlergrenzen einhalten muss. Er wird in Abhängigkeit von $Q_n$ festgelegt	$m^3/h$ l/h
$Q_n$	Nenndurchfluss, größter Durchfluss, beim dem der Zähler betrieben werden kann, ohne dass die Fehlergrenzen und der größte Druckverlust überschritten werden. Ausgedrückt in Kubikmeter pro Stunde dient er der Kennzeichnung der Zählergröße	$m^3/h$ l/h
$Q_t$	Übergangsdurchfluss, der den unteren vom oberen Belastungsbereich trennt, und bei dem sich die Fehlergrenzen sprunghaft ändern	$m^3/h$ l/h
$Q_{\Delta t}$	Durchfluss, bei welchem der Zeitfehler bestimmt wird	$m^3/h$
$U$	Erweiterte Messunsicherheit mit $k = 2$	*
$U_{rel}$	Relative erweiterte Messunsicherheit mit $k=2$	%
$V_{B,L}$	verbleibendes Luftvolumen im Behälter nach der Befüllung	l
$V_{ist}$	Istvolumen	l $m^3$
$\dot{V}_{int}$	Volumenstrom eines Intervall Füllvorgangs	l/h
$\dot{V}_{kont}$	Volumenstrom eines kontinuierlichen Füllvorgangs	l/h
$V_{LB}$	Totvolumen der Rohrleitung wo sich Luft ablagern kann	l
$V_{Luft}$	Volumen der Luftblase während der Prüfung	l
$V_{Min}$	Mindestprüfvolumen	l



$V_N$	Abgegebenes Volumen, das während einer bestimmten Zeit durch den Zähler geflossen ist und mit einem Normal bestimmt wird (Sollwert)	l m <sup>3</sup>
$V_{\text{soll}}$	Sollvolumen	l m <sup>3</sup>
$V_{V.a}^*$	Äusserer spezifischer Verdunstungsmittelwert	m <sup>3</sup> /h
$V_{\text{LB}}$	Totvolumen durch Luftblase	l m <sup>3</sup>
$V_W$	Sollvolumen des Wassers aus der Wägung	l m <sup>3</sup>
$V_{\text{ZR}}$	Volumen des Zwischenrohrs	m <sup>3</sup>
$V_{\text{91}}$	Volumen bei Wassertemperatur zu Beginn der Prüfung	l m <sup>3</sup>
$V_{\text{92}}$	Volumen bei Wassertemperatur am Ende der Prüfung	l m <sup>3</sup>

\* Einheit der jeweiligen Messgröße



## 1.4.2 Kleinbuchstaben

Formelzeichen	Bezeichnung / Erläuterung	Einheit
$a$	Wertigkeit eines Prüflingsimpuls	Imp/l
$d$	Teilungswert der Anzeige der Waage	g
$e$	Eichwert der Waage	g
$e_z$	Eichwert Zähler	g
$k$	Erweiterungsfaktor	-
$m_{v,i}^*$	Innere spezifische Verdunstungsmittelwert	kg/(m <sup>3</sup> ·K)
$m_{\text{korr}}$	Korrigierter Wägewert	kg
$m_W$	Konventioneller Wägewert	kg
$n$	Anzahl	1
$q$	Durchfluss	m <sup>3</sup> /h l/h
$q_i$	Kleinster Durchfluss, bei dem der Zähler die Fehlergrenzen einhalten muss	m <sup>3</sup> /h l/h
$q_{\text{min}}$	Minimaler Durchfluss	m <sup>3</sup> /h l/h
$q_{\text{max}}$	Maximaler Durchfluss	m <sup>3</sup> /h l/h
$q_p$	Durchfluss, bei dem der Zähler kontinuierlich betrieben werden darf, ohne die Fehlergrenzen zu überschreiten	m <sup>3</sup> /h l/h
$q_s$	Durchfluss, bei dem der Zähler für kurze Zeiträume (<1 h/Tag; <200 h/Jahr), ohne die Fehlergrenzen zu überschreiten, betrieben werden darf	m <sup>3</sup> /h l/h
$t_{90}$	Temperatur des Wassers	°C
$t_{\text{int}}$	Zeit für den Intervall Füllvorgang	s
$t_{\text{kont}}$	Zeit für den kontinuierlichen Füllvorgang	s
$t_{\text{Prüf}}$	Zeitdauer der Prüfung	s
$u$	Standardunsicherheit	*
$u_{\text{Anz}}$	Standardunsicherheit bei der Erfassung des Prüfvolumens	l
$u_{\text{Anz,max}}$	Relative Standardunsicherheit bei der Erfassung des Prüfvolumens	%
$u_{\Delta V, \text{KRA}}$	Relative Standardunsicherheit der Tauchrohr-Auftriebskorrektur	%
$u_{\Delta V, \text{Kompr.}}$	Relative Standardunsicherheit der Kompressibilität des Wassers	%
$u_{\Delta V, \text{kpW}}$	Relative Standardunsicherheit für die Änderung des Wasservolumens in Abhängigkeit des Mediums	%
$u_{\text{MAPr}}$	Relative Standardunsicherheit der Messabweichung des Prüflings	%
$u_{\text{MARef}}$	Relative Standardunsicherheit der Messabweichung des Referenzzählers	%



$u_{\Delta V.Va}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens durch äußere Verdunstung	%
$u_{\Delta V.Vi}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens durch innere Verdunstung	%
$u_{V.ist}$	Relative kombinierte Standardunsicherheit des Istvolumens	%
$u_a$	Relative Standardunsicherheit der Volumenwertigkeit eines Impulses bei der Erfassung des Istvolumen	%
$u_n$	Relative Standardunsicherheit der Impulserfassung bei der Erfassung des Istvolumen	%
$u_{\Delta V.Kalib}$	Relative Standardunsicherheit der Kalibrierung des Referenzzählers	%
$u_{\Delta V.LB}$	Relative Standardunsicherheit durch verbleibende Luft in der Rohrleitung während der Messung	%
$u_{\Delta V.LS}$	Relative Standardunsicherheit zwischen zwei Kalibrierungen des Referenzzählers	%
$u_{\Delta V.VLuft(\Delta p)}$	Relative Standardunsicherheit für Luftblasen im Prüfwasser	%
$u_{V.soll}$	Relative kombinierte Standardunsicherheit des Sollvolumens	%
$u_{V.soll.n}$	Relative Standardunsicherheit der Impulserfassung bei der Erfassung des Sollvolumen	%
$u_{\Delta V.Tr}$	Relative kombinierte Standardunsicherheit des Volumens durch nachtropfen nach Abschluss der Wägung	%
$u_{\Delta V.pLB}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens aufgrund Änderung des Luftdrucks	%
$u_{\Delta V.pW}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens durch Temperatureinfluss	%
$u_{\Delta V.pWPr}$	Relative Standardunsicherheit des Istvolumens aufgrund der Dichteänderung	%
$u_{\Delta V.pWRef}$	Relative Standardunsicherheit des Sollvolumens aufgrund der Dichteänderung am Referenzzähler	%
$u_{\Delta V.\Delta t}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens durch den Zeitfehler	%
$u_{\Delta V.ZR}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens durch wegen Differenzvolumen des Zwischenrohrs	%
$u_{\Delta V.VLuft}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens durch mitgeführte Luft in der Rohrleitung	%
$u_{\Delta V.Luft(\Delta \vartheta)}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens durch verbleibende Luft im Rohrsystem Temperatureinfluss	%
$u_{\Delta V.Luft(\Delta p)}$	Relative Standardunsicherheit des Volumens durch verbleibende Luft im Rohrsystem Druckeinfluss	%
$u_{\Delta V.\Delta t}$	Relative Standardunsicherheit des Zeitfehlers	%
$u_{\Delta V.pWPr}$	Relative Standardunsicherheit des Sollvolumens aufgrund der Dichteänderung am Prüfling	%
$u_{rel}$	Relative Standardunsicherheit	%
$u_{Zr}$	Standardunsicherheit infolge von Temperaturänderungen im Zwischenrohr	%

\* Einheit der jeweiligen Messgröße



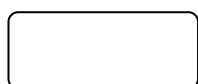
### 1.4.3 Griechische Buchstaben

Formelzeichen	Bezeichnung / Erläuterung	Einheit
$\vartheta$	Temperatur	°C
$\vartheta_w$	Temperatur des Wassers	°C
$\Delta A_B$	Differenz der Behälterquerschnittsfläche $A_B$ zu $A_{B\text{ soll}}$	m <sup>3</sup>
$\Delta A_{TR}$	Differenz der Rohrquerschnittsfläche $A_{TR}$ zu $A_{TR\text{ soll}}$	m <sup>3</sup>
$\Delta MA_{\text{sys}}$	Differenz der systematischen Messabweichung zwischen zwei Kalibrierungen des Referenzzählers	%
$\Delta t$	Zeitfehler des Diverter	s
$\Delta t_i$	Zeitfehler des Intervall-Füllvorgangs	s
$\overline{\Delta t}$	Zeitfehler des Einzel-Füllvorgangs	s
$\Delta V_{\text{Luft}(\Delta p)}$	Volumenänderung durch verbleibende Luft im Rohrsystem während der Prüfung Druckeinfluss	l
$\Delta V_{\text{Luft}(\Delta \vartheta)}$	Volumenänderung durch verbleibende Luft im Rohrsystem während der Prüfung Temperatureinfluss	l
$\Delta V_{TR}$	Volumenänderung durch Abtropfzeit	l
$\Delta V_{\rho, LB}$	Differenzvolumen durch Dichte der Behälterluft	m <sup>3</sup>
$\Delta V_{V.a}$	Äußeres Verdunstungs-Fehlverhalten	m <sup>3</sup>
$\Delta V_{V.i}$	Inneres Verdunstungs-Fehlverhalten	m <sup>3</sup>
$\Delta V_{ZR}$	Differenzvolumen des Zwischenrohres	m <sup>3</sup>
$\Delta V_{\Delta t}$	Differenzvolumen durch Diverter	l
$\Delta \vartheta$	Betrag der Temperaturänderung	°C
$\Delta \gamma$	Differenz der kubischen Ausdehnungskoeffizienten von Rohrmaterialien und Wasser	1/°C
$\Delta \rho_L$	Luftdruckänderung	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{\text{kont}}$	Dichte des Wassers beim kontinuierlichen Füllvorgang	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_{PR}$	Wiederholstandardabweichung	%
$\sigma_{\text{Ref.max}}$	Maximal zulässige Wiederholpräzision eines Referenzzählers	%
$\sigma_{\text{PRzulässig}}$	Maximale zulässige Wiederholstandardabweichung	%
$\rho_G$	Konventionelle Dichte der Normalgewichtstücke bei der Prüfung der Waage; $\rho_G = 8000 \text{ kg/m}^3$	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{\text{int}}$	Dichte des Wassers beim Intervall-Füllvorgang	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_L$	Luftdichte außerhalb des Wägebehälters	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{LB}$	Luftdichte im Wägebehälter	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{\text{MUT}}$	Wasserdichte am Prüfling	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_w$	Wasserdichte am Referenzzähler	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{w.\text{dest}}$	Dichte des luftgesättigten destillierten Wassers	kg/m <sup>3</sup>



$\rho_{W,dest(\vartheta-\Delta\vartheta)}$	Dichteänderung des luftgesättigten destillierten Wassers	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{\vartheta 1}$	Wasserdichte am Prüfling zu Anfang der Prüfung	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{\vartheta 2}$	Wasserdichte am Prüfling zu Ende der Prüfung	kg/m <sup>3</sup>
$\delta x_j$	Korrekturvolumina durch weitere Eingangsgrößen	m <sup>3</sup>

## 1.5 Flussdiagrammsymbolik



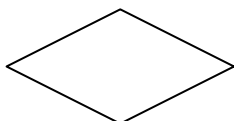
→ Symbol für Beginn oder Ende eines Programmflusses



→ Tätigkeit



→ Vordefinierter Vorgang



→ Verzweigung, Entscheidung



→ Protokolle; Aufzeichnungen, Dokumente



→ Schnittstelle



→ Prüftätigkeit



## 2 Verzeichnis der Vorschriften und Regelungen

Mess- und Eichgesetz (MessEG)
Mess- und Eichverordnung (MessEV)
Gesetzliches Messwesen - Allgemeine Regelungen (GM-AR)
Gesetzliches Messwesen - Regelungen zu Bescheinigungen (GM-B)
DIN EN 1434 Thermische Energie Messgeräte
Eichordnung Anlage 22 (EO 22) Messgeräte für Thermische Energie, Warm- und Heißwasserzähler für Wärmetauscher-Kreislaufsysteme in der am 11.02.2007 geltenden Fassung
GM-P 2.3 NSW - Prüfanweisung für nichtselbsttätige Waagen
GM-P 5.22 Wasserzähler - Prüfanweisung für die Eichung von Volumenmessgeräten für strömendes Wasser und Anforderungen an Normale
Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, Ausgabe JCGM 100:2008
Eichbehörden der Länder: „Leitfaden zur Validierung von Fachanwendungen“ 2016
DIN EN 45501 Metrologische Aspekte der nichtselbsttätigen Waagen
DIN ISO 2768-1 Allgmeintoleranzen; Toleranzen für Längen- und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung
DIN 1319-1 Grundlagen der Messtechnik, Teil 1: Grundbegriffe
Internationales Wörterbuch der Metrologie (VIM)
PTB-Anforderungen 22 (PTB-A 22) Messgeräte für thermische Energie, Warm- und Heißwasserzähler für Wärmetauscher-Kreislaufsysteme
Mess- und Eichgebührenverordnung (MessEGebV)
AGFW FW 201: „Ordnungsgemäße Vorbereitung zur Nacheichung von Wärmezählern und Wärmezähler-Teilgeräten“
CEN Report: „Heat meters - Recommendations for circulation water industrial and district heating systems and their operation“
AGFW FW 510: „Anforderungen an das Kreislaufwasser von Industrie- und Fernwärmeheizanlagen sowie Hinweise für deren Betrieb“.
TR-K 2: Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte als Gebrauchsnormale für die Prüfung von Durchflusssensoren von Kälte- / Wärmezählern
TR-K 7.1: Richtlinie für die Eichung von Wärmezählern und Teilgeräten
TR K 7.2: Richtlinie zur messtechnischen Prüfung von Kältezählern und kombinierten Kälte- / Wärmezählern
TR-K 16: Zulassungszeichen
OIML R 111-1 (DIN 8127)



### 3 Verfahrensablauf der Eichung (Überblick)

Ablauf	Prüfschritte
	<p><b>1. Anforderungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1 Antragstellung vollständig vorhanden</li> <li>1.2 Dokumente zur Eichung vorhanden</li> <li>1.3 Bauartzulassung</li> <li>1.4 Baumusterprüfbescheinigungen</li> <li>1.5 Konformitätsbestätigungen</li> <li>1.6 Zertifikate</li> <li>1.7 Signaturen</li> <li>1.8 Parametrierungen</li> </ul>
	<p><b>2. Prüfumfang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 Prüfbedingungen</li> <li>2.2 Beschaffenheit (formale Prüfung)</li> <li>2.3 Äußere Anforderungen</li> <li>2.4 Übereinstimmung technisch- funktioneller Art</li> <li>2.5 Korrespondierend mit eichrechtlichen Vorgaben und der technischen Dokumentation</li> </ul>
	<p><b>3 Funktionelle und messtechnische Prüfungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 Funktionelle Prüfpunkte</li> <li>3.2 Messtechnische Prüfpunkte</li> </ul>
	<p><b>4 Prüfungen bewerten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1 Funktionen</li> <li>4.2 Messtechnik</li> </ul>
	<p><b>5 Dokumentation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Protokoll erstellen</li> <li>5.2 Archivieren elektronisch ggf. in Papierform</li> </ul>
	<p><b>6 Kennzeichnung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>6.1 Plomben (Eichkennzeichen u. Sicherung)</li> <li>6.2 Marken (Eichkennzeichen u. Sicherung)</li> </ul>



## 4 Prüfmittel

### 4.1 Allgemeines

Die verwendeten Prüfmittel gemäß Kapitel 4.6 müssen metrologisch rückgeführt sein und den geltenden Vorschriften der GM-AR entsprechen. Bei der Anwendung der Prüfmittel sind die geltenden Vorschriften des Arbeitsschutzes, der Sicherheitstechnik und des Gesundheitswesens zu beachten.

### 4.2 Prüfstände

#### 4.2.1 Allgemeine Anforderungen

Prüfstände oder Teile davon bedürfen hinsichtlich ihrer Eignung einer Prüfung durch die Eichbehörde, wenn sie von dieser Prüfanweisung abweichen.

Dies ist im Einzelnen dann gegeben, wenn z.B.:

- Prüfstände mit Normalmessbehältern (Volumenreferenzen als Maßverkörperung) verwendet werden,
- das dynamische Wägeverfahren angewendet wird,
- Prüfstände mit kürzeren Ein- oder Auslaufstrecken (siehe Forderungen unter Abschnitt 4.2.7) verwendet werden,
- Prüfstände mit Ein- und Auslaufstrecken verwendet werden, deren Innendurchmesser von den Innendurchmessern der Anschlussverschraubung bzw. des Flanschanschlusses der Durchflusssensoren voneinander abweichen (DIN ISO 2768-1).

Die Prüfstände können als Einzelprüfstände oder als Reihenprüfstände ausgeführt sein.

Die Prüfstände müssen den Anforderungen an die Messunsicherheit gemäß DIN EN 1434-5 im gesamten Durchflussbereich entsprechen.

Die im Folgenden beschriebenen Komponenten und Funktionalitäten der Prüfstände sind nur exemplarisch anwendbar. Alle messablauftechnischen und hardwaremäßigen Besonderheiten sind individuell bei der Messunsicherheitsanalyse detailliert zu berücksichtigen. Zur Überprüfung der Messrichtigkeit und Wiederholpräzision des Prüfstands sind Wiederholungsprüfungen durchzuführen. Diese Prüfungen sind bei den Temperaturen durchzuführen, bei denen der Prüfstand betrieben wird. Dies sollte mit messstabilen Prüflingen erfolgen, deren Messverhalten hinreichend bekannt ist.

Für jeden Prüfstand ist ein Prüfstandshandbuch oder -ordner anzulegen, in dem vom leitenden Prüfstellenpersonal sämtliche Hard- und Softwareänderungen mit Datum und Name einzutragen sind.

#### 4.2.2 Auslaufleitung und Zwischenrohr

Die Auslaufleitung hinter dem Prüfling darf mit parallelgeschalteten Durchflusseinstell- und -messeinrichtungen verschiedener Größen ausgerüstet sein.

Der zwischen dem Prüfling und der Abgrenzungsstelle liegende Rohrabschnitt (Zwischenrohr) muss möglichst kurz gehalten werden.



Um Messabweichungen durch zeitliche Temperaturänderungen während der Messung im Zwischenrohr zu reduzieren, kann das Rohr thermisch isoliert werden. Die Temperaturdifferenz im jeweiligen Zwischenrohr zu Beginn und am Ende einer Messung sollte möglichst gering sein.

### **4.2.3 Gasanzeiger und Entlüftungsreinrichtungen**

In der Auslaufleitung muss ein Gasanzeiger eingebaut sein.

Der Gasanzeiger muss so beschaffen und angebracht sein, dass Luftblasen im durchfließenden Wasser festgestellt werden können.

Dies ist bei Rohrleitungen mit Nennweiten bis DN 150 gewährleistet, wenn die Breite des Gasanzeigers die Nennweite der Rohrleitung hat und die Länge der Sichtstrecke zirka das 3fache der Nennweite (maximal 150 mm) beträgt.

Bei Rohrleitungen mit Nennweiten größer als DN 150 müssen die Breite und die Länge der Sichtstrecke des Gasanzeigers mindestens der Nennweite der Rohrleitung entsprechen.

Zur Entlüftung der Messstrecke einschließlich der Prüflinge ist eine entsprechende Vorrichtung, z.B. eine Evakuierungseinrichtung, vorzusehen.

### **4.2.4 Abzweigung hinter der Messstrecke**

Abzweigungen hinter der Messstrecke müssen so eingerichtet sein, dass der wasserdichte Abschluss der jeweils nicht benutzten Zweigleitung kontrollierbar ist. Die Kontrolleinrichtungen sind hinter den in Betracht kommenden Absperreinrichtungen so anzuordnen, dass eine Undichtigkeit sofort erkennbar ist.

### **4.2.5 Abgrenzungsstelle**

Füllleitungen in den Wägebehälter von oben und mit freiem Auslauf müssen bei Befüllung eine eindeutige Abgrenzungsstelle (Überlauf- oder Umschalteinrichtung) besitzen und hinter dieser zu den Auffanggefäßen geneigt sein. Die Verwendung von Überlaufschaugläsern sowie Stichleitungen ist zweckmäßig. Diese sollten leicht kontrollierbar sein. Die Befüllung von unten ist nicht zulässig.

#### **4.2.5.1 Absperreinrichtungen für Prüfungen mit stehendem Start-Stopp**

Vor oder hinter der Messstrecke muss eine Absperreinrichtung vorhanden sein, die schnell geöffnet und geschlossen werden kann.

Die Prüfstände dürfen mit selbsttätigen Absperreinrichtungen ausgerüstet sein, die nach dem Durchfließen einer bestimmten Wassermenge den Zulauf selbsttätig absperren.

#### **4.2.5.2 Umschalteinrichtungen für Prüfungen mit fliegendem Start-Stopp**

Die Abgrenzungsstelle kann durch eine nach Auslösen selbsttätig wirkende Umschalteinrichtung gebildet sein. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass der austretende Volumenstrom vollständig in den Wägebehälter oder nach außen geleitet wird.

Der Umschaltvorgang sollte symmetrisch und in beiden Richtungen gleich schnell sein, wobei die Wiederholpräzision möglichst hoch sein muss. Zweckmäßig ist eine Einrichtung, die die jeweilige Stellung der Umschalteinrichtung anzeigt.



Die systematische Messabweichung (Zeitfehler) und zufällige Messabweichung der Umschalteneinrichtung muss bei verschiedenen Durchflüssen überprüft werden.

Die Waage-, Verdunstungs- und Divertertests sind bei den Temperaturen durchzuführen, bei denen der Prüfstand betrieben wird.

#### 4.2.6 Absperreinrichtungen vor der Messstrecke

Vor der Messstrecke muss eine Absperreinrichtung vorhanden sein. Sie soll im geöffneten Zustand keine Querschnittsverengung verursachen.

#### 4.2.7 Ein- und Auslaufstrecke

Eine freie Einlaufstreckenlänge von mindestens dem 10fachen der Nennweite des Prüflings sowie hinter dem Prüfling auf einer Länge von mindestens dem 2fachen seiner Nennweite wird empfohlen. Mindestens jedoch die Vorgaben der Prüfungsvorschriften der Zertifikate (Zulassungsdokumente des Prüflings).

Zur Beseitigung von Drall, der z.B. nach Kreiselpumpen oder Raumkrümmern in der Zuführungsleitung auftritt, kann außerdem ein geeigneter Gleichrichter vor der Einlaufstrecke eingebaut sein.

#### 4.2.8 Versorgungseinrichtungen

Die Verwendung eines Ionenaustauschers ist zur Vermeidung von Kalkablagerungen zweckmäßig. Es wird eine Wasserqualität in Anlehnung an den Report CEN/TR 16911 „Heat meters - Recommendations for circulation water in industrial and district heating systems and their operation“ bzw. das AGFW-Arbeitsblatt FW 510: „Anforderungen an das Kreislaufwasser von Industrie- und Fernwärmeheizanlagen sowie Hinweise für deren Betrieb“ empfohlen.

Zur Vermeidung zusätzlicher Einflüsse auf die Messunsicherheit ist es zweckmäßig, den statischen Druck in der Zuleitung zu den Prüflingen möglichst konstant zu halten, ebenso sind Pulsationen zu vermeiden. Der seitens des Herstellers geforderte Mindestdruck am Ausgang des (bei Reihenprüfungen jedes) Prüflings ist einzuhalten.

Die Wassertemperatur für Warmwasser muss in der Messstrecke und am Referenzzähler grundsätzlich  $50\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  betragen. Die Wassertemperatur für Kaltwasser muss in der Messstrecke grundsätzlich  $15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  betragen. Abweichungen gemäß Festlegung im Zertifikat (Zulassungsdokument) sind möglich. Änderungen der Dichte des Mediums auf Grund von Temperaturänderungen während der Messung sind durch eine Dichtekorrektur des Volumens zu berücksichtigen, siehe auch Kapitel 6.2.5.3.6.

#### 4.2.9 Durchflusskonstanz

Während jeder Prüfung ist der Durchfluss grundsätzlich in engen Grenzen konstant zu halten.

Durchflussänderungen dürfen folgende Grenzen nicht übersteigen:

$\pm 2,5\%$  im Bereich

$q_i$  bis unter  $0,1 q_p$  bzw.

$Q_{\min}$  bis unter  $Q_t$ .

und



± 5,0 % im Bereich von  
 0,1  $q_p$  bis  $q_p$  bzw.  
 $Q_t$  bis  $Q_n$ .

Zur Überprüfung der oben angegebenen Durchflussgrenzwerte müssen die Prüfstandsreferenzen über eine ausreichend hohe Auflösung (Pulswertigkeit) zur Darstellung der Durchflussanzeige verfügen. Des Weiteren darf der Ausgang des Messgerätes zur Darstellung des Durchflusses um nicht mehr als 1 s gedämpft oder gemittelt werden.

Unter der Annahme, dass bei der Darstellung des Durchflusses die Unsicherheiten durch Temperatur-, Leitfähigkeitsänderung sowie die Langzeitstabilität des Durchflussmessgerätes über den maximalen Prüfzeitraum konstant bleiben, bleibt als Unsicherheitsbeitrag die Auflösung der Anzeige übrig. Diese wird bestimmt durch die Impulswertigkeit des Durchflussmessgerätes zur deren Darstellung.

Gemäß DIN EN 1434-5 gilt für die Prüfeinrichtung 1/5 MPE.

1/5 MPE angewendet auf die Grenzen zur Durchflusskonstanz 2,5 % bedeutet eine relative Unsicherheit der Durchflussanzeigen von 0,5 % bzw. 0,005. Es folgt die Impulswertigkeit  $a$  bei 1/5 MPE:

$$a \left[ \frac{\text{Imp}}{l} \right] = \frac{1}{q \left[ \frac{l}{\text{sec}} \right] \cdot 0,005} \quad \text{oder} \quad a \left[ \frac{\text{Imp}}{l} \right] = \frac{1 \cdot 3600}{q \left[ \frac{l}{h} \right] \cdot 0,005}$$

Die Prüfungen sind bei den Durchflussanzeigen der einzelnen Messstrecken durchzuführen.

#### Beispiel:

Bei 6 l/h gilt dann für die geforderten 1/5 MPE = 120.000 Imp/l

Aus den bei den tatsächlichen Prüfzeiten aufzunehmenden Messwerten ist die empirische Standardabweichung der Einzelmessungen zu bestimmen und für  $k = 2$ , d.h. 95,4 % Überdeckungswahrscheinlichkeit anzugeben.

### **4.2.10 Verhinderung des Mitmessens von Luft**

Während des Prüfvorganges darf keine Luft in die Messstrecke gelangen bzw. in dieser vorhanden sein. Bei Prüfständen mit direktem Pumpenbetrieb muss der statische Druck am Saugstutzen mindestens 0,1 bar über Umgebungsdruck während des Prüfzeitraums betragen. Andernfalls ist ein geeigneter Gasabscheider vor der Messstrecke vorzusehen. Der Saugstutzen ist so auszubilden, dass Strudelbildung verhindert wird. Bei Prüfständen mit Druckkesselanlagen muss der Druckkessel mit einer Einrichtung zur Überwachung des Wasserstandes ausgerüstet sein.

## **4.3 Normale**

### **4.3.1 Waagen**

#### Anforderungen an Genauigkeit und Messstabilität

Zur Genauigkeit und Messstabilität gelten die Anforderungen an nichtselbsttätige Waagen gemäß der harmonisierten Norm DIN EN 45501. Die Waage muss mindestens den grundlegenden Anforderungen einer Waage der Genauigkeitsklasse III (Handelswaage) entsprechen und zur Aufnahme des Wägebehälters geeignet sein. Grundsätzlich sind Waagen in Anlehnung an die „Prüfanweisung für nichtselbständige Waagen GM-P 2.3 NSW auf ihre Einhaltung zur Prüffehlergrenze und Messstabilität rückverfolgbar zu untersuchen.



Der Grenzrichtwert der relativen Standardunsicherheit des Wägewertes beträgt das 0,05fache der MPE des Durchflusssensors. Beim statischen Wägeverfahren gelten diese Grenzrichtwerte als eingehalten, wenn die Summe aus Prüffehlergrenze und der relativen Ableseunsicherheit im gesamten Verwendungsbereich der Waage nicht größer als 0,05fache der MPE des Prüflings bei Gebrauchsnormalen bzw. 0,015fache der MPE bei Normalen höherer Ordnung ist. Dabei ist die Prüffehlergrenze auf den jeweiligen Messwert zu beziehen. Die Ableseunsicherheit ist bei Digitalanzeigen aus deren Rundungsfehler zu ermitteln. Der Rundungsfehler bei Digitalanzeigen wird mit  $0,5 d$  und die Ableseunsicherheit bei Analoganzeigen mit einem halben Skalenwert angenommen.

Wenn durch die Messunsicherheitsanalyse für den Prüfstand unter der Berücksichtigung der Messgenauigkeitsklasse des Prüflings nachgewiesen wird, dass ein höherer Wert als der zuvor festgelegte Grenzrichtwert der relativen Standardunsicherheit zulässig ist, so darf dieser höhere relative Standardunsicherheitswert verwendet werden.

Der Teilungswert ( $d$ ) ist in Gewichtseinheiten zur Angabe der Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Skalenstrichen bei analoger Anzeige bzw. der Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Anzeigewerten bei digitaler Anzeige anzugeben. Es können auch andere Teilungswerte, wie in den Genauigkeitsklassen nach GM-P 2.3 NSW festgelegt, verwendet werden.

Der Eichwert ( $e$ ) wird in Gewichtseinheiten für die eichtechnische Zuordnung einer Waage verwendet.

Bei digitalen Waagen ohne Hilfsanzeigeeinrichtung ist ( $e$ ) gleich ( $d$ ). Waagen der Genauigkeitsklasse I und II müssen mit einer Hilfsanzeigeeinrichtung ausgerüstet sein. Der Teilungswert ist wie folgt anzugeben:  $1 \cdot 10^k$ ,  $2 \cdot 10^k$  oder  $5 \cdot 10^k$ , wobei  $k$  eine positive oder negative ganze Zahl bzw. gleich Null ist.

Bei Einbereichswaagen entspricht die Anzahl der Eichwerte ( $n$ ) dem Quotienten aus der oberen Grenze des spezifizierten Messbereiches ( $Max$ , ohne Berücksichtigung der additiven Tarahöchstlast) und dem Eichwert ( $e$ ). Wird bei festgelegtem Eichwert ( $e$ ) der Waage der Genauigkeitsklasse  $x$  (z. B. III) die Anforderung in der Norm an die maximale Anzahl an Eichwerten ( $n = Max / e$ ) nicht eingehalten, kann die Waage unter der Beachtung der Anforderungen in die nächst höhere Genauigkeitsklasse  $x-1$  (z. B. II) eingestuft werden. Die Mindestlast der Waage ist entsprechend anzupassen. Die Waage muss die Prüffehlergrenze der höheren Genauigkeitsklasse einhalten und die Kennzeichnung der höheren Genauigkeitsklasse ist aufzubringen. Ein Beispiel hierzu ist in Anhang 9.7.1 aufgeführt.

Anforderungen an die Mindestprüflast:

Die Mindestprüflast ist so groß zu wählen, dass die Anforderungen unter Absatz 2 eingehalten werden.

Auf der Waage ist eine Aufschrift mit der Angabe der Mindestprüflast, entsprechend den Messgenauigkeitsklassen der zu prüfenden Zähler, bei der Verwendung als Gebrauchsnormal von  $xx \text{ kg/g}$  bzw. bei der Verwendung als Normal der nächst höheren Ordnung (NHO) von  $yy \text{ kg/g}$  aufzubringen. Alternativ können die Angaben auch auf einem Prüfstandsanlagenschild aufgeführt werden. Im Anhang 9.7.2 ist ein Beispiel zur Berechnung der Mindestprüflast aufgeführt.

Von der festgestellten Mindestprüflast im Verwendungsbereich der Waage darf abgewichen werden, wenn für jeden Zählertyp bzw. Durchflusssensor bei eingestellten Prüfvolumen die Einhaltung der maximalen zulässigen Wiederholstandardabweichung (Wiederholpräzision) nachgewiesen wird (siehe Abschnitt 6.1.1). Eine Unterschreitung der Mindestlast ( $Min$ ) der Waage ist grundsätzlich nicht zulässig.



### 4.3.1.1 Wägebehälter

Der Wägebehälter darf keine festen Anschlüsse zu äußeren Gegenständen haben. Der Anteil der relativen Standardunsicherheit für die Bestimmung des Volumens durch flexible Anschlüsse ist zu berücksichtigen.

In den Behälter hineinragende, außerhalb befestigte Tauchrohre für das Füllen oder Entleeren sind zulässig, wenn das Rohr immer in das Wasser eintaucht und der Querschnitt sowohl des Behälters als auch der Tauchrohrwandung über die gesamte Füllhöhe konstant ist. Zum Zeitpunkt der Wägung muss das Tauchrohr oben belüftet und der Druckausgleich zur umgebenden Atmosphäre gewährleistet sein. Die durch den Auftrieb des Tauchrohres verursachte Messabweichung ist zu berücksichtigen (siehe Gleichung zu  $K_{RA}$  in Abschnitt 6.2.5.3.13).

Wasserverluste durch Verdampfung sind auf ein Minimum zu beschränken. Dazu ist bei Temperaturen oberhalb der Raumtemperatur auf eine weitgehende geschlossene Bauweise sowohl des Wägebehälters als auch der Umschalteinrichtung zu achten.

### 4.3.1.2 Prüfanforderung

Bei der Prüfung der Waagen müssen die Normalgewichtstücke anwendungsbezogen aufgebracht werden können.

### 4.3.2 Referenzzähler

Als Gebrauchsnormale zur Bestimmung des durch einen Durchflusssensor geströmten Volumens dürfen auch Referenzzähler verwendet werden. Die Bauarten von Referenzzählern bedürfen hinsichtlich ihrer Eignung einer Prüfung durch die zuständige Eichbehörde.

## 4.4 Prüfmittel

### 4.4.1 Durchflussmesseinrichtung

Die Prüfstände müssen mit Einrichtungen zum Einstellen und Messen der geforderten Volumendurchflüsse mit einer maximalen relativen Messabweichung von  $\pm 5\%$  v.M. ausgestattet sein, um der Forderung unter Nr. 6.1.2.1 gerecht zu werden.

### 4.4.2 Temperaturmesseinrichtung

Vor und hinter der Messstrecke muss eine Temperaturmesseinrichtung mit einem Skalenwert bzw. Ziffernschritt von mindestens  $0,1\text{ °C}$  vorhanden sein.

Es ist vor und hinter der Messstrecke für die Prüflinge die Wassertemperatur zu messen (elektrische Widerstandsthermometer mit einer kombinierten Temperatur- und Temperaturdifferenz-Anzeige sind zu empfehlen).

### 4.4.3 Druckmesseinrichtung

Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, mit der der statische Druck in den Messstrecken hinter den Prüflingen gemessen werden kann.

### 4.4.4 Zeitmessgerät

Zur Kontrolle des Volumendurchflusses muss ein geeignetes Zeitmessgerät vorhanden sein.



#### **4.4.5 Dichtemesseinrichtung**

Auf Grund des Einflusses der Dichte des Prüfmediums auf das gemessene Volumen, ist die Mediumsdichte im Prüfstand zu bestimmen.

### **4.5 Software zur automatischen Erfassung und Auswertung von Messergebnissen**

#### **4.5.1 Allgemeines**

Die im Prüfstand verwendete Software muss eine Versionsbezeichnung mit Erstellungsdatum tragen und diese zumindest beim Starten des Programms auf dem Bildschirm anzeigen. Modifizierte Software ist durch eine Revision der Versionsbezeichnung in jedem Fall kenntlich zu machen.

Die Reihenfolge der Dateneingabe von außen soll dem tatsächlichen Prüfungsablauf entsprechen. Es muss die Möglichkeit bestehen, fehlerhaft eingegebene Werte vor der Auswertung zu korrigieren sowie eine Prüfung zu unterbrechen und auf einfache Weise neu zu beginnen. Nach der Auswertung darf eine Änderung der Messergebnisse nicht mehr möglich sein. Eine direkte Vergleichbarkeit der berechneten Messabweichungen mit den geltenden Fehlergrenzen muss möglich sein.

Die Berechnung der Messabweichung der Prüflinge mit allen Korrekturfaktoren sowie das entsprechende Programmlisting mit Variablenliste oder ein Flussplan der Berechnung müssen der Prüfstandsbeschreibung beiliegen.

Zur Überwachung durch die Eichbehörde und zur Kontrolle für den Anwender muss ein Anzeigen und Ausdrucken aller Messwerte und relevanten Parameter möglich sein, die zur Berechnung der Messabweichung verwendet werden. Die Speicherung dieser Daten und Messergebnisse in einer Datenbank ist empfehlenswert, z.B. zum Zwecke der Nachberechnung und späteren statistischen Auswertung.

Aus dem Protokoll für amtliche Prüfungen müssen für den Prüfling mindestens die Angaben entsprechend Abschnitt 8 dieser Prüfanweisung hervorgehen.

Der „Leitfaden zur Validierung von Fachanwendungen“ ist zu beachten.

#### **4.5.2 Zugangsberechtigung**

Die Zugangsberechtigung des bedienenden Personals ist in drei Zugangsbereiche (Bedien-, Setz- und Parametrierbereich) zu unterteilen und durch entsprechende Passwortebenen zu schützen. Dies gilt auch für ausgelagerte Dateien.

Im Bedienbereich müssen alle Messdaten und Parameter, die zur sachgerechten Führung der Anlage notwendig sind, dem Bediener zu Kontrollzwecken angezeigt werden. Eine Änderung der Daten darf nicht durchführbar sein.

Das Einstellen (Setzen) von Parametern, die auf den Ablauf und Umfang der Prüfung Einfluss nehmen, aber keine eichrechtlich relevanten Parameter verändern, erfolgt im Setzbereich.

Der Zugriff auf Parameter, die eine direkte Auswirkung auf die gesuchte Messgröße haben oder eichamtlicher Aufsicht unterliegen, muss im Parametrierbereich erfolgen. Die Verantwortlichkeit für den Zugriff auf die einzelnen Zugangsbereiche ist festzulegen.

#### **4.5.3 Kennzeichnung**

Durch eine geeignete Verwaltung im Prüfprogramm muss sichergestellt sein, dass die jeweils für den Betrieb der Anlage eingesetzte Software dem Benutzer in ihrem vollständigen Revisionsstand (Name, Version, Betriebssystem, Revisionsdatum, Änderung) angezeigt werden kann.



Bei einem Anlagenprogramm, das Verbindung mit einem Netzrechner läuft, muss ersichtlich sein, welche ausgelagerten Dateien oder Programme noch zugehörig sind.

#### 4.5.4 Dokumentation und Datensicherung

Änderungen an der Prüfstandssoftware sind im Prüfstandshandbuch oder –ordner (siehe Abschnitt 4.5.1) einschließlich der geänderten Versionsbezeichnung einzutragen. Werden die Prüfungsunterlagen gemäß § 52 der MessEV auf elektronischen Datenträgern gespeichert, so sind mindestens die Angaben zu speichern, die aus einem Protokoll für amtliche Prüfungen eines Prüflings hervorgehen müssen. In diesem Fall kann der Protokollausdruck entfallen. Die Maßnahmen zur Organisation und Dokumentation der Speicherung sind der zuständigen Eichbehörde vor der Einrichtung des Systems darzulegen.

#### 4.6 Rückführung und Rückführungsfristen

Die Eignung der verwendeten Prüfmittel muss unter Berücksichtigung von Kapitel 5.6 der GM-AR von der zuständigen Behörde bestätigt worden sein.

Die messtechnische Rückführung von Gebrauchsnormalen ist durch schematische Darstellungen entsprechend Nr. 5.6.5 der GM-AR zu dokumentieren.

Die Überprüfung der Referenzzähler muss in der Prüfeinrichtung am Einbauort, in dem sie verwendet werden, durchgeführt werden.

Die Prüfintervalle sind in Nr. 5.6.7 der GM-AR festgelegt. Davon abweichend gelten nachfolgende Festlegungen:

##### Gebrauchsnormale

Art	Prüfintervalle	Prüfung durch
Waage	1 Jahr *	Kompetente Stellen aufgeführt in Nr. 5.6.4 der GM-AR
Referenzzähler	Entsprechend der TR-K 2**	Prüfstelle

##### Prüfmittel

Art	Prüfintervalle**	Zuständig
Druckmessgeräte	2 Jahre	Kompetente Stellen aufgeführt in Nr. 5.6.4 der GM-AR
Zeitmessgerät	1 Jahr	Kompetente Stellen aufgeführt in Nr. 5.6.4 der GM-AR
Glasthermometer	5 Jahre	Kompetente Stellen aufgeführt in Nr. 5.6.4 der GM-AR
Elektrothermometer	2 Jahre	Kompetente Stellen aufgeführt in Nr. 5.6.4 der GM-AR
Aräometer	10 Jahre	Kompetente Stellen aufgeführt in Nr. 5.6.4 der GM-AR



Elektronische Dichtemessgeräte	2 Jahre	Kompetente Stellen aufgeführt in Nr. 5.6.4 der GM-AR
--------------------------------	---------	--

\* Die zuständige Eichbehörde kann die Nachprüffrist auf 2 Jahre verlängern, wenn durch interne periodische Prüfungen nachgewiesen wird, dass die relative Standardunsicherheit (siehe Abschnitt 4.3.1) eingehalten wird.

\*\* Sofern von der zuständigen Eichbehörde keine abweichenden Regelungen getroffen wurden.

## 5 Referenzbedingungen

Prüfräume müssen so beschaffen sein, dass die ordnungsgemäße Erhaltung der Normale und der sonstigen technischen Einrichtungen sowie der vorgelegten Messgeräte gewährleistet ist, und die Prüfungen, insbesondere auch die Prüfungen der Normale, mit der erforderlichen Zuverlässigkeit durchgeführt werden können.

Messgeräte müssen unter Referenzbedingungen nach den Anforderungen gemäß Nr. 6.2 EN 1434-4 geprüft werden können.

## 6 Messtechnische Qualifizierung von Durchflusssensoren zum Zwecke einer späteren Eichung

### 6.1 Messtechnische Prüfung der Prüflinge

Es ist im Durchflussbereich nachzuweisen, dass die Einflüsse der Pumpen auf den Prüfling kleiner als 1/3 MPE sind.

Es ist mindestens ein Prüfling aus dem Nennweitenbereich einer Baureihe (Zählertyp) eines jeden Herstellers zu prüfen, die auf dem Prüfstand geprüft werden sollen. Umfasst der Nennweitenbereich mehr als drei Nennweiten einer Baureihe (Zählertyp), ist jede vierte Nennweite zu prüfen.

#### 6.1.1 Bestimmung der Wiederholpräzision

Aus den Wiederholungsprüfungen wird die Wiederholstandardabweichung (empirische Standardabweichung der Einzelwerte vom Messwert) bestimmt. Die maximale zulässige Wiederholstandardabweichung ( $\sigma_{PRzulässig}$ ) darf 1/5 MPE nicht überschreiten. Hierbei darf kein Messwert die MPE überschreiten.

Wenn diese überschritten wird, dann ergibt sich ein reduzierter MPE ( $MPE_{\text{reduziert}}$ ) wie folgt.

$$MPE_{\text{reduziert}} = MPE - 2 \cdot (\sigma_{PR} - \sigma_{PRzulässig})$$

(für  $k=2$ )

mit  $MPE_{\text{reduziert}} \leq MPE$

Es sind mindestens 10 aufeinanderfolgende Wiederholmessungen pro Prüfpunkt erforderlich. Ein Prüfpunkt ergibt sich aus:  $q_p$ ,  $0,1 q_p$  und  $q_i$  und den zugrundeliegenden Genauigkeitsklassen.



Die Wiederholungsprüfung erfolgt mit dem gleichen Prüfablauf wie bei der späteren Prüfung. Die Prüflinge werden zwischen den Messungen nicht ausgespannt. Es werden alle Messwerte zur Auswertung herangezogen. Bei offensichtlichen Messabweichungen muss die gesamte Wiederholungsprüfung wiederholt werden. Die offensichtlichen Messabweichungen müssen als solche mit der zuständigen Eichbehörde bewertet werden. Es müssen mindestens 10 Wiederholmessungen durchgeführt werden.

Die bei dieser Qualifizierung verwendete Prüfzeit ist mindestens bei den Eichungen anzuwenden.

Vor der Prüfung sind die Prüflinge zusammen mit der Messstrecke ggf. mit einer Evakuier-einrichtung zu entlüften.

Heißwasserzähler und Durchflusssensoren für thermische Energie, die nach gleichem Messprinzip arbeiten, können in Reihenschaltung geprüft werden. Dabei muss der Druck am Ende der Reihe so groß sein, dass keine Kavitation eintreten kann.

Die Reihenprüfung ist nur dann zulässig, wenn durch Vergleichsmessungen nachgewiesen wird, dass auf den verschiedenen Prüfplätzen die Mittelwerte der Messergebnisse durch gegenseitige Beeinflussung 2/5 MPE nicht überschreiten. Hierbei darf kein Messwert diese Grenze überschreiten.

## 6.1.2 Richtigkeitsprüfung

Die Richtigkeitsprüfung ist nach Abschnitt 7.2.2 zu bestimmen. Die Durchflüsse sind entsprechend des auf dem Prüfling angegebenen  $q_p/q_i$  bzw. metrologischen Klasse nach Abschnitt 7.2.3 festzulegen (siehe Anhang 9.2).

### 6.1.2.1 Volumendurchflüsse

Die Prüfungen sind bei folgenden Durchflüssen vorzunehmen:

$$\text{bei } 0,9 q_p \leq q \leq q_p$$

$$0,1 q_p \leq q \leq 0,11 q_p$$

$$q_i \leq q \leq 1,1 q_i$$

bzw.

$$\text{bei } 0,9 Q_n < Q < Q_n$$

$$Q_t < Q < 1,1 Q_t$$

$$Q_{\min} < Q \leq 1,1 Q_{\min}$$

### 6.1.2.2 Mindestprüfvolumen

Bei Festlegung des Mindestprüfvolumens zur Prüfung von Prüflingen sind die Bedingungen nach Abschnitt 6.2.2 und die vom Hersteller vorgegebene Mindestprüfmenge einzuhalten. Außerdem muss bei der Prüfung gegen Waage die Mindestprüflast der Waage in Abhängigkeit zur Fehlergrenze des Prüflings erreicht werden.

Der Grenzwert der relativen Standardunsicherheit des Wägewertes beträgt das 0,05fache der Fehlergrenze des Prüflings. Dieser gilt als eingehalten, wenn die Summe aus Prüffehlergrenze und relativer Ableseunsicherheit im gesamten Wägebereich nicht größer als das 0,05fache der Fehlergrenze des Prüflings ist. Dabei ist die Prüffehlergrenze auf den



jeweiligen Messwert zu beziehen. Die Ableseunsicherheit ist bei Digitalanzeigen deren Rundungsfehler und wird mit  $0,5 d$  angenommen. Die Ableseunsicherheit bei Analoganzeigen wird mit einem halben Skalenwert angenommen.

Beispiel:

Anhang 9.1 Berechnung zum Mindestprüfvolumen bei der Erfassung des Prüfvolumens durch die Zähleranzeige.

Anhang 9.7.2 Berechnung zur Mindestprüflast der Waage

## 6.2 Messunsicherheiten

### 6.2.1 Allgemeines

Soweit nicht näher bezeichnet wird hier als "relative Messunsicherheit" die relative erweiterte Messunsicherheit  $U$  mit dem Erweiterungsfaktor  $k = 2$  verstanden. Der Zusammenhang zwischen dieser und der relativen Standardunsicherheit  $u$  ist durch die Beziehung  $U = k \cdot u$  gegeben.

Für die Bestimmung der Standardunsicherheit gelten die Empfehlungen des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“. Maßgeblich für die Eichung von Heißwasserzählern und Durchflusssensoren von Wärmezählern ist, dass der vorgeschriebene Grenzwert für die erweiterte Standardunsicherheit des abgegebenen Volumens nicht überschritten wird.

Die Messunsicherheit ist mindestens an den Durchflusspunkten ( $q_{\min}$  und  $q_{\max}$ ) des Prüfstands bei Prüfung gegen jede Waage anzugeben. Im Falle der Prüfung gegen Referenzzähler ist die Messunsicherheit an den Durchflusspunkten ( $q_{\min}$  und  $q_{\max}$ ) des jeweiligen Referenzzählers anzugeben.

Allgemein gilt für die Bestimmung der Messabweichung des Prüflings gegen eine höherwertige Referenz:

$$MA_{Pr} = V_{\text{ist}} - V_{\text{soll}}$$

Die relative Messabweichung ergibt sich zu

$$MA_{Pr,rel} = \left( \frac{V_{\text{ist}}}{V_{\text{soll}}} - 1 \right) \cdot 100$$

Die Messgrößen Istvolumen ( $V_{\text{ist}}$ ) und Sollvolumen ( $V_{\text{soll}}$ ) sind messunsicherheitsbehaftet.

### 6.2.2 Messabweichungen

Die kombinierte relative Standardunsicherheit der Messabweichungen des Prüflings  $u_{MA,Pr}$  setzt sich zusammen aus der relativen kombinierten Standardunsicherheit des Sollvolumens und der relativen kombinierten Standardunsicherheit des Istvolumens.

$$u_{\text{MA.Pr}} = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot u_{V.\text{ist}}^2 + \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot u_{V.\text{soll}}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_i}{\partial x_i}\right]^2 \cdot u_{x_i}^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \sum_{i=1}^n u_{y_i}^2}$$

mit:

$\left[\frac{\partial V_i}{\partial x_i}\right]^2$  : Empfindlichkeitsfaktor der i-ten Eingangsgröße  
 $u_{x_i}^2$  : Varianz der i-ten Eingangsgröße  
 $u_{y_i}^2$  : Varianz der i-ten Ausgangsgröße  
 $n$  : Anzahl der Budgetanteile

### 6.2.3 Sollvolumen

Die geforderte ausreichende Messsicherheit der Prüfstände ist gegeben, wenn die relative erweiterte Messunsicherheit des Sollvolumens unter Berücksichtigung der verschiedenen durch den Prüfstand bedingten Einflüsse bei der Messung das 0,2fache der Fehlergrenze nicht übersteigt. Das bedeutet, die relative kombinierte Standardunsicherheit des Sollvolumens darf nicht größer als das 0,1fache der Fehlergrenze sein.

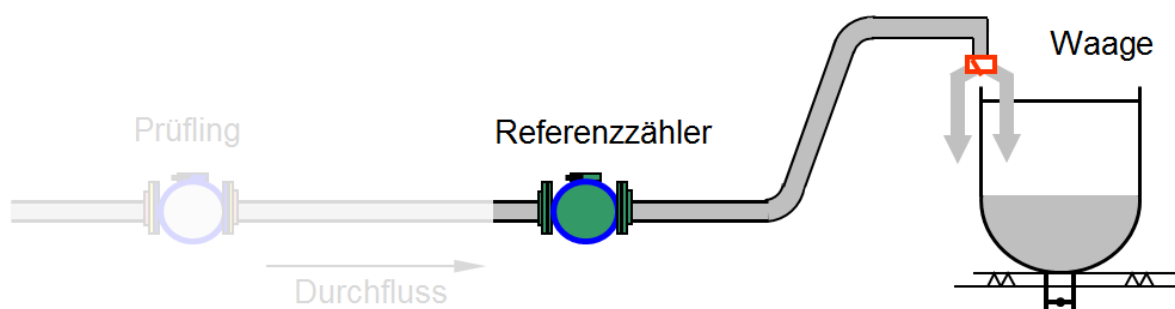
Wird die relative erweiterte Messunsicherheit vom 0,2fachen der Fehlergrenze überschritten, wird die Fehlergrenze um den Betrag der Überschreitung eingengt.

### 6.2.4 Istvolumen

Die relative Standardunsicherheit ergibt sich bei analogen und digitalen Anzeigen als Halbbreite der Ablesung der Volumenauflösung, siehe Abschnitt 9.1.

## 6.2.5 Eingangsgrößen Kalibrierung eines Referenzzählers oder Prüflings gegen Waage

### 6.2.5.1 Allgemeines



Bei der Kalibrierung eines Referenzzählers gegen Waage stellt der Referenzzähler den Istwert  $V_{\text{ist}}$  ist dar und die Volumenerfassung mittels Waage den Sollwert  $V_{\text{soll}}$  soll dar. Die relative



kombinierte Standardunsicherheit des Referenzzählers ergibt sich analog zur Formel aus Abschnitt 6.2.4.

$$u_{\text{MA.Ref}} = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot u_{V.\text{ist}}^2 + \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot u_{V.\text{soll}}^2}$$

### 6.2.5.2 Sollvolumen

Das Sollvolumen ergibt sich zu:

$$V_{\text{soll}} = m_w \cdot K_{\text{LA}} \cdot \frac{1}{(\rho_w - \rho_{\text{LB}})} + \Delta V(x_1 \dots x_n)$$

mit:

$V_{\text{soll}}$  = Sollvolumen der Prüfung [l]

$m_w$  = konventioneller Wägewert [kg]

$\rho_w$  = Dichte des Wassers am Referenzzähler [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_{\text{LB}}$  = Dichte der (feuchten) Luft im Wägebehälter [kg/m<sup>3</sup>] = 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$K_{\text{LA}}$  = Umrechnungsfaktor zur Berechnung der Masse unter Berücksichtigung des Auftriebes = 999,850 l/m<sup>3</sup>

$\Delta V(x_1 \dots x_n)$  = Korrekturvolumina durch weitere Eingangsgrößen

Wobei der Korrekturfaktor  $K_{\text{LA}}$  aus der Vereinbarung für die Bestimmung des konventionellen Wägewertes resultiert und den Auftrieb der Edelstahlnormalgewichte in Umgebungsluft bei 20 °C angibt.

Die relative kombinierte Standardunsicherheit des Sollvolumens  $u_{V.\text{soll}}$  ergibt sich aus den Standardunsicherheiten  $u_{x_i}$  und Sensitivitätskoeffizienten der Eingangsgrößen bei der Erfassung des Volumens mittels Waage  $x_i$  zu:

$$u_{V.\text{soll}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_i}{\partial x_i}\right]^2 \cdot u_{x_i}^2}$$

Im Folgenden werden die Messunsicherheitsbudgetanteile exemplarisch für eine gravimetrische Messanlage (mit Wägesystem und Umschalteinrichtung) beschrieben.



### 6.2.5.3 Waage

#### 6.2.5.3.1 Wägewert

Die relative Standardunsicherheit der Waage ergibt sich zu

$$u_{\Delta V, mW} = \frac{1}{V_{\text{soll}}} \frac{1}{\sqrt{3}} (FG_{\text{prüf}} + FG_{\text{Anz}})$$

$FG_{\text{prüf}}$  = Prüffehlergrenze

$FG_{\text{Anz}}$  = Auflösung der Anzeige der Waage

Siehe auch Abschnitt 4.3.1.

#### 6.2.5.3.2 Auftrieb

Durch den Einfluss der Luftdichte entsteht ein Auftrieb bei der gravimetrischen Messung. Der Einfluss der Luftdichte auf das Sollvolumen aus der Wägung wird (beim statischen Wägeverfahren ohne Einfluss durch ein Tauchrohr) durch folgende Prozessgleichung beschrieben (s. auch Ziffer 6.2.5.2):

$$V_W = m_W \cdot K_{LA} \cdot \frac{1}{\rho_W - \rho_{LB}}$$

mit:

$V_W$ : Sollvolumen des Wassers aus der Wägung

$m_W$ : konventioneller Wägewert (Ablesewert der Waage)

$K_{LA}$ : Umrechnungsfaktor zur Berechnung der Masse unter Berücksichtigung des Auftriebes = 999,850 l/m<sup>3</sup>

$\rho_{LB}$ : Dichte der (feuchten) Luft ca. 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$\rho_W$ : die Dichte des Wassers am Prüfling ca. 1.000 kg/m<sup>3</sup>, siehe Abschnitt 6.2.5.3.6

Es wird eine rechteckverteilte Luftdruckänderung (Eingangsgröße) mit der Halbbreite  $\Delta\rho_L$  unterstellt. Bei einer Luftdruckänderung von  $\pm 100$  mbar beträgt die Änderung der Luftdichte  $\Delta\rho_L$  ca.  $\pm 0,1$  kg/m<sup>3</sup>. Das Korrekturvolumen für die Prozessgleichung ist  $\Delta V_{\rho, LB}$  und die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße:

$$u_{\Delta V, \rho_{LB}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot m_W \cdot K_{LA} \cdot \left[ \frac{1}{\rho_W - (\rho_{LB} + \Delta\rho_L)} - \frac{1}{\rho_W - \rho_{LB}} \right] \cdot \frac{1}{V_{\text{soll}}} \\ \approx 5,8 \cdot 10^{-5}$$

#### 6.2.5.3.3 Verdunstung, Innere

An einer freien Wasseroberfläche können Wassermoleküle, als Träger kinetischer Energie, die Bindungskräfte des Wassers überwinden, damit die Wasseroberfläche verlassen und in das darüber befindliche Luftvolumen eingehen, also verdunsten. Die Verdunstungsrate hängt in erster Linie von der Temperatur im Inneren des Wägebehälters ab. Es entsteht ein Gleichgewichtszustand zwischen Verdunstungsrate und Kondensationsrate (Sättigungskonzentration). Die Sättigungskonzentration nimmt mit steigender Temperatur exponentiell zu. Der Wasserdampf hat für jede Temperatur eine eindeutig bestimmte Sättigungskonzentration.



Das Volumen  $\Delta V_{V,i}$ , hervorgerufen durch die innere Verdunstung, berechnet sich näherungsweise nach folgender Prozessgleichung:

$$\Delta V_{V,i} = \frac{m^*_{v,i}}{10^3} \cdot \Delta\vartheta \cdot V_{B,L}$$

mit:

$\Delta V_{V,i}$ : Inneres Verdunstungsvolumen [l]

$m^*_{v,i}$ : spezifische Verdunstung [kg/(m<sup>3</sup>·K)]

mittlere Behältertemperatur	spezifische Verdunstung
10 °C	0,60 · 10 <sup>-3</sup> [kg/(m <sup>3</sup> ·K)]
20 °C	1,02 · 10 <sup>-3</sup> [kg/(m <sup>3</sup> ·K)]
30 °C	1,64 · 10 <sup>-3</sup> [kg/(m <sup>3</sup> ·K)]
40 °C	2,56 · 10 <sup>-3</sup> [kg/(m <sup>3</sup> ·K)]
50 °C	3,86 · 10 <sup>-3</sup> [kg/(m <sup>3</sup> ·K)]
60 °C	5,63 · 10 <sup>-3</sup> [kg/(m <sup>3</sup> ·K)]
70 °C	8,00 · 10 <sup>-3</sup> [kg/(m <sup>3</sup> ·K)]
80 °C	11,04 · 10 <sup>-3</sup> [kg/(m <sup>3</sup> ·K)]

$\Delta\vartheta$ : Betrag der maximalen Temperaturänderung im Wägebehälter zwischen Beginn und Ende einer Messung [K]

$V_{B,L}$ : verbleibendes Luftvolumen im Behälter nach der Befüllung [l]

Die Temperaturänderung während der Befüllung wird als rechteckverteilt unterstellt. Bei einer mittleren Temperatur im Behälter von z.B. 50 °C ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V,V,i} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left[ 3,86 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\vartheta \cdot \frac{V_{B,L}}{V_{\text{soll}}} \right] \approx 2,23 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\vartheta \cdot \frac{V_{B,L}}{V_{\text{soll}}}$$

Die Temperaturänderung während der Befüllung wird als rechteckverteilt unterstellt. Bei einer mittleren Temperatur im Behälter von z.B. 15 °C ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V,V,i} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left[ 0,80 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\vartheta \cdot \frac{V_{B,L}}{V_{\text{soll}}} \right] \approx 0,462 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\vartheta \cdot \frac{V_{B,L}}{V_{\text{soll}}}$$

#### 6.2.5.3.4 Verdunstung, Äußere

Aufgrund der unterschiedlichen Temperatur- und Luftfeuchteniveaus innerhalb des Wägebehälters und in der Außenatmosphäre findet ein Masseaustausch durch äußere Verdunstung statt. Der dadurch entstehende Feuchtigkeitsverlust wird aus dem (warmen) Wasserreservoir innerhalb des Behälters durch Verdunstung nachgeliefert. Die Verdunstungsrate ist abhängig von der Bauform des Wägebehälters (z.B. Öffnungsquerschnitte; Isolationsgrad der Behälterisolierung), der Temperaturdifferenz zwischen Behälterinnenraum und der Außentemperatur, sowie von der Luftfeuchte im Außenraum.



Zur Erfassung eines (ungünstigen) Verdunstungswertes kann ein Näherungsansatz verwendet werden. Hierzu ist der Wägebehälter bis zum technisch vorgesehenen Maximalwert mit dem Prüfwasser zu füllen und auszuwiegen. Anschließend ist der Masseverlust durch Kontrollwägungen über mehrere Stunden im Stundenabstand zu ermitteln. Hieraus kann ein spezifischer Verdunstungsmittelwert  $V_{V.a}^*$  in  $\text{m}^3/\text{h}$  ermittelt werden. Das Fehlvolumen, hervorgerufen durch die äußere Verdunstung berechnet sich näherungsweise nachfolgender Prozessgleichung:

$$\Delta V_{V.a} = V_{V.a}^* \cdot t_{\text{Prüf}}$$

Der Wert für die äußere Verdunstung während der Befüllung wird als rechteckverteilt unterstellt. Hierdurch ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V.V.a} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \Delta V_{V.a} \cdot \frac{1}{V_{\text{soll}}} = \frac{1}{\sqrt{3}} V_{V.a}^* \cdot t_{\text{Prüf}} \cdot \frac{1}{V_{\text{soll}}}$$

Die Verdunstungstests sind bei den Temperaturen durchzuführen, bei denen der Prüfstand betrieben wird.

#### 6.2.5.3.5 Diverter

Umschaltvorrichtungen für fliegende Start-Stopp-Prüfungen schalten für die Dauer der Füllung des Wägebehälters den Volumenstrom mechanisch vom Kreislaufbetrieb zur Waage. Die bei den beiden Schaltvorgängen (Hinschaltung und Rückschaltung) entstehende systematische Messabweichung  $\Delta t$  ergibt sich aus dem Vergleich eines kontinuierlichen Füllvorgangs („normale“ Behälterfüllung) mit einem Intervall-Füllvorgang, bei dem während einer Behälterfüllung häufiger hin- und rückgeschaltet wird.

Der Volumenstrom  $\dot{V}_{\text{kont}}$  eines kontinuierlichen Füllvorgangs ergibt sich zu:

$$\dot{V}_{\text{kont}} = \frac{M_{\text{kont}}}{\rho_{\text{kont}} \cdot (t_{\text{kont}} + \Delta t)}$$

Der Volumenstrom  $\dot{V}_{\text{int}}$  eines Intervall-Füllvorgangs ergibt sich zu:

$$\dot{V}_{\text{int}} = \frac{M_{\text{int}}}{\rho_{\text{int}} \cdot (t_{\text{int}} + n \cdot \Delta t)}$$

#### *Bestimmung des Zeitfehlers:*

Setzt man diese Gleichungen ins Verhältnis und löst nach  $\Delta t$  auf, so ergibt sich der Zeitfehler  $\Delta t$  wie folgt:



$$\Delta t = \frac{M_{\text{kont}} \cdot t_{\text{int}} - M_{\text{int}} \cdot t_{\text{kont}} \cdot \frac{\dot{V}_{\text{kont}}}{\dot{V}_{\text{int}}}}{M_{\text{int}} \cdot \frac{\dot{V}_{\text{kont}}}{\dot{V}_{\text{int}}} - M_{\text{kont}} \cdot n}$$

mit:

$\Delta t$  = Systematische Messabweichung des Diverters (Zeitfehler) in s

$M_{\text{kont}}$  = Gesamtmasse eines kontinuierlichen Füllvorganges

$M_{\text{int}}$  = Gesamtmasse eines Intervall-Füllvorganges

$t_{\text{kont}}$  = Gesamtzeit eines kontinuierlichen Füllvorganges

$t_{\text{int}}$  = Gesamtzeit eines Intervall-Füllvorganges

$\dot{V}_{\text{kont}}$  = Volumenstrom eines kontinuierlichen Füllvorganges

$\dot{V}_{\text{int}}$  = Volumenstrom eines Intervall-Füllvorganges

$n$  = Anzahl der Umschaltungen

Die Temperatur des Mediums ist während des Prüfvorganges  $\pm 1$  Kelvin konstant (Temperaturänderung) zu halten. Die Messung von kontinuierlichen Füllvorgängen und Intervall-Füllvorgängen sollte zweckmäßigerweise abwechselnd erfolgen. Die Bestimmung des Zeitfehlers erfolgt bei einer Anzahl von einem kontinuierlichen Füllvorgang und mindestens 10 Umschaltungen für den Intervall-Füllvorgang. Die Teilvolumina bei Intervallfüllvorgang ergeben sich aus dem kontinuierlichen Füllvolumen geteilt durch die Anzahl der Umschaltungen. Diese Prozedur ist 10 Mal zu wiederholen. Es sind insgesamt min. 5 Zeitfehler möglichst äquidistant über dem Durchflussbereich zu ermitteln. Der arithmetische Mittelwert dieser Zeitfehler kann als Korrekturfaktor für die Bestimmung des Sollvolumens berücksichtigt werden.

**Bestimmung der Standardunsicherheit des Zeitfehlers:**

Die Messung von kontinuierlichen Füllvorgängen und Intervall-Füllvorgängen sollte zweckmäßigerweise abwechselnd erfolgen. Die Bestimmung der Standardunsicherheit des Zeitfehlers erfolgt bei zehn Umschaltungen für den Intervall-Füllvorgang. Es sind insgesamt zehn Zeitfehler  $\Delta t_i$  zu ermitteln. Die empirische Standardabweichung der Einzelwerte des Zeitfehlers ist die als Standardunsicherheit ( $k=1$ ) des Zeitfehlers zu berücksichtigende Unsicherheit (Unsicherheit der Eingangsgröße):

$$u_{\Delta t} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta t_i - \bar{\Delta t})^2}{9}}$$

Der Empfindlichkeitsfaktor ergibt sich aus der Ableitung der zugehörigen Prozessgleichung

$$\Delta V_{\Delta t} = \frac{Q_{\Delta t} \cdot \Delta t}{2}$$

zu:



$$\frac{\partial V_i}{\partial x_i} = \frac{\partial V_{\Delta t}}{\partial(\Delta t)} = \frac{Q_{\Delta t}}{2}$$

Hierdurch ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, \Delta t} = \frac{1}{V_{\text{soll}}} \cdot \frac{Q_{\Delta t}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta t_i - \bar{\Delta t})^2}{9}}$$

Die Divertiertest sind bei den Temperaturen durchzuführen, bei denen der Prüfstand betrieben wird.

### 6.2.5.3.6 Wasserdichte, Temperatureinfluss

Das zu bestimmende Prüfvolumen ist (beim statischen Wägevorgang ohne Einfluss durch ein Tauchrohr) gem. 6.2.5.3.1 nachfolgender Prozessgleichung zu bestimmen:

$$V_W = m_W \cdot K_{LA} \cdot \frac{1}{\rho_W - \rho_{LB}}$$

mit:

$V_W$ : Sollvolumen des Wassers aus der Wägung

$m_W$ : konventioneller Wägewert (Ablesewert der Waage)

$K_{LA}$ : Umrechnungsfaktor zur Berechnung der Masse unter Berücksichtigung des Auftriebes = 999,850 l/m<sup>3</sup>

$\rho_{LB}$ : Dichte der (feuchten) Luft ca. 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$\rho_W$ : die Dichte des Wassers am Prüfling ca. 1.000 kg/m<sup>3</sup>, siehe Abschnitt 6.2.5.3.6

Wassertemperatur von 41 °C bis 150 °C:

$$\rho_{W, \text{dest}} = \frac{\sum_{n=0}^5 (a_n t_{90}^n)}{1 + b \cdot t_{90}} \quad (\text{nach Bettin Spieweg})$$

mit:

$\rho_{W, \text{dest}}$  Dichte von luftgesättigtem destilliertem Wasser

$t_{90}$  Temperatur des Wassers in °C und  $a_n, b$

Koeffizienten der Gleichung

$a_0$	$9,9983952 \cdot 10^2$	kg/m <sup>3</sup>
$a_1$	$1,6952577 \cdot 10^1$	°C <sup>-1</sup> kg/m <sup>3</sup>
$a_2$	$-7,9905127 \cdot 10^{-3}$	°C <sup>-2</sup> kg/m <sup>3</sup>
$a_3$	$-4,6241757 \cdot 10^{-5}$	°C <sup>-3</sup> kg/m <sup>3</sup>
$a_4$	$1,0584601 \cdot 10^{-7}$	°C <sup>-4</sup> kg/m <sup>3</sup>
$a_5$	$-2,8103006 \cdot 10^{-10}$	°C <sup>-5</sup> kg/m <sup>3</sup>
$b$	$1,6887236 \cdot 10^{-2}$	°C <sup>-1</sup>



Wassertemperatur von 0 °C bis 40 °C:

$$\rho_{W,\text{dest}} = \sum_{n=0}^5 (C_n t_{90}^n)$$

mit:

$\rho_{W,\text{dest}}$  Dichte von luftgesättigten destillierten Wasser in der Waage (ersatzweise am Referenzzähler)

$t_{90}$  Temperatur des Wassers in °C und  $c_n$

Koeffizienten der Gleichung

$C_0$	$9,99839564 \cdot 10^2$	$\text{kg/m}^3$
$C_1$	$6,7998613 \cdot 10^{-2}$	$^{\circ}\text{C}^{-1}\text{kg/m}^3$
$C_2$	$-9,1101468 \cdot 10^{-3}$	$^{\circ}\text{C}^{-2}\text{kg/m}^3$
$C_3$	$1,0058299 \cdot 10^{-4}$	$^{\circ}\text{C}^{-3}\text{kg/m}^3$
$C_4$	$-1,1275659 \cdot 10^{-6}$	$^{\circ}\text{C}^{-4}\text{kg/m}^3$
$C_5$	$6,5985371 \cdot 10^{-9}$	$^{\circ}\text{C}^{-5}\text{kg/m}^3$

Berechnungsformeln und Koeffizienten siehe PTB-Mitteilungen 3/90, Seite 195

Der Wert für die Unsicherheit  $\Delta\vartheta$  bei der Erfassung der Temperatur am Prüfling (MID) während der Befüllung wird als rechteckverteilt unterstellt. Hierdurch ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, \rho W} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot m_W \cdot K_{LA} \cdot \left[ \frac{1}{\rho_{W,\text{dest}} - \rho_L} - \frac{1}{\rho_{W,\text{dest}(\vartheta - \Delta\vartheta)} - \rho_L} \right] \cdot \frac{1}{V_{\text{soll}}}$$

### 6.2.5.3.7 Wasserdichte, Mediumeinfluss

Die Volumenbestimmung mittels Wägung erfolgt a) unter Verwendung der Wasserdichtetabelle nach Abschnitt 6.2.5.3.6 und des Korrekturfaktors  $K_{\rho W}$  oder b) eines rückgeführten Dichtemessgerätes oder c) durch Annahme eines Worst-Case-Falles.

Die Wasserdichte  $\rho_w$  muss in Abhängigkeit von der Temperatur des Wassers  $\vartheta_w$  bestimmt werden. Dies kann zunächst mit Hilfe der Tabelle aus Abschnitt 6.2.5.3.6 oder der Formel für die Dichte  $\rho_{W,\text{dest}}$  des luftgesättigten destillierten Wassers unter Berücksichtigung eines Korrekturfaktors  $K_{\rho W}$  für den Mediumeinfluss erfolgen.

$$\rho_w = \rho_{W,\text{dest}} + K_{\rho W}$$

Die Wassertemperatur  $\vartheta_w$  ist dabei in der Messstrecke vor oder hinter dem Prüfling zu messen.

a) Korrekturfaktorbestimmung mit Hilfe von einer Labordichtemessung

Beim täglichen Messbetrieb bedeuten unterschiedliche Mediumeinflüsse in den Rohrleitungen am Sekundärnormal (MID) und am Prüfling veränderte Dichteverhältnisse. Regelmäßig wiederholt sind deshalb bei laufendem Betrieb Wasserproben vom Installationsort des Sekundärnormals und des Prüflings zu entnehmen und in einem Labor für Dichtemessungen zu kalibrieren. Die Differenz ist als systematische Messabweichung mit zugeordnetem Unsicherheitsbeitrag zu berücksichtigen. Die zeitliche Änderung



(Langzeitstabilität) des Korrekturfaktors auf Grund von Wasserdichteänderungen ist zusätzlich zu berücksichtigen.

b) Dichtebestimmung mit einer Vor-Ort-Dichtemessung

Der Messunsicherheitsanteil ist aus dem Kalibrierschein zu entnehmen und zu berücksichtigen. Die zeitliche Änderung (Langzeitstabilität) der Dichtemessung ist zusätzlich zu berücksichtigen.

c) Korrekturfaktorbestimmung mit Hilfe von einer „Worst-Case“ Abschätzung

Bei aufbereitetem Wasser kann sich die Dichte dabei systematisch gegenüber destilliertem Wasser um bis zu  $0,50 \text{ kg/m}^3$  verändern. Ausgehend von der Gleichung für den Wasserdichteinfluss auf die Volumenermittlung mittels Wägung:

$$V_W = m_W \cdot K_{LA} \cdot \frac{1}{\rho_W - \rho_L}$$

ergibt sich mit

$$\rho_W = \rho_{W.\text{dest}} + K\rho_W = 1,00050 \cdot \rho_{W.\text{dest}}$$

der Unsicherheitsbeitrag für die relative Änderung des Wasservolumens:

$$\begin{aligned} u_{\Delta V.K\rho W} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta V_W}{V_{\text{soll}}} = \frac{m_W \cdot K_{LA}}{\sqrt{3} \cdot V_{\text{soll}}} \cdot \left[ \frac{1}{\rho_{W.\text{dest}} + K\rho_W - \rho_L} - \frac{1}{\rho_{W.\text{dest}} - \rho_L} \right] \\ &= \frac{5,0 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 2,88 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

### 6.2.5.3.8 Zwischenrohr

Der zwischen dem Prüfling und der Abgrenzungsstelle liegende Rohrabschnitt (Zwischenrohr) soll möglichst kurzgehalten werden. Sein Volumen sollte nicht mehr als das Mindestprüfvolumen betragen.

Um Messabweichungen durch Temperaturänderungen während einer Prüfung im Zwischenrohr zu reduzieren, sollte das Rohr thermisch isoliert werden. Die Temperaturdifferenz im jeweiligen Zwischenrohr zu Beginn und am Ende einer Messung muss möglichst gering und während der Prüfung konstant sein.

Das Differenzvolumen des Mediums im Zwischenrohr berechnet sich nachfolgender Prozessgleichung:

$$\Delta V_{ZR} = \Delta\gamma \cdot \Delta\vartheta \cdot V_{ZR}$$

mit:

- $\Delta\gamma$ : Differenz der im betreffenden Temperaturbereich geltenden Volumenausdehnungskoeffizienten des Wassers und des Rohrmaterials
- $\Delta\vartheta$ : Betrag der maximalen Temperaturänderung des Mediums im Zwischenrohr zu Beginn und Ende eine Messung in  $^{\circ}\text{C}$
- $V_{ZR}$ : Volumen des Zwischenrohres
- $\Delta V_{ZR}$ : Differenzvolumen des Mediums im Zwischenrohr



Für rostfreie Stähle als Rohrmaterial und Wasser bei 55 °C ist:

$$\Delta\gamma \approx 4,43 \cdot 10^{-4} \text{°C}^{-1}$$

Die entstehende Temperaturänderung bei 55 °C wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, ZR} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left[ 4,43 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\vartheta \cdot \frac{V_{ZR}}{V_{\text{soll}}} \right] = 2,56 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\vartheta \cdot \frac{V_{ZR}}{V_{\text{soll}}}$$

Für rostfreie Stähle als Rohrmaterial und Wasser bei 20 °C ist:

$$\Delta\gamma \approx 1,61 \cdot 10^{-4} \text{°C}^{-1}$$

Die entstehende Temperaturänderung bei 20 °C wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, ZR} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left[ 1,61 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\vartheta \cdot \frac{V_{ZR}}{V_{\text{soll}}} \right] = 0,93 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\vartheta \cdot \frac{V_{ZR}}{V_{\text{soll}}}$$

#### 6.2.5.3.9 Mitgeführte Luft in der Rohrleitung

Der Einfluss der Messunsicherheit durch Luftblasen in der Rohrleitung entsteht durch mitgeführte Luftblasen im Prüfwasser und versteckte Luftblasen im Rohrsystem. Eine Minimierung dieser Luftblasen in der Rohrleitung erfolgt in der Regel durch Spülen und Evakuieren des Systems.

Mitgeführte Luftblasen in der Rohrleitung werden bei der gravimetrischen Messung vom Referenzzähler als Volumenanteil gemessen, jedoch vom Wägesystem nicht erfasst. Im Schauglas sollten daher während der Messung keine Luftblasen erkennbar sein. Verbleibende Restmengen von mitgeführten Luftblasen im Prüfwasser werden abgeschätzt.

Geht man davon aus, dass eine Luftblase mit einem Durchmesser von < 0,5 mm nicht mehr zu erkennen ist und sich in einem Liter Prüfwasser eine Anzahl von 2.000 Luftblasen befinden, dann gilt:

Volumen des Wassers [m <sup>3</sup> ]	Anzahl der Luftblasen [n]	Durchmesser der Luftblasen [m]	Volumen der Luftblasen [m <sup>3</sup> ]
0,001	2000	0,0005	1,308E-07
Relativer Anteil der Luftblasen im Wasser			1,3E-04

Die entstehende Volumenänderung wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, V_{\text{Luft}}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 7,5 \cdot 10^{-5}$$



### 6.2.5.3.10 Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Temperatureinfluss

Sollten trotz Spülen und Evakuieren des Systems Luftblasen im Rohrleitungssystem verbleiben, so wirken sich Druck- und Temperaturänderungen auf das Luftblasenvolumen aus. Die Änderung des Volumens der Luftblase und des Prüfwassers durch Temperaturänderung während der Prüfung hat hier den größten Einfluss.

Unter der Bedingung, dass sich ein Gas frei ausdehnen kann und der Druck in ihm konstant ist, kann die Berechnung der Volumenänderung in erster Näherung entsprechend der Zustandsgleichung idealer Gase folgendermaßen erfolgen:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Wobei  $p_1 = p_2 = \text{const}$

Mit  $T_1 = 273 \text{ °C} + \vartheta_1$  und  $T_2 = 273 \text{ °C} + \vartheta_2$  folgt daraus:

$$\frac{V_{\text{Luft}(\vartheta_1)}}{273 + \vartheta_1} = \frac{V_{\text{Luft}(\vartheta_2)}}{273 + \vartheta_2} = \frac{(V_{\text{Luft}(\vartheta_1)} + \Delta V_{\text{Luft}(\Delta\vartheta)})}{273 + \vartheta_1 + \Delta\vartheta}$$

mit:

$\vartheta_1$	: Temperatur des Prüfmediums zu Beginn der Prüfung in °C
$\vartheta_2$	: Temperatur des Prüfmediums am Ende der Prüfung in °C
$\Delta\vartheta$	: Temperaturänderung während der Prüfung in °C
$V_{\text{Luft}(\vartheta_1)}$	: Volumen der Luftblase zu Beginn der Prüfung in l
$V_{\text{Luft}(\vartheta_2)}$	: Volumen der Luftblase am Ende der Prüfung in l
$\Delta V_{\text{Luft}(\Delta\vartheta)}$	: Volumenänderung während der Prüfung in l

Die entstehende Volumenänderung der Luftblase  $\Delta V_{\text{Luft}(\Delta\vartheta)}$  wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V_{\text{Luft}(\Delta\vartheta)}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{V_{\text{soll}} \cdot (273 + \vartheta_1)} \cdot V_{\text{Luft}(\vartheta_1)} \cdot \Delta\vartheta$$

### 6.2.5.3.11 Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Druckeinfluss

Sollten trotz Spülen und Evakuieren des Systems Luftblasen im Rohrleitungssystem verbleiben, so wirken sich Druck- und Temperaturänderungen auf das Luftblasenvolumen aus. Unter der Bedingung, dass sich ein Gas frei ausdehnen kann und die Temperatur konstant ist, kann die Berechnung der Volumenänderung in erster Näherung entsprechend der Zustandsgleichung idealer Gase folgendermaßen erfolgen:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

mit:

$p_1$	: Statischer Druck des Prüfmediums zu Beginn der Prüfung in bar
$p_2$	: Statischer Druck des Prüfmediums am Ende der Prüfung in bar
$\Delta p$	: Druckänderung während der Prüfung in bar
$V_{\text{Luft}(p_1)}$	: Volumen der Luftblase zu Beginn der Prüfung in l
$V_{\text{Luft}(p_2)}$	: Volumen der Luftblase am Ende der Prüfung in l



$\Delta V_{\text{Luft}(\Delta p)}$  : Volumenänderung während der Prüfung in l  
 Wobei  $T_1 = T_2 = \text{constant}$

Die entstehende Volumenänderung der Luftblase  $\Delta V_{\text{Luft}(\Delta p)}$  wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, \text{Luft}(\Delta p)} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_1}{V_{\text{soll}}} \cdot \left( \frac{\Delta p}{p_1 + \Delta p} \right)$$

#### 6.2.5.3.12 Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Messung

Luftblasen im Medium können sich an strömungstechnisch ungünstigen Stellen während der Messung sammeln. Anhand der Geometrie der Rohrleitung lässt sich ein mögliches Totvolumen  $V_{\text{LB}}$  abschätzen, in dem sich Luft ablagern kann. Das Volumen der Luftblase  $V_{\text{LB}}$  wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, \text{LB}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_{\text{LB}}}{V_{\text{soll}}}$$

#### 6.2.5.3.13 Abtropfzeit

Die Abtropfzeiten sind immer präzise einzuhalten, um zufällige Messabweichungen für die Folgemessungen zu minimieren. Abhängig von der Größe und Länge der benetzten Fläche des Waagenzulaufes (Diverter zum Auslaufende) bzw. des Waagenauslaufes (Ventil zum Auslaufende) sollten die individuellen Abtropfzeiten so gewählt werden, dass der Einfluss der verbleibenden Tropfen bei geringer Tropfenfrequenz auf die in der Waage befindliche Gesamtmasse vernachlässigbar ist. Empfohlen wird eine minimale Abtropfzeit von 120 Sekunden im Zulauf und 60 Sekunden im Auslauf der Waage.

##### Hinweis

Ein gewöhnlicher Wassertropfen (Dichte  $1 \text{ g/cm}^3$ ) hat eine Masse von 50 mg und ein Volumen von 50  $\mu\text{l}$ . Bei einer Abtropfzeit nach Abschluss der Wägung von z.B. 2 Minuten besteht das dann noch nachtropfende Volumen aus z.B. maximal 20 Tropfen mit einem Gesamtvolumen von:  $20 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ l} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ l}$

Die Prozessgleichung beträgt somit:

$$\Delta V_{\text{Tr}} = n \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ l}$$

mit:

n: Anzahl der Tropfen

Das so entstehende Tropfenvolumen  $\Delta V_{\text{Tr}}$  wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, \text{Tr}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot n \cdot \frac{5 \cdot 10^{-5}}{V_{\text{soll}}}$$

### 6.2.5.3.14 Langzeitstabilität

Eine exemplarische Prüfung soll sicherstellen, dass eine Zählerbauart für die Verwendung als Referenzzähler geeignet und langzeitstabil ist, siehe auch Kapitel 6.2.6.3.3. Langzeitstabilität betrifft den Zeitraum zwischen zwei Kalibrierungen und wird messtechnisch durch die maximale systematische Messabweichung im verwendeten Messbereich dargestellt.

Der Mittelwert der systematischen Messabweichung wird bei mindestens 10 unmittelbar aufeinanderfolgenden Messungen bestimmt.

Hierbei muss die empirische Standardabweichung der Einzelmessung ( $k=1$ )  $\leq 0,1$  % v.M. sein.

$$u_{\Delta V,LS} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \Delta MA_{sys}$$

$\Delta MA_{sys}$  = Differenz der systematischen Messabweichungen zwischen zwei Kalibrierungen

### 6.2.5.3.15 Temperaturstabilität

Um Messabweichungen durch zeitliche Temperaturänderungen zu reduzieren, sollte das Rohr thermisch isoliert werden. Änderungen der Dichte des Mediums auf Grund von Temperaturänderungen während der Messung sind durch eine Dichtekorrektur des Volumens zu berücksichtigen, siehe auch Kapitel 6.2.5.3.6.

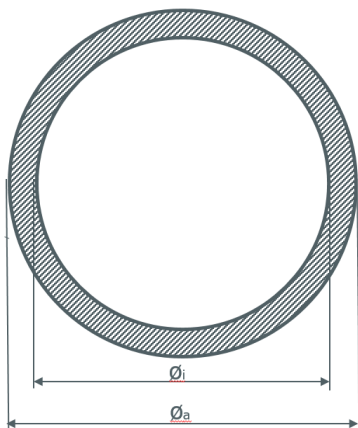
### 6.2.5.3.16 Tauchrohr

Die Tauchrohr-Auftriebskorrektur ist

$$K_{RA} = 1 - \frac{A_{TR}}{A_B}$$

Wenn  $A_{TR}$  und  $A_B$  über die Füllhöhe konstant ist.

$A_{TR}$ : Querschnitt der Tauchrohrwandung  
 $A_B$ : freier Behälterquerschnitt (abzüglich der Fläche eventueller Einbauten aber einschließlich  $A_{TR}$ ).





Ist kein außen befestigtes Tauchrohr vorhanden, beträgt  $K_{RA} = 1$

Das Tauchrohr ist nach Norm in Abmessungen und Geradheit definiert. Eine zusätzliche Unsicherheit kann beim nicht lotrechten Einbau entstehen, der bei kleinen Durchmessern jedoch vernachlässigbar ist.

Die so entstehende Tauchrohr-Auftriebskorrektur  $K_{RA}$  wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{\Delta V, KRA} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (\Delta A_B + \Delta A_{TR})$$

$\Delta A_B$ : Differenz der Behälterquerschnittsfläche  $A_B$  zu  $A_{B\text{ soll}}$

$\Delta A_{TR}$ : Differenz der Rohrquerschnittsfläche  $A_{TR}$  zu  $A_{TR\text{ soll}}$

### 6.2.5.3.17 Kompressibilität von Wasser

In Abhängigkeit vom herrschenden Betriebsdruck in der Rohrleitung ändert sich auf Grund der spezifischen Kompressibilität das Prüfvolumen des Wassers.

Die Unsicherheit der Kompressibilität beschreibt, welche Druckänderung eine Volumenänderung hervorruft, die in die Unsicherheit der Volumendarstellung eingeht.

Nach der internationalen "Industrie-Formulation IAPWS-IF97 der Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf" ergibt sich für den *worst case* bei der Wassertemperatur von 50 °C im Druckbereich zwischen 1 bar und 5 bar wegen der resultierenden Dichteänderung von 988,047 kg/m<sup>3</sup> bis 988,221 kg/m<sup>3</sup> für die relative Unsicherheit der Volumendarstellung durch Kompressibilitätseinfluss  $u_{\Delta V, \text{Kompr}}$ .

$$u_{\Delta V, \text{Kompr}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\rho_{5\text{bar}} - \rho_{1\text{bar}}}{\rho_{1\text{bar}}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 1,76 \cdot 10^{-4}$$

Bei der Wassertemperatur von 15 °C ergibt sich im Druckbereich zwischen 1 bar und 5 bar wegen der resultierenden Dichteänderung von 999,101 kg/m<sup>3</sup> bis 999,288 kg/m<sup>3</sup> für die relative Unsicherheit der Volumendarstellung durch Kompressibilitätseinfluss  $u_{\Delta V, \text{Kompr}}$

$$u_{\Delta V, \text{Kompr}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\rho_{5\text{bar}} - \rho_{1\text{bar}}}{\rho_{1\text{bar}}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 1,87 \cdot 10^{-4}$$

### 6.2.5.4 Istvolumen

Die relative kombinierte Standardunsicherheit des Istvolumens  $u_{V, \text{ist}}$  des Referenzzählers ergibt sich aus den Standardunsicherheiten  $u_{x_i}$  der Eingangsgrößen  $x_i$  bei der Erfassung des Volumens zu:

$$u_{V, \text{ist}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{V} \right]^2 \cdot \left[ \frac{\partial V_i}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u_{x_i}^2}$$



Die Prozessgleichung für die Ermittlung des Istvolumens lautet:

$$V_{\text{ist}} = n \cdot a$$

mit:

$n$  = Impulsanzahl des Prüflings

$a$  = Wertigkeit eines Prüflingsimpulses

Daraus ergibt sich die relative kombinierte Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{V,\text{ist}} = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{ist}}}{\partial n}\right]^2 \cdot u_n^2 + \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{ist}}}{\partial a}\right]^2 \cdot u_a^2}$$

#### 6.2.5.4.1 Impulsanzahl

Für die relative Standardunsicherheit der Impulserfassung wird  $\pm 1/2$  Impuls jeweils zu Beginn und am Ende der Messung als rechteckverteilt angenommen.

$$u_n = \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{ist}}}{\partial n}\right]^2 \cdot u_n^2} = \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \frac{(a/2)^2}{3}}$$

$a$  = Impulswertigkeit eines Prüflingsimpulses

#### 6.2.5.4.2 Impulswertigkeit

Die relative Standardunsicherheit der Volumenwertigkeit eines Impulses ist per Definition null. Hiermit entfällt dieser Messunsicherheitsanteil.

$$u_a = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{ist}}}{\partial a}\right]^2 \cdot u_a^2} = 0$$

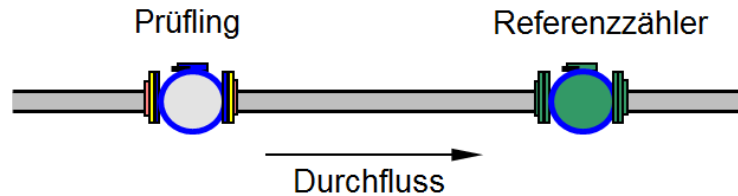
### 6.2.6 Eingangsgrößen Kalibrierung mit einem Referenzzähler

#### 6.2.6.1 Allgemeines

Im Folgenden werden zwei Fälle unterschieden:

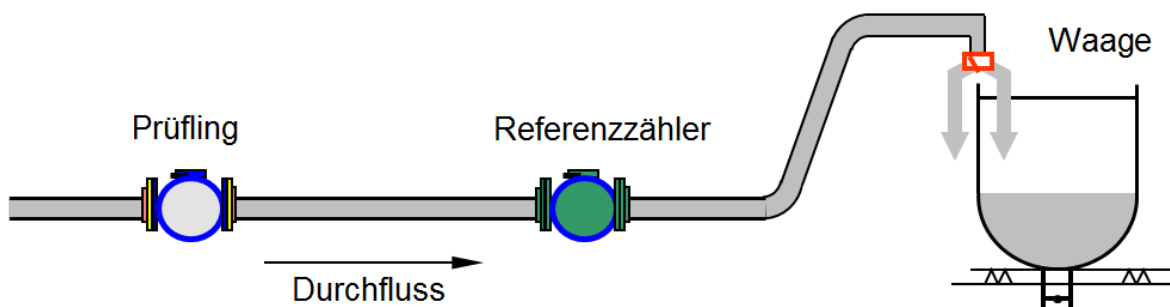


a) Darstellung der Skale Volumenstrom durch einen Referenzzähler ohne Wägesystem



Wird ein Referenzzähler ohne Wägesystem verwendet, so wirken sich die Einlaufbedingungen unmittelbar auf die Messunsicherheit des Referenzzählers aus. Daher sind Vorstörungseinflüsse weitgehend zu vermeiden. Dies erfordert eine freie, ungestörte Einlaufstrecke in der Nennweite der Einlaufseite des Referenzzählers von mindestens 25 D sowie 10 D auf der Auslaufseite. Diese Ein- und Auslaufstrecken sind auch bei der Kalibrierung auf einem externen Kalibrierstand einzuhalten.

b) Darstellung der Skale Volumenstrom durch einen Referenzzähler mit Wägesystem



Wird ein Referenzzähler als Gebrauchsnorm bei einem Prüfstand mit Wägesystem verwendet, so wirken sich die Einlaufbedingungen zwar auf die Messunsicherheit des Referenzzählers aus, können aber mit Hilfe des Wägesystems ermittelt werden, wobei die systematische Messabweichung korrigiert werden kann. Eine Mindesteinlaufstrecke von 10 D und Auslaufstrecke von 5 D wird empfohlen.

Qualifizierung des Referenzzählers für systematische Messabweichung und zufällige Messabweichung:

Die systematische Messabweichung (Fehlerkurve) des Referenzzählers ist mindestens für folgende neun Durchflusspunkte  $q$  zu bestimmen:

$$K = \sqrt[8]{\frac{q_s}{q_i}} \quad q_{n+1} = \frac{q_n}{K}$$

mit:

$$q_1 = q_s \text{ und } q_s \geq q_n \geq q_i$$

Anforderungen an die Linearität

Die Differenz der systematischen Messabweichungen von  $q_n$  und  $q_{n+1}$  darf nicht mehr als  $\pm 0,1 \%$  v.M. betragen.



### 6.2.6.2 Sollvolumen

Bei der Kalibrierung eines Prüflings gegen Referenzzähler stellt der Referenzzähler den Sollwert  $V_{\text{soll}}$  und der Prüfling den Istwert  $V_{\text{ist}}$  dar.

Die relative kombinierte Standardunsicherheit des Sollvolumens  $u_{V,\text{soll}}$  ergibt sich aus den Standardunsicherheiten  $u_{x_i}$  der Eingangsgrößen  $x_i$  bei der Erfassung des Volumens zu:

$$u_{V,\text{soll}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_i}{\partial x_i}\right]^2 \cdot u_{x_i}^2}$$

### 6.2.6.3 Referenzzähler

#### 6.2.6.3.1 Impulsanzahl

Die Prozessgleichung für die Ermittlung des Sollvolumens lautet.

$$V_{\text{soll}} = n \cdot a \frac{\rho_{\text{Ref}}}{\rho_{\text{MUT}}} + \Delta V(x_1 \dots x_n)$$

$n$  = Impulsanzahl des Referenzzählers

$a$  = Wertigkeit eines Referenzzählerimpulses

$\rho_W$  = Dichte des Wassers am Referenzzähler in  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{\text{MUT}}$  = Dichte des Wassers am Prüfling in  $\text{kg/m}^3$

$\Delta V(x_1 \dots x_n)$  = Korrekturvolumina durch weitere Eingangsgrößen

Eine Korrektur der Fehlerkurve der Referenzzähler in der Software wird hierbei vorausgesetzt. Daraus ergibt sich die relative kombinierte Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{V,\text{soll}} = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{soll}}}{\partial n}\right]^2 \cdot u_n^2 + \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{soll}}}{\partial a}\right]^2 \cdot u_a^2}$$

Für die relative Standardunsicherheit der Impulserfassung wird  $\pm 1/2$  Impuls jeweils zu Beginn und am Ende der Messung als rechteckverteilt angenommen.

$$u_n = \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{soll}}}{\partial n}\right]^2 \cdot u_n^2} = \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \frac{(a/2)^2}{3}}$$

#### 6.2.6.3.2 Impulswertigkeit

Die relative Standardunsicherheit der Volumenwertigkeit eines Impulses ist per Definition null. Hiermit entfällt dieser Messunsicherheitsanteil.



$$u_a = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{soll}}}{\partial a}\right]^2} \cdot u_a^2 = 0$$

### 6.2.6.3.3 Langzeitstabilität

Für die Prüfung des Vergleichszählers muss ein eichamtlich geprüftes Normal höherer Ordnung (z.B. Messgefäß, Zähler oder Waage) zur Verfügung stehen.

Der Unsicherheitsbeitrag ergibt sich analog 6.2.5.3.11 zu:

$$u_{\Delta v.LS} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \Delta MA_{\text{sys}}$$

$\Delta MA_{\text{sys}}$  = Differenz der systematischen Messabweichung zwischen zwei Kalibrierungen

### 6.2.6.3.4 Wiederholpräzision

Die Referenzähler müssen bei mindestens 20 unmittelbar aufeinanderfolgenden Messungen auf einem Prüfstand mit einem Normal höherer Ordnung eine Wiederholstandardabweichung der Einzelwerte von  $\leq 0,1 \%$  ( $k=1$ ) gewährleisten.

Die Angabe der maximal zulässigen Wiederholpräzision  $\sigma_{\text{Ref.max}}$  eines Referenzzählers erfolgt quantitativ durch die Berechnung der Wiederholstandardabweichung.

$$\sigma_{\text{Ref.max}} = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}\right]}$$

### 6.2.6.3.5 Kalibrierung

Im Rahmen der Kalibrierung des Referenzzählers auf einem Prüfstand höherer Ordnung werden systematische und zufällige Messabweichung bei den o.a. Messpunkten bestimmt. Sofern die systematische Messabweichung als Korrektur berücksichtigt wird (softwareseitig), ist nur die zufällige Messabweichung zu berücksichtigen. Anderenfalls ist die systematische Messabweichung ebenfalls zu berücksichtigen.

$$u_{\Delta v.Kalib} = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{soll}}}{\partial_{\text{Kalib}}}\right]^2} \cdot u_{\Delta v.Kalib}^2$$

### 6.2.6.3.6 Wasserdichte, Temperatureinfluss am Prüfling

Während der Prüfung findet eine Temperaturänderung zwischen Prüfling und Referenzähler statt. Die dadurch entstehende Dichteänderung kann durch die Prüfstandssoftware korrigiert werden. Die Berechnung der Dichte kann analog Abschnitt 6.2.5.3.6 (nach Bettin Spieweg) erfolgen. Der Einfluss der Messunsicherheit der Temperaturmessung auf die Dichteänderung ergibt sich zu:



$$\frac{V_{\vartheta_1} - V_{\vartheta_2}}{V_{\vartheta_1}} = \frac{\rho_{\vartheta_2} - \rho_{\vartheta_1}}{\rho_{\vartheta_2}}$$

mit:

$\rho_{\vartheta_2} - \rho_{\vartheta_1}$ : Dichtedifferenz aufgrund der Halbbreite der Messunsicherheit der Temperaturmessung am Prüfling

$\rho_{\vartheta_1} - \rho_{\vartheta_2}$  ist bei maximaler Wassertemperaturänderung zu berechnen. Es wird eine Rechteckverteilung bei der Erfassung der Temperatur unterstellt.

Die relative Standardunsicherheit des Sollvolumens der Volumenänderung aufgrund der Dichteänderung berechnet sich somit aus:

$$u_{\Delta V, \rho WPr} = \sqrt{\frac{\left[ \frac{\rho_{\vartheta_2} - \rho_{\vartheta_1}}{\rho_{\vartheta_2}} \right]^2}{3}}$$

#### 6.2.6.3.7 Wasserdichte, Temperatureinfluss am Referenzzähler

Der Einfluss der Messunsicherheit der Temperaturmessung auf die Dichtebestimmung ergibt sich analog Abschnitt 6.2.6.3.6 zu:

$$\frac{V_{\vartheta_1} - V_{\vartheta_2}}{V_{\vartheta_1}} = \frac{\rho_{\vartheta_2} - \rho_{\vartheta_1}}{\rho_{\vartheta_2}}$$

mit:

$\rho_{\vartheta_2} - \rho_{\vartheta_1}$ : Dichtedifferenz aufgrund der Halbbreite der Messunsicherheit der Temperaturmessung am Referenzzähler ist bei maximaler Wassertemperaturänderung zu berechnen. Es wird eine Rechteckverteilung bei der Erfassung der Temperatur unterstellt.

Die relative Standardunsicherheit des Sollvolumens der Volumenänderung aufgrund der Dichtebestimmung berechnet sich somit aus:

$$u_{\Delta V, \rho WRef} = \sqrt{\frac{\left[ \frac{\rho_{\vartheta_2} - \rho_{\vartheta_1}}{\rho_{\vartheta_2}} \right]^2}{3}}$$

#### 6.2.6.3.8 Zwischenrohr

Siehe Kapitel 6.2.5.3.8

#### 6.2.6.3.9 Mitgeführte Luft in der Rohrleitung

Siehe Kapitel 6.2.5.3.9



#### 6.2.6.3.10 Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Temperatureinfluss

Siehe Kapitel 6.2.5.3.10

#### 6.2.6.3.11 Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Druckeinfluss

Siehe Kapitel 6.2.5.3.11

#### 6.2.6.3.12 Verbleibende Luft in der Rohrleitung - Messung

Siehe Kapitel 6.2.5.3.12

#### 6.2.6.3.13 Kompressibilität des Wassers

Siehe Abschnitt 6.2.5.3.14

### 6.2.6.4 Istvolumen

#### 6.2.6.4.1 Allgemeines

Die relative kombinierte Standardunsicherheit des Istvolumens  $u_{V,\text{ist}}$  ergibt sich aus den Standardunsicherheiten  $u_{x_i}$  der Eingangsgrößen  $x_i$  bei der Erfassung des Volumens zu:

$$u_{V,\text{ist}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_i}{\partial x_i}\right]^2 \cdot u_{x_i}^2}$$

Die Prozessgleichung für die Ermittlung des Istvolumens lautet:

$$V_{\text{ist}} = n \cdot a$$

mit:

$n$  : Impulsanzahl des Prüflings

$a$  : Wertigkeit eines Prüflingsimpulses

Daraus ergibt sich die relative kombinierte Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{V,\text{ist}} = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{ist}}}{\partial n}\right]^2 \cdot u_n^2 + \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{ist}}}{\partial a}\right]^2 \cdot u_a^2}$$

#### 6.2.6.4.2 Impulsanzahl

Für eine nicht getriggerte Impulserfassung der Prüflingsimpulse wird die relative Standardunsicherheit der Impulserfassung mit  $\pm 1/2$  Impuls jeweils zu Beginn und am Ende der Messung als rechteckverteilt angenommen.



$$u_n = \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{ist}}}{\partial n}\right]^2 \cdot u_n^2} = \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \frac{(a/2)^2}{3}}$$

Bei einer getriggerten Impulserfassung wird die relative Standardunsicherheit  $u_{V_{\text{ist},n}}$  zu Null gesetzt.

#### 6.2.6.4.3 Impulswertigkeit

Die relative Standardunsicherheit der Volumenwertigkeit eines Impulses ist per Definition null. Hiermit entfällt dieser Messunsicherheitsanteil.

$$u_a = \sqrt{\left[\frac{1}{V}\right]^2 \cdot \left[\frac{\partial V_{\text{ist}}}{\partial a}\right]^2 \cdot u_a^2} = 0$$

## 7 Eichung

### 7.1 Allgemeines

Es können nur Messgeräte geeicht werden,

- Wärmehähler: die nach Richtlinie 2014/32/EU bzw. 2004/22/EG oder nach EO 22 (Fassung vom 11.02.2007)
- Kältezähler: die gemäß REA Nr. 7.4 oder nach der Eichordnung (EO-AV) in der Fassung der 4. Verordnung, Anlage 22 zur EO, Abschnitt 2, Kältezähler mit den deutschen Zulassungszeichen nach TR-K 16

in Verkehr gebracht wurden.

Die Eichung besteht aus der eichtechnischen Prüfung und dem Aufbringen der Eichkennzeichen auf dem Messgerät (§ 36 MessEV).

Die eichtechnische Prüfung besteht aus der formalen und der messtechnischen Prüfung des Messgeräts und der Bewertung der Prüfergebnisse. Sie kann in einem Vorgang erfolgen oder aus einer oder mehreren Vorprüfungen und einer Schlussprüfung bestehen (§ 37 Abs. 1 MessEV).

Gebrauchte Messgeräte für thermische Energie müssen vor der Eichung wegen der Ablagerungen aus dem durchgeflossenen Wasser grundsätzlich hergerichtet, gereinigt und bei Bedarf repariert werden. Die Instandsetzungsrichtlinie aus dem AGFW-Regelwerk, Arbeitsblatt FW 201 ist zu beachten.



## 7.2 Beschaffenheitsprüfung (formale Prüfung)

Durch die äußere und innere Beschaffenheitsprüfung soll festgestellt werden, ob der Wärmehähler den eichrechtlichen Vorschriften, insbesondere den Vorgaben der entsprechenden Zertifikate und deren Ergänzungen entspricht (§ 37 Abs. 4 MessEG).

### 7.2.1 Äußere Beschaffenheitsprüfung

Diese wird vor der messtechnischen Prüfung durchgeführt.

Folgendes ist insbesondere zu überprüfen:

- Entsprechen die konstruktiven Merkmale des Prüflings den Zertifikaten?
- Sind alle relevanten Aufschriften auf dem Typschild und die eichrechtlich relevanten Kennzeichen vorhanden, z. B.:
  - Zeichen oder Name des Herstellers
  - Genauigkeitsklasse
  - Nummer des Zertifikats
  - Nennbetriebsbedingungen
- Anzeige/Display und Tasten funktionieren fehlerfrei?
- Ist der Prüfling äußerlich unbeschädigt?

### 7.2.2 Kontrolle der metrologisch relevanten Soft/Firmware bei elektronischen Zählern

Überprüfung, ob die eichrechtlich relevante Soft-/Firmware mit den Angaben der Zertifikate übereinstimmt, z. B. Überprüfung der Checksumme.

### 7.2.3 Innere Beschaffenheitsprüfung

Voraussetzung für die Prüfung der inneren Beschaffenheit bei der Eichung ist, dass eine Öffnung des Durchflusssensors technisch möglich und sinnvoll ist. Der Prüfling darf bei der Öffnung nicht beschädigt werden. Hinweise des Herstellers sind zu beachten.

Nach Abschluss der Prüfung ist er wieder sachgerecht zu verschließen.

Die innere Beschaffenheitsprüfung ohne Beschädigung wird vor den messtechnischen und funktionellen Prüfungen durchgeführt.

Für die innere Beschaffenheitsprüfung wird das Messgerät geöffnet und das Geräteinnere visuell u. a. auf folgende Punkte geprüft:

- Veränderungen, Beschädigungen (signifikante Verfärbungen von Bauteilen usw.)
- vorhandene Ablagerungen auf Sensoren, im Messbecher
- Verschleiß
- Fremdkörper
- Manipulationsspuren

Bei festgestellten Mängeln ist das Messgerät zurückzuweisen.



## 7.3 Messtechnische Prüfung bei der Durchführung der eichtechnischen Prüfung

### 7.3.1 Allgemeines

Vor Beginn der messtechnischen Prüfungen ist die Dichtheit der Absperrarmaturen in etwaigen Zweigleitungen hinter den Prüflingen zu kontrollieren, die zum Wägebehälter führende Leitung bis zur Abgrenzungsstelle (z.B. Überlaufkante) zu füllen.

Die Wägebehälter sind vor der Prüfung zu benetzen. Vor der Prüfung sind die Prüflinge zusammen mit der Messstrecke ggf. mit einer Evakuierereinrichtung zu entlüften.

Messgeräte gleicher Bauart und Größe, die nach dem gleichen Messprinzip arbeiten, können in Reihenschaltung geprüft werden. Dabei muss der Druck am Ende der Reihe so groß sein, dass keine Kavitation eintreten kann.

Die Reihenschaltung ist nur dann zulässig, wenn durch Vergleichsmessungen nachgewiesen wird, dass die Messergebnisse durch gegenseitige Beeinflussung nicht verfälscht werden.

Die messtechnische Prüfung beinhaltet die Ermittlung der Messabweichung an vorgegebenen Durchflüssen des Messbereiches unter Anwendung geeigneter Prüfverfahren mit anschließender Bewertung, ob die Fehlergrenze ( $E_f$ ) eines Messgerätes eingehalten wird.

Die Prüfung des Durchflusssensors von Wärmezählern ist mit Warmwasser ( $50 \pm 5$ ) °C durchzuführen. Nur sofern in den Zertifikaten (nationaler Zulassungsschein bzw. Dokumente der EG-Baumuster- oder Entwurfsprüfbescheinigung) gestattet, darf die Eichung auch mit Kaltwasser der Temperatur zwischen 15 °C bis 30 °C<sup>1</sup> unter den Fehlergrenzen der Genauigkeitsklasse 2 durchgeführt werden. Abweichungen können im Zertifikat aufgeführt sein.

### 7.3.2 Richtigkeitsprüfung

Bei der Richtigkeitsprüfung ist die relative Messabweichung nach folgender Gleichung zu bestimmen:

$$MA_{Pr.rel} = \left( \frac{V_{ist}}{V_{soll}} - 1 \right) \cdot 100$$

Die Durchflüsse sind entsprechend der Zählergröße und des auf dem Zähler angegebenen Durchflussverhältnisses  $q_p/q_i$  bzw. metrologischen Klasse nach Anhang 9.2 festzulegen.

Bei Messgeräten für thermische Energie wie z.B.

- nach Richtlinie 2004/22/EG oder 2014/32/EU oder mit innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.56 bzw. Z 22.52 (Wärmezähler),
- mit innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.76 bzw. Z 22.72 (Kältezähler)

gilt jeweils folgende Fehlergrenze:

Genauigkeitsklasse 2:  $E_f = \pm (2 + 0,02 q_p / q)$ , begrenzt auf  $\pm 5$  %  
Genauigkeitsklasse 3:  $E_f = \pm (3 + 0,05 q_p / q)$ , begrenzt auf  $\pm 5$  %

<sup>1</sup> gem. TR-K 7.1



Für Wärmezähler mit dem innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.16 bzw. Z 22.12 mit Inverkehrbringung ab dem 13.02.2007 gilt folgende Fehlergrenze:

$$E_f = \pm (3 + 0,05 q_p / q), \text{ begrenzt auf } \pm 5 \%$$

Für Wärmezähler mit dem innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.16 bzw. Z 22.12 mit Inverkehrbringung bis einschließlich 12.02.2007 gilt folgende Fehlergrenze:

$$E_f = \pm 5 \% \text{ im unteren Belastungsbereich } Q_{\min} \leq Q < Q_t,$$

$$E_f = \pm 3 \% \text{ im oberen Belastungsbereich } Q_t \leq Q \leq Q_n$$

Abweichungen zu den oben angeführten Fehlergrenzen können im jeweils gültigen Zertifikat festgelegt sein.

Sofern die zeitliche Abgrenzung bei Messgeräten Wärmezählern mit dem innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.16 bzw. Z 22.12 im Jahr 2007 nicht exakt bestimmbar ist, gilt die Inverkehrbringung ab dem 13.02.2007.

Die Messgeräte dürfen die Fehlergrenze nicht ausnutzen oder systematisch eine Seite bevorzugen. Jeder einzelne Zähler mit elektronischen Justiermöglichkeiten für dessen Fehlerkurve, bei dem die Messabweichungen mit dem gleichen Vorzeichen (+/-) über den gesamten Messbereich versehen sind, darf nur dann die Untersuchung für die Eichung bestehen, wenn keiner der Messabweichungen die Hälfte der Fehlergrenze überschreitet. Mechanische Zähler (z. B. Woltman-Zähler, Turbinenzähler) ohne elektronische Einstellmöglichkeiten müssen so nahe wie möglich an den richtigen Wert (Referenzwert) justiert sein.

### 7.3.3 Prüfdurchflüsse

Die messtechnischen Prüfungen sind mindestens bei folgenden Durchflüssen siehe auch Anhang 9.2) vorzunehmen:

Bei Messgeräten für thermische Energie nach Richtlinie 2014/32/EU oder 2004/22/EG sowie mit innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.56 bzw. Z 22.52 (Wärmezähler) oder Z 22.76 bzw. Z 22.72 (Kältezähler) gilt:

$$\begin{array}{lll} \text{bei } 0,9 q_p & \leq q \leq & q_p \\ 0,1 q_p & \leq q \leq 0,11 & q_p \\ q_i & \leq q \leq 1,1 & q_i \end{array}$$

Für Wärmezähler mit dem innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.16 bzw. Z 22.12 mit Inverkehrbringung ab dem 13.02.2007 gilt:

$$Q = q; Q_{\min} = q_i \text{ und } Q_n = q_p$$

Für Messgeräte mit dem innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.16 bzw. Z 22.12 mit Inverkehrbringung bis einschließlich 12.02.2007 (siehe Anhang 9.2.3) gilt:

$$\begin{array}{lll} \text{bei } 0,9 Q_n & < Q < & Q_n \\ Q_t & < Q < 1,1 & Q_t \end{array}$$



$$Q_{\min} < Q \leq 1,1 \cdot Q_{\min}$$

Sofern die zeitliche Abgrenzung bei Wärmehähler mit dem innerstaatlichen Zulassungszeichen Z 22.16 bzw. Z 22.12 im Jahr 2007 nicht exakt bestimmbar ist, gilt die Inverkehrbringung ab dem 13.02.2007.

### 7.3.4 Prüfung mit Waagen

Bei der Volumenbestimmung mittels Wägung ist das Prüfvolumen so groß zu wählen, dass die Bedingungen unter Abschnitt 6.1.1 und 6.1.2.2 erfüllt werden.

Die Bestimmung der Wasserdichte muss unter Berücksichtigung der Abschnitt 6.2.5.3.6 erfolgen. Dies gilt für die Prüfverfahren mit stehender und fliegender Start-Stopp-Prüfung.

Das zu bestimmende Prüfvolumen ist (beim statischen Wägeverfahren) nach folgender Formel zu berechnen:

$$V_{\text{Soll}} = \frac{m_{\text{korrr}}}{\rho_w} \cdot K_{\text{LA}} \cdot K_{\text{RA}}$$

$V_{\text{soll}}$  : Sollvolumen des Wassers aus der Wägung

$m_{\text{korrr}}$  : Wägewert der Wassermenge korrigiert (Korrektur um Messabweichung Waage)

$\rho_w$  : Wasserdichte bei der Temperatur  $\vartheta_w$  des Wassers im Prüfling, Bestimmung siehe Nr. 6.2.6.3.6

$K_{\text{LA}}$  : Faktor der Luftauftriebskorrektur

$K_{\text{RA}}$  : Faktor der Korrektur für den Tauchrohrtrieb.

### 7.3.5 Prüfung mit Referenzzählern

Bei der Prüfung mit Normalzählern sind die im Rahmen der Eignungsprüfung getroffenen Festlegungen der Eichbehörde zu beachten. Sofern im Rahmen der Eignungsprüfung nichts Näheres bestimmt wird, sind bei der Festlegung des Prüfvolumens die Bestimmungen nach Abschnitt 6.1.1 und 6.1.2.2 zu beachten.

## 7.4 Kennzeichnung und Bescheinigung

### 7.4.1 Allgemeines

Entspricht das Messgerät den Vorschriften des Eichrechts, wird es mit dem Eichkennzeichen als geeicht gekennzeichnet. Das Messgerät wird mit Sicherungszeichen gegen Öffnen gesichert.

Die Stelle des Eichkennzeichens darf zugleich als Sicherungszeichen vorgesehen sein.

Die Kennzeichen sind gemäß den Vorgaben der MessEV und der Zertifikate auf dem Messgerät aufzubringen. Es ist auf eine einwandfreie und dauerhafte Anbringung der Kennzeichnung zu achten.



Bei Messgeräten, die mittels Konformitätsbewertungsverfahren nach § 6 des Mess- und Eichgesetzes in Verkehr gebracht wurden, dürfen die Kennzeichen aus dem durchgeführten Konformitätsbewertungsverfahren bei der Eichung nicht entfernt werden.

Die Eichfrist ergibt sich aus § 34 MessEV i. V. m. Anlage 7 MessEV.

Werden Drahtplomben verwendet, müssen der Plombendraht und die Art der Verplombung so ausgeführt sein, dass eine Öffnung des Messgeräts ohne Beschädigung der Verplombung nicht möglich ist. Hierzu muss der Plombendraht

- so kurz wie möglich sein,
- von der Verschlusschraube der Justiereinrichtung gesehen im Uhrzeigersinn ausreichend verdreht werden,
- aus Werkstoffen bestehen, die keine größere elastische und plastische Dehnung aufweisen als die bisher überwiegend gebräuchlichen Messingdrähte und
- an der Verschlusschraube und am Kopfring fixiert werden. Es reicht nicht aus, den Draht nur durch die Bohrung hindurch zu führen.

#### 7.4.2 Kennzeichnung bei der Eichung

Die Ausführung der Kennzeichen sind der Anlage 8 zur MessEV zu entnehmen.

#### 7.4.3 Bescheinigung (Eichschein)

Auf Antrag (spätestens bei der Durchführung der Eichung!) wird ein Eichschein ausgestellt. Die Gestaltung des Eichscheines hat gemäß der von der „Arbeitsgemeinschaft Mess- und Eichwesen“ abgestimmten GM-B zu erfolgen.

### 8 Prüfungsniederschriften

Folgende Daten sind mindestens aufzuzeichnen:

- Nummer des Zertifikats oder Zulassungszeichen
- Herstellerzeichen (Fabrikmarke)
- ggf. Messgenauigkeitsklasse
- Zählergröße und Durchflussverhältnis  $q_p/p_i$  bzw. metrologische Klasse
- Prüfvolumen
- die Prüfdurchflüsse gemäß Abschnitt 7.2.3 und tatsächlichen Prüfdurchflüsse
- ausführende Prüfstelle
- Herstellungs- oder Seriennummer des Zählers
- die Messabweichungen bei den vorgeschrieben Prüfdurchflüssen (%)
- Datum der Prüfung
- die Einbaulage, wenn sie von der Horizontalen abweicht.
- Nummer des Prüfstandes auf dem geprüft wurde

Es muss möglich sein alle Daten die zur Messwertbildung herangezogen werden zum nachrechnen des Prüfergebnisses, auszulesen oder auszudrucken.

Die für die Prüfungsniederschrift geforderten Daten können auch auf elektronischen Datenträgern gespeichert und geschützt aufbewahrt werden.



## 9 Anhang

### 9.1 Beispiele für die Bestimmung des Mindestprüfvolumens

Es darf die relative Standardunsicherheit bei der Erfassung des Prüfvolumens durch die Zähleranzeige ( $u_{\text{Anz max}}$ ) das 0,033fache des MPE sein. Bei einem MPE von z.B. 5% bei  $q_i$  ergibt sich:

$$u_{\text{Anz max}} = 5 \% \cdot 0,033 = 0,165 \%$$

#### 9.1.1 Analoge Anzeigen

Es soll eine Ableseunsicherheit (entsprechend der erweiterten Standardunsicherheit von  $k=2$ ) angenommen werden, die die Hälfte des kleinsten Teilstrichabstandes  $e_z$  (Eichwert bei analoger Anzeige) nicht überschreitet. Da die Ablesung am Anfang und Ende der Messung auftritt, ergibt sich bei einem Eichwert von z.B. 0,05 l folgende Standardunsicherheit  $u_{\text{anz}}$  der Anzeige (in Volumeneinheiten):

$$u_{\text{Anz}} = \sqrt{\left(\frac{e_z}{2}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{2}\right)^2} \cdot \frac{1}{k} = \sqrt{\left(\frac{0,05 \text{ l}}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,05 \text{ l}}{2}\right)^2} \cdot \frac{1}{2} = 0,01767 \text{ l}$$

Hieraus lässt sich das Mindestprüfvolumen ( $V_{\text{min}}$ ) errechnen.

$$V_{\text{min}} = \frac{u_{\text{Anz}}}{u_{\text{Anz max}}} \cdot 100\% = \frac{0,01767 \text{ l}}{0,165 \%} \cdot 100\%$$

$$\underline{\underline{V_{\text{min}} = 10,71 \text{ l} \approx 214 \text{ Eichwerte}}}$$

#### 9.1.2 Digitale Anzeigen

Die kleinste digitale Anzeigeänderung entspricht dem Eichwert. Da die Ablesung am Anfang und Ende der Messung auftritt, ergibt sich bei einem Eichwert  $e_z$  von z.B. 0,05 l folgende Standardunsicherheit  $u_{\text{anz}}$  der Anzeige (als Rundungsunsicherheit  $u(V)_R$ , in Volumeneinheiten, wobei eine Gleichverteilung ( $1/\sqrt{3}$ ) angenommen wird) von:

$$u_{\text{Anz}} = \sqrt{e_z^2 + e_z^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{k} = \sqrt{(0,05 \text{ l})^2 + (0,05 \text{ l})^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{2} = 0,02041 \text{ l}$$

Hieraus lässt sich das Mindestprüfvolumen ( $V_{\text{min}}$ ) errechnen.

$$V_{\text{min}} = \frac{u_{\text{Anz}}}{u_{\text{Anz max}}} \cdot 100\% = \frac{0,02041 \text{ l}}{0,165 \%} \cdot 100\%$$

$$\underline{\underline{V_{\text{min}} = 12,37 \text{ l} \approx 247 \text{ Eichwerte}}}$$



## 9.2 Prüfdurchflüsse

Prüfdurchflüsse für Durchflusssensoren von Messgeräten nach  
 REA Nr. 7.1 EU-Wärmezähler,  
 REA Nr. 7.2 Teilgeräte für EU Wärmezähler (Durchflusssensor),  
 REA Nr. 7.4 Kältezählern (z.B. Zul. 22.72/xx.yy),  
 REA Nr. 7.5 Teilgeräte für Kältezähler (Durchflusssensor) (z.B. Zul. 22.76/xx.yy),  
 REA Nr. 7.6 Wärmezähler (vollständige) nach Nr. 6 der EO 22 (Fassung vom 11.02.2007)  
 (Zul. 22.52/xx.yy) und  
 REA Nr. 7.7 Teilgeräte für Wärmezähler nach Nr. 6 der EO 22 (Fassung vom 11.02.2007)  
 [DIN EN 1434] (Zul. 22.56/xx.yy)

**Tabelle 1**

Nenn- durchfluss $q_p$ m <sup>3</sup> /h	Durchfluss 0,1 $q_p$ l/h	Durchflüsse $q_i$ in l/h bei					Nennweite DN
		$q_p / q_i$ = 10	$q_p / q_i$ = 25	$q_p / q_i$ = 50	$q_p / q_i$ = 100	$q_p / q_i$ = 250	
0,6	60	60	24	12	6	2,4	15
1	100	100	40	20	10	4	15
1,5	150	150	60	30	15	6	15
2,5	250	250	100	50	25	10	20
3,5	350	350	140	70	35	14	25
6	600	600	240	120	60	24	32
10	1000	1000	400	200	100	40	40
15	1500	1500	600	300	150	60	50
25	2500	2500	1000	500	250	100	65
40	4000	4000	1600	800	400	160	80
60	6000	6000	2400	1200	600	240	100
100	10000	10000	4000	2000	1000	400	125
150	15000	15000	6000	3000	1500	600	150
250	25000	25000	10000	5000	2500	1000	200
400	40000	40000	16000	8000	4000	1600	250



Prüfdurchflüsse für Durchflusssensoren von Wärmezählern nach  
 REA Nr. 7.6 Wärmezähler (vollständige) (Zul. 22.12/xx.yy) und  
 REA Nr. 7.7 Teilgeräte außer Nr. 6 der EO 22 (Fassung vom 11.02.2007)  
 [PTB-Anforderungen 22] (Zul. 22.16/xx.yy)

**Inverkehrbringung ab dem 13. Februar 2007:**

**Tabelle 2 Bereich  $Q_n < 15 \text{ m}^3/\text{h}$**

Nenn- durchfluss	Durchfluss	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Nennweite
$Q_n$	$Q_t = 0,1 Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,04 \times Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,02 \times Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,01 \times Q_n$	DN
$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{l}/\text{h}$	$\text{l}/\text{h}$	$\text{l}/\text{h}$	$\text{l}/\text{h}$	15
0,6	60	60	24	12	15
1	100	100	40	20	15
1,5	150	150	60	30	20
2,5	250	250	100	50	25
3,5	350	350	140	70	32
6	600	600	240	120	40
10	1000	1000	400	200	50

**Tabelle 3 Bereich  $Q_n > 15 \text{ m}^3/\text{h}$**

Nenn- Durchfluss	Durchfluss	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Nennweite
$Q_n$	$Q_t$ $= 0,1 Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,08 \times Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,04 \times Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,02 \times Q_n$	DN
$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{l}/\text{h}$	$\text{l}/\text{h}$	$\text{l}/\text{h}$	$\text{l}/\text{h}$	15
15	1500	1200	600	300	50
25	2500	2000	1000	500	65
40	4000	3200	1600	800	80
60	6000	4800	2400	1200	100
100	10000	8000	4000	2000	125/150
150	15000	12000	6000	3000	150
250	25000	20000	10000	5000	200
400	40000	32000	16000	8000	250
600	60000	48000	24000	12000	300



Prüfdurchflüsse für Durchflusssensoren von Wärmezählern nach  
 REA Nr. 7.6 Wärmezähler (vollständige) (Zul. 22.12/xx.yy) und  
 REA Nr. 7.7 Teilgeräte außer Nr. 6 der EO 22 (Fassung vom 11.02.2007) (PTB-  
 Anforderungen 22) (22.16/xx.yy)

**Inverkehrbringung bis 12. Februar 2007**

**Tabelle 4**                    **Bereich  $Q_n < 15 \text{ m}^3/\text{h}$**

$Q_n$	Klasse A		Klasse B		Klasse C		Nennweite
	$Q_{\min} =$ $0,04 \times Q_n$	$Q_{t=}$ $0,1 \times Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,02 \times Q_n$	$Q_{t=}$ $0,08 \times Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,01 \times Q_n$	$Q_{t=}$ $0,06 \times Q_n$	
$\text{m}^3/\text{h}$	l/h	l/h	l/h	l/h	l/h	l/h	DN
0,6	24	60	12	48	6	36	15
0,75	30	75	15	60	7,5	45	15
1,5	60	150	30	120	15	90	15
2,5	100	250	50	200	25	150	20
3,5	140	350	70	280	35	210	25
5	200	500	100	400	50	300	32
6	240	600	120	480	60	360	32
10	400	1000	200	800	100	600	40

**Tabelle 5**                    **Bereich  $Q_n > 15 \text{ m}^3/\text{h}$**

$Q_n$	Klasse A		Klasse B		Klasse C		Nennweite
	$Q_{\min} =$ $0,08 \times Q_n$	$Q_{t=}$ $0,2 \times Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,04 \times Q_n$	$Q_{t=}$ $0,15 \times Q_n$	$Q_{\min} =$ $0,02 \times Q_n$	$Q_{t=}$ $0,1 \times Q_n$	
$\text{m}^3/\text{h}$	l/h	l/h	l/h	l/h	l/h	l/h	DN
15	1200	3000	600	2250	300	1500	50
25	2000	5000	1000	3750	500	2500	65
40	3200	8000	1600	6000	800	4000	80
60	4800	12000	2400	9000	1200	6000	100
100	8000	20000	4000	15000	2000	10000	125/150
150	12000	30000	6000	22500	3000	15000	150
250	20000	50000	10000	37500	5000	25000	200
400	32000	80000	16000	60000	8000	40000	250
600	48000	120000	24000	90000	12000	60000	300



### 9.3 Bestimmung der Wiederholpräzision bei Reihenschaltung

Bei Reihenprüfständen ist nachzuweisen, dass sich die Zähler bei der Prüfung gegenseitig nicht beeinflussen (siehe Abschnitt 6.1.1). Die einzelnen Zähler werden auf dem vollbestückten Prüfstand auf verschiedenen Prüfplätzen geprüft (Bsp. siehe Tabelle). Die Mittelwerte der Messabweichungen auf den verschiedenen Prüfplätzen dürfen sich von den Mittelwerten der Wiederholungsprüfungen um nicht mehr als 2/5 Fehlergrenzen unterscheiden. Kein Einzelwert darf die Fehlergrenzen überschreiten.

Platz 1	Platz 2	Platz 3	Platz 4	Platz 5	Platz 6	Platz 7	Platz 8
Zähler 1	Zähler 2	Zähler 3	Zähler 4	Zähler 5	Zähler 6	Zähler 7	Zähler 8
Zähler 8	Zähler 7	Zähler 6	Zähler 5	Zähler 4	Zähler 3	Zähler 2	Zähler 1

### 9.4 Beispiel für die Ermittlung des Zeitfehlers und dessen Unsicherheit der Umschalteneinrichtung

Für eine gravimetrische Normalmessanlage wird für den Diverter der Zeitfehler und dessen Unsicherheit in einem Messbereich von 10 m<sup>3</sup>/h bis 100 m<sup>3</sup>/h bestimmt.

Es werden folgende Durchflusspunkte gewählt:

10 m<sup>3</sup>/h, 20 m<sup>3</sup>/h, 50 m<sup>3</sup>/h 80 m<sup>3</sup>/h, 100 m<sup>3</sup>/h

Je Durchflusspunkt werden abwechselnd kontinuierliche Füllvorgänge und Intervallfüllvorgänge gemessen. Die Intervallfüllvorgänge werden jeweils mit 10 Umschaltungen durchgeführt. Als Referenz-Durchflussmessgerät wird das prüfstandseigene Durchflussmessgerät verwendet. Aus jeweils einer kontinuierlichen und einer Intervallmessung werden für den Durchflusspunkt 10 m<sup>3</sup>/h nachfolgender Gleichung

$$\Delta t = \frac{M_{\text{kont}} \cdot t_{\text{int}} - M_{\text{int}} \cdot t_{\text{kont}} \cdot \frac{\dot{V}_{\text{kont}}}{\dot{V}_{\text{int}}}}{M_{\text{int}} \cdot \frac{\dot{V}_{\text{kont}}}{\dot{V}_{\text{int}}} - M_{\text{kont}} \cdot n}$$

dann 10 Zeitfehler berechnet, siehe Tabelle 1, Ergebnisse bei 10 m<sup>3</sup>/h. Die Messungen werden dann bei 20 m<sup>3</sup>/h, 50 m<sup>3</sup>/h 80 m<sup>3</sup>/h und 100 m<sup>3</sup>/h durchgeführt und die jeweiligen Zeitfehler berechnet.

Nummer der Messung	10 m <sup>3</sup> /h Zeitfehler in ms	20 m <sup>3</sup> /h Zeitfehler in ms	50 m <sup>3</sup> /h Zeitfehler in ms	80 m <sup>3</sup> /h Zeitfehler in ms	100 m <sup>3</sup> /h Zeitfehler in ms
1	15,8	12,6	6,54	5,68	4,88
2	15,6	12,5	6,48	5,73	4,87
3	15,1	12,4	6,23	5,38	4,78
4	15,9	12,5	6,55	5,97	4,22
5	15,5	12,3	6,12	4,99	4,27



6	15,5	12,2	6,85	5,12	4,55
7	15,7	12,4	6,58	5,66	4,61
8	15,8	12,8	6,57	5,27	4,71
9	15,2	12,4	6,77	5,81	4,58
10	15,6	12,5	6,84	5,46	4,61
Zeitfehler Mittelwert in ms	15,57	12,46	6,553	5,507	4,608
Standard- abweichung (k=1) in ms	0,26	0,16	0,24	0,32	0,22

Tabelle 1

## 9.5 Tauchrohr-Auftriebskorrektur

Die Tauchrohr-Auftriebskorrektur ist

$$K_{RA} = 1 - \frac{A_{TR}}{A_B},$$

wenn  $A_{TR}$  und  $A_B$  über die Füllhöhe konstant ist.

$A_{TR}$ : Querschnitt der Tauchrohrwandung  
 $A_B$ : freier Behälterquerschnitt (abzüglich der Fläche eventueller Einbauten  
aber einschließlich  $A_{TR}$ ).

Ist kein außen befestigtes Tauchrohr vorhanden, beträgt  $K_{RA} = 1$

### Voraussetzung:

Der Behälter muss über die ganze Höhe gut zylindrisch sein und lotrecht auf der Waagen-Plattform stehen. Der Innendurchmesser definiert sich durch den rechtwinkligen Blechzuschnitt. Man kann deshalb davon ausgehen, dass die Zylindrizität über die Behälterhöhe gegeben ist.

Das Tauchrohr ist nach Norm in Abmessungen und Geradheit definiert. Eine zusätzliche Unsicherheit kann beim nicht lotrechten Einbau entstehen, der bei kleinen Durchmessern jedoch vernachlässigbar ist.

Die so entstehende Tauchrohr-Auftriebskorrektur  $K_{RA}$  wird als rechteckverteilt unterstellt. Daraus ergibt sich die relative Standardunsicherheit der Ausgangsgröße zu:

$$u_{RA} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (\Delta A_B + \Delta A_{TR})$$

$\Delta A_B$  Differenz der Behälterquerschnittsfläche  $A_B$  zu  $A_{B\text{ soll}}$

#### Hinweis:

Die Innenradius lässt sich mit großer Genauigkeit angeben, da durch die Art der Fertigung des Wägebekalters die Toleranz überwiegend durch die Breite der Schweißnaht definiert wird (typisch  $1\text{-}2 \cdot 10^{-3}\text{m}$  bei Behälterdurchmesser von 1m).



$$\Delta A_B = (\pi \cdot r^2) - (\pi \cdot r_{soll}^2)$$

$r$  Innenradius des Behälters korr. um Schweißnahtbreite  
 $r_{soll}$  Innenradius Sollwert

$\Delta A_{TR}$ : Differenz der Rohrquerschnittsfläche  $A_{TR}$  zu  $A_{TRsoll}$

Hinweis:

Die Toleranz der Rohrquerschnittsfläche des Behältereinströmröhres TR entspricht der in der DIN-Norm definierten Grenze. Da das Einlaufrohr niemals absolut senkrecht in den Wägebehälter eintaucht und der Querschnitt somit i. A. einer Ellipse ( $A=ab\pi$ ) entspricht wird die Grenze größer angesetzt als laut Norm nötig (typisch  $0,5 \cdot 10^{-3} \text{m}$  für ein Rohr mit 50 mm  $\emptyset$ ).

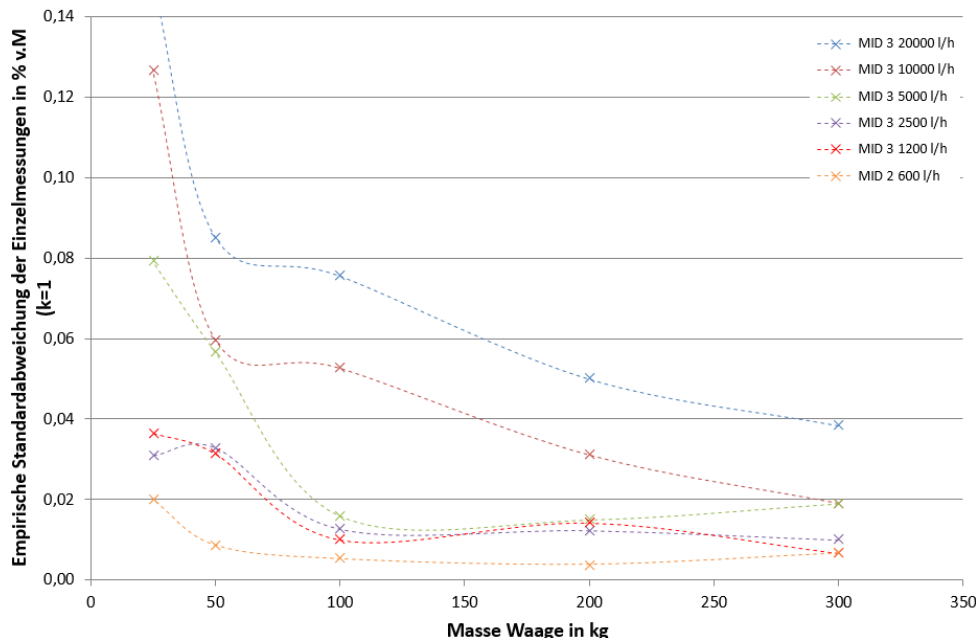
$$\Delta A_{TR} = [(\pi \cdot r_a^2) - (\pi \cdot r_i^2)] - [(\pi \cdot r_{a\text{ soll}}^2) - (\pi \cdot r_{i\text{ soll}}^2)]$$

$r_a$  Außenradius des Tauchrohres mit Normtoleranz und Elipsenanteil  
 $r_{a\text{ soll}}$  Außenradius des Tauchrohres Sollwert

$r_i$  Innenradius des Tauchrohres mit Normtoleranz und Elipsenanteil  
 $r_{i\text{ soll}}$  Innenradius des Tauchrohres Sollwert

## 9.6 Wiederholpräzision

Die Wiederholpräzision ist unter anderem eine Funktion vom Volumenstrom, Pulswertigkeit und Messzeit. Die Bestimmung der Wiederholpräzision sollte bei einer genügend großen Anzahl von Messungen stattfinden, anderenfalls sind Korrekturfaktoren (z.B. Studentfaktor) zu verwenden. Zur Berechnung ist die Empirische Standardabweichung der Einzelmessung heranzuziehen.



Die Polygonzüge zwischen den Kalibrierergebnisse dienen nur der Übersicht und stellen nicht das messtechnische Verhalten der Prüfpunkte über den Messbereich dar.



## 9.7 Prüfung und Mindestprüflast der Waage

### 9.7.1 Prüfung der Waage

Die Anforderungen an nichtselbsttätige Waagen sind nach Abschnitt 4.3.1 einzuhalten.

Die Kalibrierung der Waage hat am Gebrauchsort zu erfolgen.

Bei der messtechnischen Prüfung von Waagen dürfen nur solche Gewichtstücke verwendet werden, die für diesen Zweck geeignet und die nachweisbar und rückführbar an nationale Normale angeschlossen sind und mit mindestens jährlichem Prüfintervall nachgeprüft werden. Die Eigenschaften (Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit, Dichte und magnetische Eigenschaften) der Gewichtstücke müssen der OIML R 111-1 (DIN 8127) entsprechen. Die Messabweichung der Normalgewichtstücke inklusive ihrer Messunsicherheit darf höchstens  $1/3$  der für die jeweilige Belastung geltenden Prüffehlergrenze der zu kalibrierenden Waage betragen.

In Abhängigkeit der Genauigkeitsklasse und der jeweiligen Belastung der Waage ergeben sich die in der folgenden Tabelle angegebenen Genauigkeitsanforderungen an die Normalgewichtstücke:

Genauigkeitsklasse der Waage	Anzahl der Eichwerte (e) <i>n</i> bzw. <i>n'</i>	Genauigkeitsklasse der Normalgewichtstücke nach DIN 8127	
		$\leq 50$ kg	$> 50$ kg
III und III	$\leq 3\ 000$	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
	$\leq 5\ 000$		M <sub>1-2</sub>
	$\leq 10\ 000$		M <sub>1</sub>
II	$\leq 30\ 000$	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>
	$\leq 100\ 000$	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>
I		E <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>

Tabelle 1



Entsprechend der DIN EN 45501 werden Einteilungswaagen gemäß folgender Genauigkeitsklassen eingeteilt:

Genauigkeitsklasse	Eichwert $e$	Anzahl der Eichwerte $n = \text{Max} / e$		Mindestlast Min (untere Grenze)
		minimum	maximum	
Feinwaage (I)	$0,001 \text{ g} \leq e^{1)}$	50 000 <sup>2)</sup>		100 $e$
Präzisionswaage (II)	$0,001 \text{ g} \leq e \leq 0,05 \text{ g}$	100	100 000	20 $e$
	$0,1 \text{ g} \leq e$	5 000	100 000	50 $e$
Handelswaage (III)	$0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$	100	10 000	20 $e$
	$5 \text{ g} \leq e$	500	10 000	20 $e$
Grobwaage (III)	$5 \text{ g} \leq e$	100	1 000	10 $e$

Tabelle 2

1) Es ist wegen der Unsicherheit der Prüfgewichte nicht sinnvoll, eine Waage im Messbereich zu prüfen, der geringer ist als die Fehlergrenze.

2) Für eine Waage der Klasse I mit  $d < 0,1 \text{ mg}$  darf  $n$  kleiner als 50 000 sein.

Der festgelegte Eichwert ( $e$ ) der Waage gilt als Prüffehlergrenze bei der Kalibrierung. Die Prüffehlergrenze für zu- oder abnehmende Belastung sind in Tabelle 3 angegeben.

Prüffehler- grenzen	Für Belastungen $m$ , in Eichwerten $e$ ausgedrückt			
	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse III
$\pm 0,5 e$	$0 \leq m \leq 50\,000$	$0 \leq m \leq 5\,000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
$\pm 1,0 e$	$50\,000 < m \leq 200\,000$	$5\,000 < m \leq 20\,000$	$500 < m \leq 2\,000$	$50 < m \leq 200$
$\pm 1,5 e$	$200\,000 < m$	$20\,000 < m \leq 100\,000$	$2\,000 < m \leq 10\,000$	$200 < m \leq 1\,000$

Tabelle 3

Die Waage ist mit Normallast von Null bis einschließlich Max zu belasten und danach in gleicher Weise wieder zu entlasten. Hierbei sind die Lasten so zu wählen, dass die Waage an jeweils mindestens 6 Prüfpunkten geprüft werden kann. Die gewählten Prüflasten müssen Max, Min, Mindestprüflast als Gebrauchsnormale sowie Werte, die bei oder dicht bei denjenigen liegen, bei denen sich die Prüffehlergrenzen ändern, einschließen.

Wenn bei der Kalibrierung der Waage der Eichwert ( $e$ ) geändert wird, muss die Anzahl der Eichwerte gemäß der Tabelle 2 eingehalten werden. Andernfalls ist die Waage gemäß neuer Genauigkeitsklasse zu kalibrieren. Die Kalibrierung ist mit Normalgewichtsstücken entsprechender Genauigkeitsklasse durchzuführen (siehe Tabelle 1).

Bei Reduzierung des „Eichwerts“ ( $e_{\text{alt}}$ ) sind die Abweichungen außerhalb der „neuen“ Prüffehlergrenze ( $e_{\text{neu}}$ ) der Waage nur zulässig, wenn die Abweichungen nicht größer ist als die ursprüngliche Prüffehlergrenze ( $e_{\text{alt}}$ ). In diesem Fall müssen die festgestellten Abweichungen von der Waagenkalibrierung bei der Wägung des eingefüllten Mediums korrigiert werden.

#### Beispiel

Bei einer Waage der Genauigkeitsklasse III mit Höchstlast von 600 kg soll der Eichwert von 100 g ( $e_{\text{alt}}$ ) auf 20 g ( $e_{\text{neu}}$ ) reduziert werden. Die maximale Anzahl der Eichwerte von 10.000 bei Genauigkeitsklasse III würde hier überschritten werden (hier 30.000). Die Mindestlast



beträgt dann  $50 e_{\text{neu}}$  (1.000 g) anstelle von  $20 e_{\text{alt}}$ . Die Waage ist mit Änderung des Eichwerts in die Genauigkeitsklasse II einzustufen und muss die Prüffehlergrenzen der Klasse II einhalten. Die erforderlichen Genauigkeitsanforderungen an die Normalstücke sind zu beachten.

### 9.7.2 Mindestprüflast der Waage unter Betrachtung des eingefüllten Mediums

Die Mindestprüflast darf unterschritten werden, wenn alternativ systematische und zufällige Messabweichung nachgewiesen worden ist.

Der Grenzrichtwert der relativen Standardunsicherheit des Wägewertes beträgt das 0,05 fache der Fehlergrenze. Dieser gilt als eingehalten, wenn die Summe aus Prüffehlergrenze und relativer Ableseunsicherheit im gesamten Wägebereich nicht größer als das 0,05 fache der Fehlergrenze des Durchflusssensors ist. Dabei ist die Prüffehlergrenze auf den jeweiligen Messwert zu beziehen. Die Ableseunsicherheit ist bei Digitalanzeigen deren Rundungsfehler und wird mit  $0,5 d$  angenommen. Die Ableseunsicherheit bei Analoganzeigen wird mit einem halben Skalenwert angenommen.

Angaben zur Waage

Höchstlast Max [kg]	1200	Eichwert e [g]	100
Mindestlast Min [kg]	10	Teilungswert d [g]	2
Genauigkeitsklasse	II	nach Nr. 4.3.1 mindestens Klasse III	
Anzahl der Eichwerte	12000		

Prüffehlergrenze

über	bis	Fehlergrenze [e]	Fehlergrenze [g]
	5000 e	0,5	50
5000 e	20000 e	1,0	100
20000 e	100000 e	1,5	150

Ableseunsicherheit (Rundungsfehler bei Digitalanzeige) :  $0,5 d$  hier 1 g  
Summe aus Prüffehlergrenze und Ableseunsicherheit

über	bis	Summe	Summe [g]	von / über [kg]	bis [kg]
	5000 e	$0,5 e + 0,5 d$	51	10	500
5000 e	20000 e	$1,0 e + 0,5 d$	101	500	2000
20000 e	100000 e	$1,5 e + 0,5 d$	151	2000	10000

Angaben zum Wärmezähler

Genauigkeitsklasse	$q_p$ [l/h]	$q$ [l/h]	Fehlergrenze [%] vom Messwert
3	1500	150	3,50

Berechnung der Mindestprüflast zur Einhaltung des Grenzwertes

$$\text{rel. Ableseunsicherheit} \leq 0,05 \times \text{Fehlergrenze}$$



$$\text{Mindestprüflast} = \frac{\text{Prüffehlergrenze} + \text{Ableseunsicherheit}}{0,05 * \text{Fehlergrenze}} * 100$$

Mindestprüflastbereich [kg]		Mindestprüflast [kg]	Bewertung
über	bis		
10	500	29,143	im Mindestprüflastbereich
500	2000	57,714	nicht im Mindestprüflastbereich
2000	10000	86,286	nicht im Mindestprüflastbereich

Bei der Prüfung eines Durchflusssensor Klasse 3,  $q_p$  1500 l/h und dem Prüfpunkt 150 l/h ist für die Einhaltung des Grenzrichtwertes somit ein Mindestwägewert von 29,143 kg einzuhalten.



## 9.8 Abnahme und Überwachung von Prüfständen

### Abnahme und Überwachung von Prüfständen

#### 1 Vorbereitung der Abnahme

Für die Abnahme durch die überwachende Eichbehörde muss der Prüfstand betriebsfertig hergerichtet sein.

Folgende Dokumentationen sind bereitzuhalten und der Eichaufsichtsbehörde auf deren Verlangen ggf. schon vor dem Abnahmetermin zur Verfügung zu stellen:

##### 1.1 Hardware

- detaillierte Beschreibung des gesamten Prüfstandes
- Rohrleitungsschema (mit eingezeichneten Prüfmitteln, Armaturen usw.)
- Angaben zu den verwendeten Prüfmitteln und Prüfscheine der Prüfmittel
- Angaben zur Wasserversorgung des Prüfstands
- ggf. Anerkennung der Bauart der Normalzähler durch die PTB bzw. Eichbehörde
- Auflistung der vorhandenen Einlauf- und Auslaufstrecken mit Angabe der Nennweiten und Längen
- Berechnung des Volumens des Zwischenrohrs (siehe Abschnitt 4.2.2)
- ggf. Berechnung des Querschnitts der Tauchrohrwand ATR und des freien Behälterquerschnitts AB (siehe Abschnitt 6.2.5.3.13)
- Angaben zu den einzelnen Zählertypen und -größen, die auf dem Prüfstand geprüft werden sollen, ggf. auch zur Anwendung des Prüfgehäuseverfahrens

##### 1.2 Software

- Beschreibung der Software u.a.
- Identifizierung und Kennzeichnung
- Handling der Datenerfassung
- Zugangsberechtigungen / Sicherung gegen unbeabsichtigten Zugriff
- Dokumentation und Datensicherung
- Berechnung der Messabweichungen der Prüflinge mit allen Korrekturfaktoren
- Programmlisting mit Variablenliste bzw. ein Flussplan der Berechnung
- Beispiel eines Ausdrucks aller Messwerte und relevanter Parameter, die zur Berechnung der Messabweichungen verwendet werden
- Beispiel eines Protokolls für amtliche Prüfungen (siehe Abschnitt 8)

##### 1.3 Berechnung bzw. Bestimmung der Prüfvolumen (siehe Abschnitte 6.1 und 6.1.2.2)

1.4 Berechnung der Messunsicherheiten nach Abschnitt 6.2 sind bei den Temperaturen durchzuführen, bei denen der Prüfstand betrieben wird.

##### 1.5 Prüfstandshandbuch bzw. -ordner.

Es muss sichergestellt sein, dass die verwendeten Prüfmittel für sonstige relevante Messgrößen den in Abschnitt 4.4 definierten Anforderungen entsprechen.

## 2. Abnahme

Die Abnahme führt die zuständige Behörde, in der Prüfstelle am Gebrauchsort des Prüfstands durch.

Die Abnahme umfasst den Anhang 9.9 und folgende Punkte:



- 2.1 Die Überprüfung der Dokumentation, insbesondere Berechnungen, Spezifikationen und Nachweise einschließlich der Kontrolle der Prüfstandsausführung mit den Unterlagen.
- 2.2 Die Prüfmittel werden hinsichtlich Kennzeichnung, Ausführung, Einhaltung der entsprechenden Anforderungen überprüft.
- 2.3 Die Funktionsfähigkeit des Prüfstandes ist zu kontrollieren.
- 2.4 Die konstruktive Ausführung des Prüfstandes ist hinsichtlich der Gefahr der Bypassbildung zu untersuchen.
- 2.5 Der Nachweis, dass alle für amtliche Prüfungen erforderlichen Durchflüsse innerhalb der festgelegten Grenzen der Prüfdurchflüsse realisierbar sind, ist zu führen.
- 2.6 Prüfung von Einflüssen der Pumpen auf den Prüfling (siehe Abschnitt 6.1).
- 2.7 Die Konstanz des Durchflusses ist zu überprüfen (siehe Abschnitt 4.2.9).
- 2.8 Es ist zu überprüfen ob die Wirkungsweise der Normale durch vorhandene Prüfstandsteile, Hilfsmessgeräte und Umgebungseinflüsse beeinträchtigt wird (z.B. flexible Anschlüsse am Wägebehälter, Luftzug, Reibung, Erschütterungen).
- 2.9 Sofern die Prüfmittel nach Abschnitt 4.4 bzw. die Messwertempfänger noch nicht mit der Signalverarbeitung des Prüfstandes geprüft sind, muss dies im Rahmen der Abnahme erfolgen.
- 2.10 Vorhandene Ein- und Auslaufrohre für die Prüflinge sind u.a. auf ihre Nennweite und Länge hin zu überprüfen.
- 2.11 Wird bei der Bestimmung der Messabweichung des Prüflings das Doppelstoppuhr-Verfahren angewendet, ist entweder die verwendete interne Quarzfrequenz oder noch besser die Zeitmessung über die gesamte Messkette von der Impulserfassung am Prüfplatz bis zur Auswertung zu kontrollieren. Dazu kann z.B. an Stelle des Prüflings ein mit DCF77 funkgesteuerter bzw. mittelbar geprüfter Impulsgeber an einem beliebigen Prüfplatz eingesetzt und dessen von der Messsoftware ausgegebene Signale gemessen werden.
- 2.12 Die Software ist hinsichtlich der Prüfabläufe, Grenzwerteingaben, Berechnung der Messabweichungen, Protokollierung, Datensicherung, Zugangsberechtigung und Sicherung gegen unbeabsichtigten Zugriff zu verifizieren. Ist dies bereits vorher an baugleichen Prüfständen geschehen, kann auf diese Überprüfung verwiesen werden. Voraussetzung für die Erkennung identischer Software ist die Versionskennzeichnung. Es ist zu überprüfen, ob alle zur Berechnung der Messabweichung erforderlichen Messwerte und relevanten Parameter abrufbar sind und die Protokollführung den entsprechenden Anforderungen in den Abschnitten 4.5 und 8 genügt.
- 2.13 Zur Überprüfung der Messrichtigkeit und Wiederholpräzision des Prüfstandes sind Wiederholungsprüfungen durchzuführen (siehe Abschnitt 6.1.1).
- 2.14 Bei Prüfständen für Zähler mit Nenndurchflüssen  $q_p \geq 15 \text{ m}^3/\text{h}$  sollten im Rahmen der Abnahme interne oder externe Vergleichsmessungen durchgeführt werden (siehe Abschnitt 6.1.1). Die zulässigen Abweichungen dürfen die 2/5 MPE nicht überschreiten.
- 2.15 Bei Reihenprüfständen ist nachzuweisen, dass sich die Zähler bei der Prüfung gegenseitig nicht beeinflussen (siehe Abschnitt 6.1.1 und Abschnitt 9.3). Hierzu sind



Messungen mit den Zählern durchzuführen, die zur Bestimmung der Unsicherheit bei der Volumenbestimmung verwendet wurden. Die einzelnen Zähler werden in der vollbestückten Prüfreihe auf verschiedenen Prüfplätzen geprüft.

2.16 Bei Prüfständen, die nur mit Referenzzählern (ohne Waage) arbeiten, sind Vergleichsmessungen mit konventionellen Prüfständen durchzuführen. Hierzu sind an einigen bei der Prüfstelle üblicherweise zu prüfenden Zählertypen, durch mindestens je zehn Wiederholungsprüfungen die Mittelwerte aus den Einzelmessungen der einzelnen Zählertypen miteinander zu vergleichen. Die Abweichung der Mittelwerte darf  $2/5$  MPE nicht überschreiten.

2.17 Die für die zu prüfenden Zählertypen und -größen erforderlichen Prüfabläufe und Prüfvolumen sind endgültig festzulegen und u.a. im Prüfstandshandbuch bzw. -ordner einzutragen.

2.18 Verschiedene messtechnische Prüfungen gemäß den Nummern 2.13 bis 2.16 können mit Zustimmung der zuständigen Eichaufsichtsbehörde zusammengefasst und bereits vor dem Abnahmetermin von der Prüfstelle durchgeführt werden. Die Anzahl der Wiederholungsmessungen kann verringert werden, wenn weitere Messungen den Mittelwert nicht mehr wesentlich verändern.

### 3 Aufsicht

Eine regelmäßige Überwachung der Prüfstände hat durch die Prüfstelle entsprechend den Festlegungen zu erfolgen, u.a.:

- 3.1 Überprüfung der korrekten Aufstellung der Waage
- 3.2 Ggf. Überprüfung der Waagen mit Prüfgewichten
- 3.3 Prüfung der Durchflussanzeiger
- 3.4 Überprüfung der Dichtheit der Prüfstrecken und der Waage
- 3.5 Besondere Prüfungen gemäß den Auflagen bei der Abnahme der Prüfstände
- 3.6 Kontrolle der Impulswertigkeiten der zu prüfenden Zähler, insbesondere bei neuen Bauarten bzw. Zählerausführungen
- 3.7 Gelegentliche Kontrolle der Wasserdichte bei Verwendung einer Waage als Normal (grundsätzlich bei jedem Wasserwechsel erforderlich)
- 3.8 Pflege der Prüfstandshandbücher bzw. -ordner.

## 9.9 Validierung des Prüfstands bei den Temperaturen, bei denen der Prüfstand betrieben wird

Bei kombinierten Prüfständen (für Kalt- und Warmwasser) sind temperaturabhängige Anforderungen für Warm und Kalt zu berücksichtigen.

Es wird empfohlen, folgende Prüfungen durchzuführen

Kapitel	Bezeichnung	Grund	Tätigkeitsumfang
4.2.1	Allgemeine Anforderungen	Allgemeines	Prüfen
4.2.2	Auslaufleitung und Zwischenrohr	Aufbau der Rohrleitung	Prüfen
4.2.3	Gasabscheider und Entlüftungseinrichtungen	Aufbau des Gasabscheiders	Prüfen
4.2.4	Abzweigung hinter der Messstrecke	Aufbau der Rohrleitung	Prüfen
4.2.5	Abgrenzungsstelle (Diverter)	Aufbau des Diverters	Prüfen



4.2.6	Absperreinrichtung vor der Messstrecke	Aufbau der Rohrleitung	Prüfen
4.2.7	Ein- und Auslaufstrecke	Aufbau der Rohrleitung	Prüfen
4.2.8	Versorgungseinrichtung	Allgemeine Anforderungen	Prüfen
4.2.9	Durchflusskonstanz	Einfluss auf die Messabweichung der Prüflinge	Es ist die D. bei $q_{\min}$ und $q_{\max}$ einer jeden Referenz für die maximale Prüfdauer nachzuweisen.
4.2.10	Verhinderung des Mitmessens von Luft	Aufbau der Anlage	Prüfen
4.3.1	Waage	Anforderungen an die Genauigkeit	Kalibrierscheine prüfen
4.3.1.1	Wägebehälter	Aufbau des Wägesystems	Prüfen
4.3.2	Referenzzähler	Prüfung der Eignung als Referenz durch Behörde	Eignungsgenehmigung prüfen
4.4.1	Durchflussmesseinrichtung	Feststellung der Eignung	Einbau und Kalibrierschein prüfen
4.4.2	Temperaturmesseinrichtung	Feststellung der Eignung	Einbau und Kalibrierschein prüfen
4.4.3	Druckmesseinrichtung	Feststellung der Eignung	Einbau und Kalibrierschein prüfen
4.4.4	Zeitmessgerät	Feststellung der Eignung	Kalibrierschein prüfen
4.4.5	Dichtemesseinrichtung	Feststellung der Eignung	Einbau und Kalibrierschein prüfen
4.5	Software	Funktion und Validierung der Eingangsgrößen	Funktionstest, Eingabe von Größen, manuelle Berechnung, Formelwerk
5	Referenzbedingungen	Allgemeine Umgebungsbedingungen	Nachweis prüfen
6.2.6.3.4 9.7.2	Wiederholpräzision Referenz gegen Waage	Validierung des gesamten Wägesystems, Analyse der minimalen Messzeit	Bei unterschiedlichen Füllmassen 25%,50%,75%,100 % ggf. auch geringere Füllmassen
Optional	Prüfung der MIDs gegen Waage stehend start stopp		
6.2.5.3.3	Innere Verdunstung	Einganggröße Messunsicherheit	Berechnung Prüfen
6.2.5.3.4	Äußere Verdunstung	Einganggröße Messunsicherheit	Messungen durchführen bei verschiedenen Zeiten/ Füllmassen
6.2.5.3.5 9.4	Diverter	Einganggröße Messunsicherheit	Messungen durchführen bei verschiedenen Durchflüssen
6.2.5.3.13	Abtropfzeit	Einganggröße Messunsicherheit	Messungen durchführen bei verschiedenen Zeiten
6.2.5.3.14	Langzeitstabilität	Referenzzähler	Nachweis prüfen
6.2.6.1	Einlaufstrecken vor den Referenzen (ohne Waage) und Linearität der Zähler	Aufbau der Rohrleitung Durchflussreferenz	Prüfen Abweichung < 0,1 % v.M.
6.2.6.3.4	Kalibrierung der GN	Einganggröße Messunsicherheit Referenzzähler	9 Stützpunkte gemäß 6.2.6.1