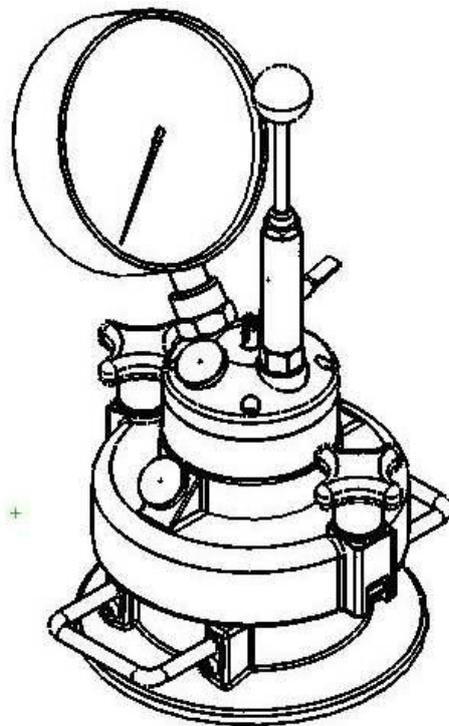


# Betriebsanleitung

Luftpyknometer 1 Liter  
Typ 7306  
Gerätenummer: 254



## Stellenwert der Betriebsanleitung

Vor dem Betreiben des Gerätes muss die Betriebsanleitung gelesen und verstanden werden

Inhaltsverzeichnis	Seiten
<b>1. Grundlegende Hinweise</b>	<b>3</b>
1.1 Bestimmungsgemäße Verwendung	3
1.2 Sachwidrige Verwendung	3
1.3 Sicherheitshinweise	4
1.3.1 Verpflichtung des Betreibers	4
1.3.2 Sicherheitseinrichtungen	4
1.4 Empfang, Transport	5
1.4.1 Empfang	5
1.4.2 Transport	5
1.5 Lieferumfang	6
1.6 Gerätebeschreibung	6
<b>2. Beschreibung der Messmethode</b>	<b>7</b>
<b>3. Versuchsdurchführung</b>	<b>7</b>
<b>4. Auswertung von Wassergehaltsbestimmungen</b>	<b>8</b>
4.1 Rechnerische Bestimmung des Wassergehaltes $w$	8
4.2 Bestimmung des Wassergehaltes mittels der Nomografischen Tafel 1	9
<b>5. Bestimmung der Korndichte <math>\rho_s</math></b>	<b>10</b>
<b>6. Ergänzende Bemerkungen zur Verbesserung der Messgenauigkeit bei der Bestimmung des Volumens</b>	<b>10</b>
<b>7. Kontrolle der Messgenauigkeit</b>	<b>11</b>
<b>8. Luftpyknometermessungen an Zylinder-Entnahmeprobe</b>	<b>12</b>
<b>9. Ermittlung des Wassergehaltes für den Proctorversuch</b>	<b>12</b>
<b>10. Pflege des Luftpyknometers</b>	<b>13</b>
<b>11. Justierung der Manometeranzeige</b>	<b>13</b>
<b>12. Beschreibung der Auswertvorgänge (Nomografische Tafel 1)</b>	<b>14</b>
12.1 Bestimmung des Wassergehaltes	14
12.2 Bestimmung der Korndichte	15
12.3 Bestimmung verschiedener bodenmechanischer Kenngrößen an Bodenproben im Entnahmezylinder nach DIN 18125	16
12.3.1 Bestimmung der Feuchtdichte	16
12.3.2 Bestimmung des Wassergehaltes	17
12.3.3 Bestimmung des Luftgehaltes	17
12.3.4 Bestimmung der Trockendichte	18
12.3.5 Bestimmung des Porenvolumens	18
<b>13. Kontrolle einer Volumenmessung</b>	<b>19</b>
<b>14. Einfluss der Temperatur auf die Messergebnisse</b>	<b>21</b>
<b>15. Kundendienst</b>	<b>22</b>
15.1 Ausgabedatum der Betriebsanleitung	22
15.2 Urheberrecht	22
15.3 Ersatzteilversorgung – Adresse	22

### Anlagen:

Konformitätserklärung

Ersatzteilliste

Aufbau und Funktionselemente des Luftpyknometers 1 Liter manuell

Ablaufschema - Überprüfung des Gerätes

## **1. Grundlegende Hinweise**

### **1.1 Bestimmungsgemäße Verwendung**

Diese Beschreibung enthält die erforderlichen Informationen für den bestimmungsgemäßen Gebrauch der darin beschriebenen Produkte. Sie wendet sich an technisch qualifiziertes Personal.

Qualifiziertes Personal sind Personen, die aufgrund ihrer Ausbildung, Erfahrung und Unterweisung sowie ihrer Kenntnisse über einschlägige Normen, Bestimmungen, Unfallverhütungsvorschriften und Betriebsverhältnissen von dem für die Sicherheit des Gerätes Verantwortlichen berechtigt worden sind, die jeweils erforderlichen Tätigkeiten auszuführen, und dabei mögliche Gefahren erkennen und vermeiden können (Definition für Fachkräfte laut IEC 364).

Die in dieser Betriebsanleitung angegebenen Anforderungen und Grenzwerte sowie angegebene Sicherheitshinweise sind unbedingt einzuhalten. Jeder darüber hinausgehende Gebrauch gilt als nicht bestimmungsgemäß. Werden besondere Arbeitsweisen oder -bedingungen erforderlich, ist die Beratung und Zustimmung des Herstellers einzuholen.

Das Luftpyknometerverfahren ist ein Prüfverfahren, mit dem folgende bodenmechanische Kenngrößen von Böden in relativ kurzer Zeit bestimmt werden können:

- Wassergehalt  $w$
- Korndichte  $\rho_s$ .

Die Bestimmung des Wassergehaltes  $w$  ist in der DIN 18125, Blatt 2: „Bestimmung des Wassergehaltes durch Schnellverfahren“ beschrieben.

Die Bestimmung der Korndichte  $\rho_s$  ist in der Technischen Prüfvorschrift für Boden und Fels, TP BF-StB, Teil B 3.3 der Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen enthalten.

Das Luftpyknometer ist auf Grund seiner Konstruktion und einfachen Bedienung insbesondere für den Einsatz auf Baustellen geeignet.

Eine ausführliche Beschreibung der Versuchsdurchführung und Auswertung sowie Kontrollmöglichkeiten zur Funktionsfähigkeit des Gerätes enthält diese Betriebsanleitung. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die Untersuchung von Bodenproben. Sie gelten für das Luftpyknometer mit einem Prüfvolumen von 1.000 ml.

### **1.2 Sachwidrige Verwendung**

das Verwenden von anderen Baustoffen als unter 1.1 genannt

---

## **1.3 Sicherheitshinweise**

### **1.3.1 Verpflichtung des Betreibers**

Das Gerät ist nach dem Stand der Technik und den anerkannten technischen Regeln gebaut. Dennoch können bei seiner Verwendung Gefahren für Leib und Leben des Benutzers oder Dritter beziehungsweise Beeinträchtigungen an den maschinentechnischen Teilen oder anderer Sachwerte entstehen.

Die bedienende Person hat darauf zu achten, dass sie sich und andere Personen nicht gefährdet. Mit der selbstständigen Bedienung des Gerätes dürfen nur Personen betreut werden, die in der Bedienung unterwiesen wurden.

Wird durch Mängel oder Schäden am Gerät die Betriebssicherheit beeinträchtigt, ist sie sofort außer Betrieb zu nehmen und erst nach Beseitigung aller Gefahrenquellen wieder zu benutzen.

Das Gerät ist nur zu benutzen

- für die bestimmungsgemäße Verwendung
- und in sicherheitstechnisch einwandfreiem Zustand.

Störungen, die die Sicherheit beeinträchtigen können, sind umgehend zu beseitigen. Bis zur Behebung der Schäden oder Mängel darf mit dem Gerät nicht gearbeitet werden.

### **1.3.2 Sicherheitseinrichtungen**

#### *Transportsicherung für die Handpumpe*

Um Schäden an der Handpumpe zu vermeiden, muss während des Transportes die Pumpenstange festgeschraubt werden. Man dreht den Kugelkopf mit dem Gewinde in das Oberteil fest.

---

## **1.4 Empfang, Transport**

### **1.4.1 Empfang**

Gelieferte Sendung auf äußeren sichtbaren Zustand überprüfen. Ist der Zustand ordnungsgemäß kann die Sendung vom Frachtführer (Paketdienst oder Spediteur) übernommen werden.

Liegt keine Beanstandung oder Transportschaden vor, so ist an Hand des Lieferscheins die Vollständigkeit der Sendung zu überprüfen.

Wird ein Transportschaden befürchtet oder vermutet oder stellt sich ein Transportschaden erst nach erfolgter Übernahme heraus, ist sofort ein Protokoll mit einem exakten Bericht über die Ausmaße des Schadens zu erstellen. Senden Sie uns das Protokoll unmittelbar per Fax zu. An der gelieferten Sendung absolut keine Veränderungen vornehmen.

Anhand dieses Berichtes sollten wir beurteilen können, ob der Schaden

- durch die Lieferung von Ersatzteilen oder
- durch Entsendung eines Fachmonteurs oder nur
- durch Rücksendung des Gerätes behoben werden kann.

### **1.4.2 Transport**

Das Gerät wird in geeigneter Kartonage angeliefert. Die freibleibenden Hohlräume der äußeren Verpackung sind, um Transportschäden zu vermeiden, mit Füllmaterialien ausgefüllt.

Das Gerät kann nach dem Auspacken per Hand an den vorgesehenen Griffen zu seinem Bestimmungsort bewegt werden.

Das Luftpyknometer stehend lagern. Das Gerät möglichst schlag- und stoßfrei transportieren, um das empfindliche Manometer nicht zu beschädigen. Beim Transport die Pumpenstange der Handpumpe einschrauben.

Das Gewicht beträgt ca. 5,9 kg.

## 1.5 Lieferumfang

Luftpyknometer

gegen Aufpreis:

Aufsatzring zum Füllen des Gerätes

Transportbehälter

Stampfer, Abstreichlineal

Auf Wunsch erhalten Sie für Ihr Gerät gegen Aufpreis ein Kalibrierprotokoll von uns, welches Sie als Nachweis zur Prüfmittelüberwachung im Rahmen Ihres Qualitätsmanagementsystems verwenden können.

## 1.6 Gerätebeschreibung

- 1 Probenbehälter
- 2 Kreuzgriff
- 3 Correctionventil der Luftkammer
- 4 Luftpumpe
- 5 Feinmessmanometer (Genauigkeitsklasse 0,6 nach DIN 18 070)
- 6 Druckausgleichsventil
- 7 Luftkammer
- 8 Entlüftungsventil

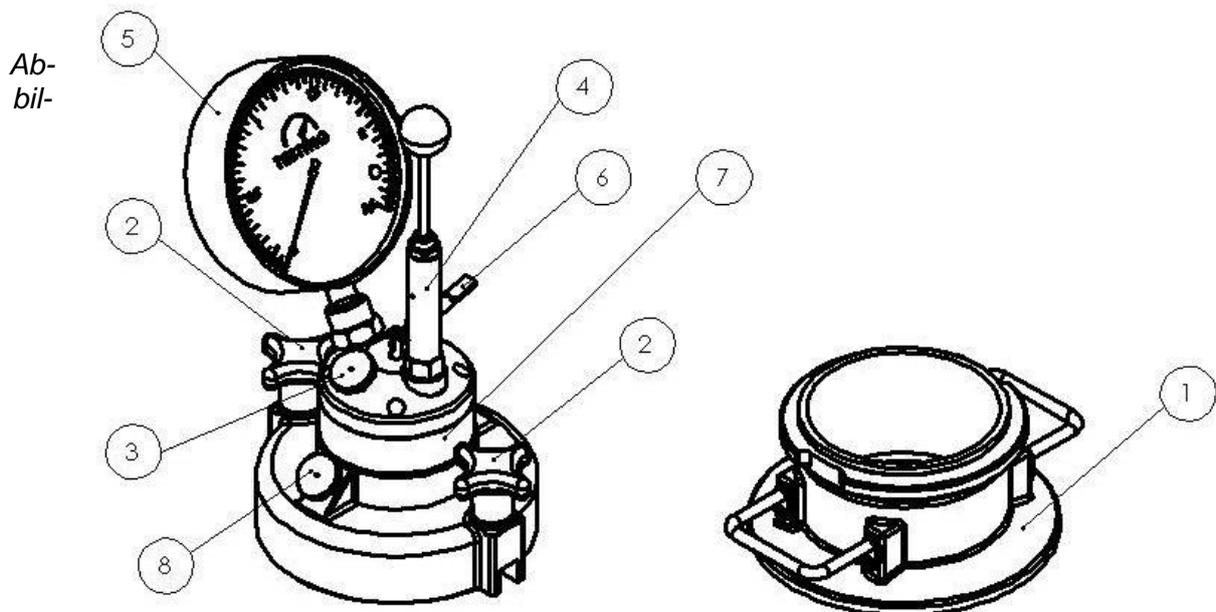


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Luftpyknometers

## 2. Beschreibung der Messmethode

Die Bodenprobe wird in den druckdichten Probebehälter (1) gefüllt. Nachdem in der Luftkammer (7) mittels der Luftpumpe (4) ein Luftdruck von etwa 2,35 bar aufgebracht und dieser mit dem Entlüftungsventil der Luftkammer (3) auf genau 2,30 bar geregelt wurde, wird dieser Überdruck über das Druckausgleichsventil (6) in den Probebehälter (1) eingebracht. Zwischen Probebehälter (1) und Luftkammer (7) stellt sich ein mittlerer Druck ein, der mit dem Feinmessmanometer (5) bestimmt wird. Abhängig von diesem Druck und mit der jedem Gerät beigegeführten Nomografischen Tafeln kann das Volumen der festen und flüssigen Bestandteile der Bodenprobe bestimmt werden. Aus diesem Volumen und der Masse der feuchten Probe lässt sich bei bekannter Korndichte der Wassergehalt berechnen.

## 3. Versuchsdurchführung

Zunächst wird die Masse  $m_K$  des Probebehälters bestimmt. Anschließend wird die Probe lagenweise in den Probebehälter eingefüllt, indem jede Lage von Hand mittels eines Stempels gut angedrückt wird. Die Probe sollte den Probebehälter möglichst ausfüllen, darf jedoch nur bis zu dessen Rand eingefüllt werden. Anschließend wird der Probebehälter mit Probe gewogen ( $m_K + m$ ). Nachdem der Rand des Probebehälters und der Dichtungsring sorgfältig gereinigt und angefeuchtet wurden, wird das Oberteil bei geöffnetem Entlüftungsventil (8) auf den Probebehälter aufgesetzt, horizontal um 90° gedreht und die zwei Schrauben (2) gleichmäßig festgezogen. Die Spanschraubköpfe haben Markierungen. Bei ihrer festen Stellung stehen die Markierungen in gleicher und nach vorne (zum Ablesenden) gerichteter Stellung. Damit wird eine Schwankung des Raumvolumens durch eine unterschiedliche Anpressung des Dichtungsringes vermieden.

Nach dem Schließen der Ventile (3), (8) wird mittels der Luftpumpe (4) in der Luftkammer ein Überdruck von ca. 2,35 bar erzeugt (Pumpenkolben **nicht** einschrauben!).

Durch vorsichtiges Öffnen des Entlüftungsventils der Luftkammer (3) wird bei senkrechtem Beklopfen der Manometerscheibe mit dem Plexiglasblickrohr der Überdruck auf  $p_0 = 2,3$  bar in der Luftkammer geregelt. Für diesen Überdruck  $p_0 = 2,3$  bar ist die beiliegende Nomografische Tafel 1, die zur Auswertung erforderlich ist, erstellt worden. Die Feinabstimmung geschieht stets bei abfallendem Druck. Die Zeigerbeobachtungen müssen durch das fest auf die Scheibe aufgesetzte Blickrohr erfolgen.

Nachdem das Entlüftungsventil (3) wieder geschlossen wurde, wird durch das vorsichtige Öffnen des Ausgleichsventils (6) der Luftdruck zwischen Luftkammer und Probebehälter ausgeglichen. Der Ausgleich ist abgeschlossen, wenn die Messdruckanzeige trotz des Klopfens mit dem Blickrohr auf das Manometer bei offenem Ventil (6) konstant bleibt. Der sich dann einstellende Luftdruck  $p_1$  wird bei weiterhin geöffnetem Ausgleichsventil am Feinmessmanometer abgelesen und im Versuchsprotokoll notiert.

Sollte der Druckausgleich nicht nach ca. 5 bis 10 Sekunden erfolgt sein und der Druck weiter abnehmen, so ist das Messgerät undicht. In diesem Fall muss das Entlüftungsventil des Probebehälters (8) geöffnet, der Deckel abgenommen und anschließend der Topfrand gereinigt werden. Hierzu wird der Gummiring und ebenso wie die Schraubventile gereinigt. Sollte die Wiederholungsmessung ebenfalls nicht wie beschrieben durchgeführt werden können, muss das gesamte Gerät auf Undichtigkeiten geprüft werden (vgl. Abschnitt 10).

Nach der 1. Messung wird die Bodenprobe durch Öffnen des Entlüftungsventils des Probebehälters (8) entlüftet, die Luftkammer (7) mit der Luftpumpe (4) zur 2. Messung auf 2,35 bar aufgepumpt und das Entlüftungsventil (8) geschlossen. Die Druckregulierung auf 2,30 bar über das Entlüftungsventil der Luftkammer (3) und die weitere Versuchsdurchführung erfolgt wie oben beschrieben.

Insgesamt werden drei Messvorgänge durchgeführt. Aus den drei Ablesungen  $p_1$ ,  $p_2$  und  $p_3$  wird der Mittelwert  $p$  für die Auswertung errechnet und über die Nomografische Tafel 1 das Volumen bestimmt.

Nach der Beendigung der Messungen wird das Entlüftungsventil des Probebehälters (8) geöffnet, die Verschraubung gelockert und das Oberteil abgehoben. Anschließend sind Probebehälter und Deckelunterseite gründlich zu reinigen.

**Anmerkung:**

*Es ist darauf zu achten, dass die Temperatur der Bodenprobe, des Luftpyknometers und die Umgebungstemperatur übereinstimmen. Schon Abweichungen von 1° C können zu Druckveränderungen in den beiden Kammern und dadurch zu fehlerhaften Ergebnissen führen (vgl. Abschnitt 14).*

## 4. Auswertung von Wassergehaltsbestimmungen

### 4.1 Rechnerische Bestimmung des Wassergehaltes $w$

Grundlage für die rechnerische Bestimmung des Wassergehaltes ist die Tatsache, dass sich im Probebehälter ein Zweistoffgemisch (Boden und Wasser) befindet, von dem die Masse  $m$  bestimmt und das Volumen  $V$  durch den Messvorgang ermittelt wird. Die Komponenten des Zweistoffgemisches besitzen ein eigenes spezifisches Gewicht  $\rho$ . Das mit dem Luftpyknometer ermittelte spezifische Gesamtgewicht beider Komponenten, die so genannte **wassergesättigte Korndichte**  $\rho_m$  ergibt sich durch ihr Mischungsverhältnis und wird ermittelt durch die Gleichung

$$\rho_m = \frac{m}{V} \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (1)$$

Der Luftanteil in der Probe braucht infolge des Druckausgleiches nicht mehr berücksichtigt zu werden

Der Wassergehalt  $w$  der Bodenprobe errechnet sich aus:

$$w = \frac{\rho_s - \rho_m}{\rho_s(\rho_m - 1)} \times 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

$\rho_s$ : Korndichte des Mineralanteils

## 4.2 Bestimmung des Wassergehaltes mittels der Nomografischen Tafel 1

Die beigefügte **Nomografische Tafel 1** ermöglicht die Wassergehaltsbestimmung von Böden mit einer Korndichte  $\rho_s$  von  $2,65 \text{ g/cm}^3$  (z.B. Sande, Kiessande).

Der Wassergehalt der Bodenprobe wird folgendermaßen bestimmt: Es wird der Schnittpunkt des Mittelwertes der drei Manometerablesungen (x-Achse) und der Masse  $m$  (y-Achse) bestimmt. Waagrecht von diesem Schnittpunkt findet man an der Wassergehaltskurve den Wassergehaltswert  $w$  [%].

Durch eine Abweichung der Korndichte  $\rho_s$  um  $0,01 \text{ g/cm}^3$  von  $2,65 \text{ g/cm}^3$  wird der Wassergehalt  $w$  um ca.  $0,25 \%$  verändert.

### **Beispiel:**

$\rho_s = 2,69 \text{ g/cm}^3$  hat eine Erhöhung von  $w$  um  $4 \times \text{ca. } 0,25 \% \approx 1,0 \%$  zur Folge.

Der Wassergehalt der Bodenprobe kann rechnerisch ermittelt werden, wenn die Korndichte der Bodenprobe bekannt ist (vgl. Abschnitt 4.1).

Mit der Nomografischen Tafel 1 ist die Ermittlung von **Trockendichte**  $\rho_d$ , **Porenvolumen** und **Luftgehalt** an Bodenproben mit einer Stoffdichte  $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$ , die mit einem genormten Entnahmezylinder nach DIN 18125-2 ( $\varnothing 100 \text{ mm}$ , Höhe  $120 \text{ mm}$ ), Volumen  $V$  ca.  $850 \text{ cm}^3$  entnommen wurden, möglich.

Damit kann z.B. bei einem verdichteten Sandplanum ständig die Proctordichte  $\rho_{Pr}$  und somit der geforderte Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  mit nur einer Messung kontrolliert werden.

Mit der Nomografischen Tafel 2 kann der Wassergehalt  $w$  für Böden und Bodengemische mit Korndichten  $\rho_s$  von  $2,50$  bis  $3,20 \text{ g/cm}^3$  ermittelt werden. Soll in einem Zuschlagstoff der Wasseranteil festgestellt werden, kann in der Tafel 2 der Wassergehalt  $w$  zur Feuchtmasse an der Skalierung entlang der Linie für die Korndichte  $\rho_s = 2,50 \text{ g/cm}^3$  abgelesen werden.

Auch die Ermittlung des Wasserzementfaktors ist auf diese Weise möglich. Ein so ermittelter Wassergehalt  $w$  von beispielsweise  $6 \%$  (an der unteren Skala) bedeutet beispielsweise, dass in  $1000 \text{ kg}$  feuchtem Zuschlagstoff  $60 \text{ Liter}$  Wasser enthalten sind.

Es ist darauf zu achten, dass der Wassergehalt an der oberen Teilung zwischen den  $\rho_s$ -Linien  $2,80 \text{ g/cm}^3$  und  $2,70 \text{ g/cm}^3$  abgelesen wird.

Als Hauptteilung sind deren Teilstriche über alle  $\rho_s$ -Linien durchgezogen. Der Schlüssel für die Wassergehaltsbestimmung ist auf der Nomografischen Tafel 2 angegeben.

## 5. Bestimmung der Korndichte $\rho_s$

Die Bodenprobe muss vollständig getrocknet werden (Ofentemperatur = 105°C). Der Versuch ist wie unter Abschnitt 3 beschrieben durchzuführen. Die Korndichte  $\rho_s$  der Bodenprobe errechnet sich aus der Trockenmasse  $m_t$  und dem Volumen  $V$  der Probe:

$$\rho_s = \frac{m_t}{V} \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (3)$$

Tafel 1 führt über den Mittelwert der Manometerablesungen senkrecht zum Volumen und weiter zum Schnittpunkt mit der Trockenmasse des Materials und dann horizontal bis zur Skala am linken Rand mit der Teilung der Korndichte.

Tafel 2 hat die Skala der Korndichte am rechten Rand. Der Schlüssel für diese Auswertung ist im oberen Teil der Tafel 2 angegeben.

### **Anmerkung:**

*Die Versuchsdurchführung erfordert eine hohe Messgenauigkeit und eine zeitgleiche Überprüfung der Messvorgänge mit einem Kontrollvolumen. Wird die zu untersuchende Bodenprobe im erdfeuchten Zustand angeliefert, dann sollte die Bestimmung der Korndichte an der erdfeuchten Bodenprobe durchgeführt und der Wassergehalt erst danach durch Ofentrocknung ermittelt werden.*

## 6. Ergänzende Bemerkungen zur Verbesserung der Messgenauigkeit bei der Bestimmung des Volumens

Die Messgenauigkeit steigt mit zunehmendem Füllvolumen der Bodenprobe im Probehälter des Luftpyknometers an. Bei der Bestimmung der Korndichte sollte das Volumen der Bodenprobe nicht unter 800 cm<sup>3</sup> betragen. Da eine getrocknete Bodenprobe ein hohes Porenvolumen aufweist, muss dieses durch Zugabe von Wasser ( $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ ) aufgefüllt werden.

### **Vorgehensweisen:**

1. Es werden z.B. 300 g Wasser mit gleicher Temperatur wie die Bodenprobe in den leeren Probehälter gefüllt und dann unter Umrühren das Trockengut bis etwa 3 mm unterhalb des Randes vom Probehälter eingefüllt und dessen Masse ( $m_t$ ) ermittelt. Es gibt pulverige Feinböden, die beim Auflösen in Wasser eine Temperaturerhöhung bewirken. In diesem Fall ist die Temperatur zu überprüfen. Anschließend werden die drei Einzelmessungen durchgeführt und der Mittelwert für die Auswertungen bestimmt.

Wie das Auswertbeispiel zeigt, müssen die zugegebenen 300 g Wasser vom Volumen und von der Masse der Bodenprobe im Probehälter abgezogen werden.

2. Bei der Bestimmung der Korndichte von Baustoffen darf nur das nachfolgend beschriebene Verfahren (Einlage von Volumenplatten) angewendet werden, da z.B. Zemente durch Wasserzugabe chemisch verändert werden und entsprechend ihr Volumen verändern.

Vor dem Einfüllen der Bodenprobe wird ein Kontrollvolumen von beispielsweise 100 oder 200 ml in den leeren Probebehälter eingelegt. Die Volumenplatten sind bei der Herstellerfirma erhältlich. Auch hier muss das Plattenvolumen als Volumenabzug verrechnet werden.

3. Bei Böden mit steifer oder höherer Konsistenz (z.B. stark plastische Tone) können die geschlossenen Poren beim Luftpyknometerverfahren nicht erfasst werden. In diesem Fall werden z.B. 300 g Wasser mit gleicher Temperatur wie die Bodenprobe in den Probebehälter gefüllt. Anschließend wird die Bodenprobe zerkleinert, in den Probebehälter gefüllt, die Gesamtmasse ermittelt und der Luftpyknometerversuch wie in Abschnitt 3 durchgeführt.

## 7. Kontrolle der Messgenauigkeit

Das Luftpyknometer ist in der Höhenlage von Berlin bei einem zufälligen Barometerstand unter der genauen Einhaltung gleicher Temperatur aller Teile kalibriert. Die Volumenskala verschiebt sich bei Messungen in anderen Höhenlagen nicht. Um jederzeit entscheidende Messungen sofort auf die Volumengenauigkeit zu kontrollieren, ist folgendes möglich:

- a) Es gibt einen Kontrollvolumensatz zum Luftpyknometer (erhältlich bei der Herstellerfirma des Luftpyknometers), bestehend aus geeichten Teilscheiben von 1 x 500, 4 x 100, 2 x 30, 1 x 20, 1 x 10, 2 x 5, 2 x 2, 2 x 1 cm<sup>3</sup>. Man verwendet diesen Volumensatz ähnlich wie einen geeichten Gewichtssatz.

### **Beispiel:**

Die Bestimmung der Korndichte an einer Bodenprobe ergab die gemittelte Ablesung von 1,052 bar; dies entspricht einem Volumen von 668 ml gemäß Nomografischer Tafel 1. Dieses Ergebnis wird sofort durch Einlegen von Teilscheiben mit einem Volumen von 668 ml in den Probebehälter kontrolliert. Wenn diese Kontrollmessung beispielsweise 1,048 bar ergibt, ist der Volumenunterschied zwischen 1,052 bar und 1,048 bar mittels der Tafel 1 zu bestimmen. Die Differenz des ermittelten Volumenunterschiedes ist durch Teilscheiben auszugleichen. Eine Kontrollmessung sollte dann einen Druck von 1,052 bar ergeben.

Sollte das Luftpyknometer aus irgendeinem Anlass fehler anzeigen (z.B. bei unterschiedlicher Temperatur von Probe, Luft und Gerät), kann mit Hilfe des Kontrollvolumensatzes die Volumenbestimmung der Bodenprobe auf 1 cm<sup>3</sup> genau sofort kontrolliert und korrigiert werden. Der Kontrollvolumensatz muss die gleiche Temperatur wie Gerät und Umgebung aufweisen.

In jedem Fall ist darauf zu achten, dass sich die markierten Spanschrauben in der vorgegebenen Stellung befinden, das Luftpyknometer absolut dicht ist und die Ablesung mit dem Blicklichtrohr erfolgt.

- b) Eine Volumenkontrolle ist auch durch eine genau eingewogene temperierte Wasserfüllung möglich. Die genaue Vorgehensweise ist im Abschnitt 13 beschrieben.

## 8. Luftpyknometermessungen an Zylinder-Entnahmeproben

Das Bodenmaterial aus einem genormten Entnahmezylinder gemäß DIN 18125-2 ( $\varnothing$  100, Höhe 120 mm) passt in den Probebehälter des Luftpyknometers. Dieser Zylinder hat ein Volumen von ungefähr 825 cm<sup>3</sup>. Das genaue Volumen des Zylinders ist mit einer Schublehre zu ermitteln. Alternativ kann das Zylindervolumen aus dem Gewicht des Zylinders /  $\gamma_{sr}$  (spezifisches Gewicht des Stahlzylinders  $\gamma_{sr} = 7,85$ ) ermittelt werden. Die Bodenprobe wird in den Probebehälter eingefüllt und die Masse  $m$  bestimmt. Nach dem Luftpyknometerversuch erhält man gemäß durch die Auswertung gemäß Abschnitt 12.3 den Wassergehalt, die Feuchtdichte, die Trockendichte, das Porenvolumen und den Luftgehalt der Bodenprobe.

Ist die Proctordichte  $\rho_{Pr}$  einer Bodenprobe bekannt, so lässt sich mit dem Luftpyknometer der Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  auf der Baustelle schnell und einfach kontrollieren.

Der Verdichtungsgrad errechnet sich aus der Gleichung

$$\text{Verdichtungsgrad } D_{Pr} = \frac{\text{Trockendichte } \rho_d}{\text{Proctordichte } \rho_{Pr}} \quad (4)$$

## 9. Ermittlung des Wassergehaltes für den Proctorversuch

Für den Proctorversuch nach DIN 18127 ist die Bestimmung des Wassergehaltes der Bodenprobe durch Ofentrocknung erforderlich. Als Schnellverfahren kann der Wassergehalt mit dem Luftpyknometer auf der Baustelle sofort bestimmt werden, wodurch lange Trocknungszeiten vermieden werden können.

Hierzu wird die Bodenprobe erdfeucht lagenweise in den Proctortopf gegeben und anschließend die Wassergehaltsbestimmung wie in Abschnitt 3 beschrieben durchgeführt. Damit ist der erste Wassergehalt für den Proctorversuch ermittelt. Nach einer geringen Wasserzugabe wird der Boden gut durchmischt und der zweite Einzelversuch durchgeführt.

Im Anschluss daran erfolgt eine nochmalige Wassergehaltsbestimmung im Luftpyknometer. Die Verbindungslinie der beiden Punkte entscheidet aus ihrem Steigen oder Fallen, ob eine weitere Wasserbeimengung oder ein Übertrocknung des Bodenmaterials vorgenommen werden muss, bevor der 3. und anschließend der 4. Einzelversuch einschließlich der Wassergehaltsbestimmung im Luftpyknometer vorgenommen werden. Dabei wird die Korndichte des Bodens mit 2,65 g/cm<sup>3</sup> zu Grunde gelegt. Liegt eine höhere oder niedrigere Korndichte vor, verschiebt sich die Proctorkurve z.B. bei  $\rho_s = 2,69$  g/cm<sup>3</sup> um 1,0 % auf der Wassergehaltslinie.

## 10. Pflege des Luftpyknometers

Die Messgenauigkeit des Luftpyknometers kann nur bei absoluter Dichtigkeit des Gesamtsystems sichergestellt werden. Luftpumpe, Ventile und die Verbindung Probebehälter / Oberteil müssen dicht sein.

Es ist darauf zu achten, dass der Kolben der Luftpumpe nach dem Erreichen des Vordruckes von ca. 2,35 bar sofort fixiert wird. Bei einer eventuellen Undichtigkeit des Pumpenventils wird dadurch verhindert, dass der Pumpenkolben hoch wandert und Luft aus dem Oberteil des Luftpyknometers entweicht.

Eventuelle Undichtigkeiten können einfach und schnell lokalisiert werden, indem das Luftpyknometer auf ca. 2,0 bar aufgepumpt und bis zur Unterkante des Manometers in Wasser gestellt wird. Aufsteigende Luftperlen zeigen die undichte Stelle an. Hier sollte das Gerät gereinigt und mit Vaseline abgedichtet werden. Gummiringe (Ventile und Gummiring an der Kopplungsstelle) werden herausgenommen und rundherum dünn mit Vaseline überzogen. Manometer und Ausgleichsventil dürfen nur durch den Hersteller repariert bzw. abgedichtet werden. Falls sich die Undichtigkeiten hierdurch nicht beheben lassen, ist das Gerät zur Überprüfung an den Hersteller zurück zu schicken.

Entscheidend für eine hohe Messgenauigkeit beim Luftpyknometerverfahren ist die Qualität und sorgfältige Pflege des Feinmessmanometers.

Der Probebehälter ist nach jedem Messvorgang unverzüglich zu entleeren und sorgfältig zu reinigen.

## 11. Justierung der Manometeranzeige

Das Volumen des Probebehälters bzw. die Manometeranzeige kann durch die Stellung der Spannschrauben beeinflusst werden. Der Gummidichtungsring zwischen Oberteil und Probebehälter bietet die Möglichkeit einer Justierung durch festes oder lockeres Anziehen der beiden Spannschrauben. Nach der fachgerechten Kalibrierung und der daraus erarbeiteten Volumenskala zeigen die Markierungspfeile und die Zahl „1“ am Spannschraubenhals (5) nach vorne. Wird vor Versuchsdurchführung und bei Temperaturgleiche aller Teile bei einer Kontrollmessung mit dem Kontrollvolumensatz eine Abweichung gegenüber der Kalibrierskala festgestellt, kann durch eine Änderung der Spannschraubenstellung eine geringfügige Änderung des Volumens vom Probebehälter erreicht werden. Diese veränderte Stellung ist bei allen weiteren Versuchen beizubehalten.

Beispielsweise kann bei zu niedriger Druckanzeige, z.B. für das Volumen 600 ml die Anzeige 0,780 statt 0,784 bar (Wert der Nomografischen Tafel), durch gleichzeitiges Rechtsdrehen der Spannschrauben auf die nächste Markierung der Spannschrauben eine gültige abweichende Markierungspfeilstellung gefunden werden. Hierdurch kann in diesem Beispiel bei 600 ml eine Manometeranzeige von 0,784 bar erzielt werden.

Für Wassergehaltsbestimmungen bei bekannter Korndichte der Bodenprobe ist diese Justierung über den gesamten Skalenbereich der Nomografischen Tafeln ausreichend.

## 12. Beschreibung der Auswertevorgänge (Nomografische Tafel 1)

### 12.1 Bestimmung des Wassergehalts

Nach Abbildung 2 wird der Mittelwert der Manometerablesungen auf der x-Achse abgetragen und eine Senkrechte bis zur Linie der Probenmasse gezogen. Von diesem Schnittpunkt wird eine Parallele zur x-Achse bis zur Wassergehaltslinie gezogen. Der so ermittelte Wassergehalt in % ist bezogen auf die Trockenmasse für eine Korndichte des Mineralanteils der Bodenprobe von  $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$ .

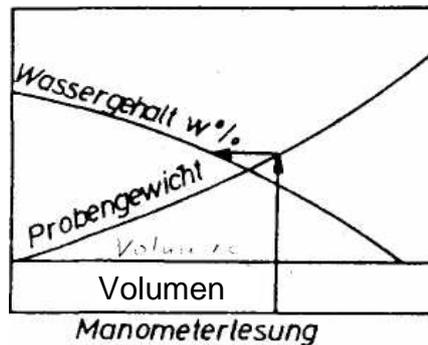


Abbildung 2: Bestimmung des Wassergehaltes  $w$  [%]

#### Protokoll zur Bestimmung des Wassergehalts (Beispiel)

Nr. des Gerätes:

Auftragsnummer: Erstkalibrierung

Bearbeiter: Name

Datum: 07.02.20##

Probennummer					
Masse der trockenen Bodenprobe und Probebehälter [g]	3327				
Masse des Probebehälters [g]	1707				
Masse der erdfeuchten Bodenprobe [g]	1620				
Manometerlesung [bar]	0,891 <sup>*)</sup>				
Wassergehalt gemäß Nomografischer Tafel 1 [%]	10,3				

<sup>\*)</sup> Beispielhaft wurden die Manometerlesung nach erfolgter Kalibrierung aus der Nomografischen Tafel 1 eines Luftpyknometers ermittelt.

## 12.2 Bestimmung der Korndichte

Zur Verbesserung der Versuchsgenauigkeit (vgl. Abschnitt 6) sollte der getrockneten Bodenprobe eine bestimmte Wassermenge (z.B. 300 g = 300 cm<sup>3</sup>) zugegeben werden. Vom Mittelwert der Manometerablesung geht man senkrecht zur Volumenskala, auf dieser um den Betrag des zugegebenen Wasservolumens waagrecht nach rechts, von diesem so korrigierten Volumen senkrecht zum Schnitt mit der Probengewichtslinie (hier Trockengewicht) und dann waagrecht zur Raumgewichtsskala des spezifischen Gewichts an der linken Blattseite (vgl. Abbildung 3).

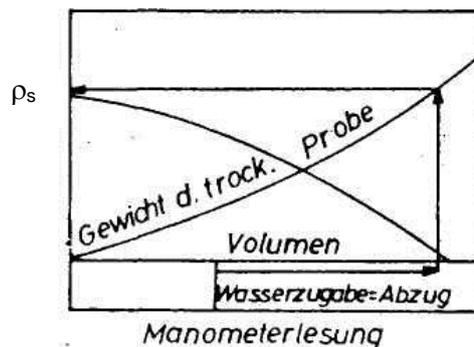


Abbildung 3: Bestimmung des spezifischen Gewichtes

### Bestimmung der Korndichte

Nr. des Gerätes:

Auftragsnummer: Erstkalibrierung

Bearbeiter: Name

Datum: 07.02.20##

Probennummer			
Masse der trockenen Bodenprobe und Probebehälter [g]	3361		
Masse des Probebehälters [g]	1707		
Trockenmasse der Bodenprobe ( $m_t$ ) [g]	1654		
1. Manometerlesung [bar]	0,769		
Volumen gemäß Tafel 1 [cm <sup>3</sup> ] (wenn unter 800 cm <sup>3</sup> , siehe unten (1))	620		
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	2,665		

Verbesserte genauere Volumenbestimmung mittels Wasserzugabe			
Wasserzugabe [g]	200		
2. Manometerlesung [bar]	1129 <sup>*)</sup>		
Volumen gemäß Nomografischer Tafel 1	822		
Verbessertes Volumen nach Abzug der Wasserzugabe V'	622		
geänderte Dichte	2,66		

<sup>\*)</sup> Beispielhaft wurden die Manometerlesung nach erfolgter Kalibrierung aus der Nomografischen Tafel 1 eines Luftpyknometers ermittelt.

## 12.3 Bestimmung verschiedener bodenmechanischer Kenngrößen an Bodenproben im Entnahmezylinder nach DIN 18125

### 12.3.1 Bestimmung der Feuchtdichte

#### Auswertevorgang:

Mit dem Volumen (Zylinder plus Bodenprobe) an der Volumenskala beginnend geht man senkrecht zur Feuchtmasse und dann waagrecht an die linke Blattseite zur Ablesung der Feuchtdichte  $\rho_f$  bestehend aus Boden-, Wasser- und Luftanteil (vgl. Abbildung 4).

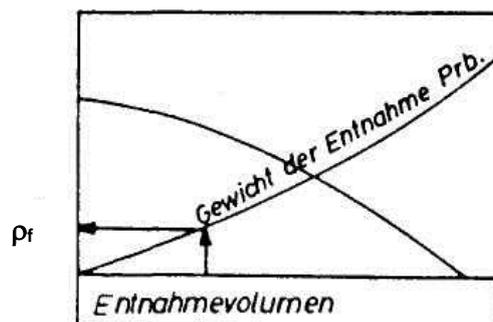


Abbildung 4: Bestimmung der Feuchtdichte

### 12.3.2 Bestimmung des Wassergehaltes

Der Wassergehalt wird wie unter 12.1 beschrieben bestimmt.

Für die weitere Auswertung entnimmt man die Feuchtraumdichte ohne Luftanteil ( $\rho$ ) als theoretischen Hilfswert auf der Waagerechten (Schnittpunkt Probenmasse / Wassergehalt) ebenfalls an der linken Skala der Trockendichte.

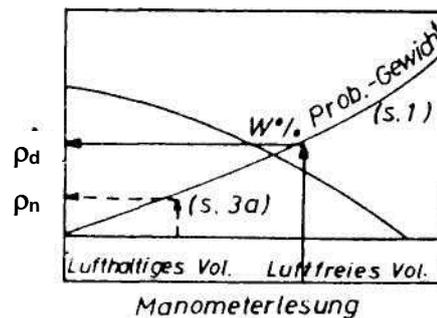


Abbildung 5: Bestimmung des Wassergehaltes

### 12.3.3 Bestimmung des Luftgehaltes

Der Luftgehalt wird gemäß Abbildung 6 wie folgt abgelesen: Man bringt die Waagerechte durch  $\rho_d$  zum Schnittpunkt mit der aufsteigenden Parabellinie vom Ausgangswert  $\rho_n$ , d.h. entlang der Probengewichtslinie. Vom Schnittpunkt der Linien  $\rho_n$  und  $\rho_d$  geht man senkrecht zur Ablesung des Luftgehaltes an der Luftgehaltsskala.

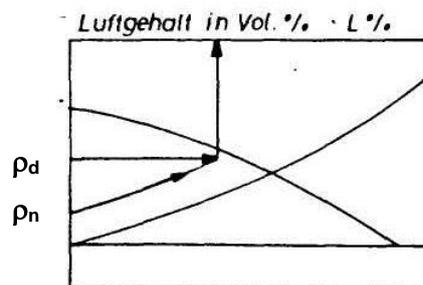


Abbildung 6: Bestimmung des Luftgehaltes

### 12.3.4 Bestimmung der Trockendichte

Die Trockendichte ( $\rho_d$ ) der Entnahmeprobe wird durch folgenden Auswertevorgang ermittelt: Die Waagerechte vom Hilfwert  $\rho_d$  über die Wassergehaltslinie schneidet auf der rechten Blattseite die Trockendichteskala im Wert  $\rho_{dt}$ . Da diesem Wert der Luftanteil fehlt, wird er auf der Dichteskala in Ansatz gebracht und seine Waagerechte senkrecht vom Luftgehalt zum Schnittpunkt geführt. Von diesem Schnittpunkt führt die Parabellinie herab zur linken Dichteskala zur gesuchten Trockendichte  $\rho_d$ .

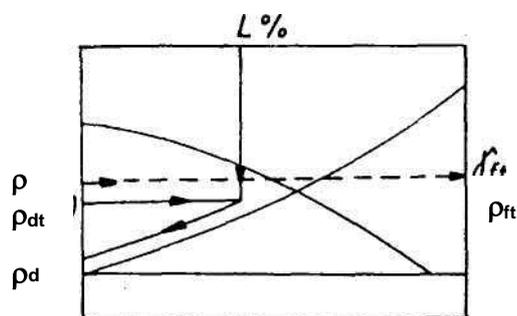


Abbildung 7: Bestimmung der Trockendichte

### 12.3.5 Bestimmung des Porenvolumens

Das Porenvolumen dazu kann an der rechten Blattseite an der Dichteskala in Höhe des hier rechtsseitig angesetzten  $\rho_d$  abgelesen werden, d.h. die Porenvolumenskala ( $n$ ) steigt links angetragen von oben nach unten in den Skalenwerten an.

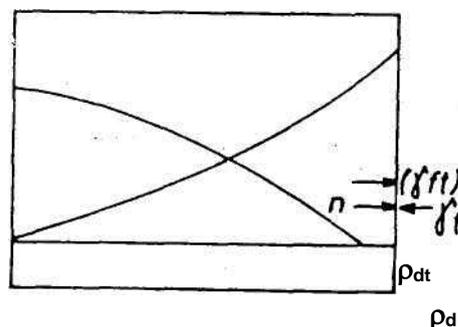


Abbildung 8: Bestimmung des Porenvolumens

### 13. Kontrolle einer Volumenmessung

Die beste Kontrolle erfolgt mit einem Kontrollvolumensatz. Falls kein Kontrollvolumensatz zur Verfügung steht, ist eine Kontrolle mit einer genau eingewogenen Wassermenge möglich. Dieser Vorgang ist wie folgt durchzuführen:

Nach der Durchführung des Versuches wird der Probebehälter entleert und gereinigt. Danach wird er mit Wasser gefüllt und das Volumen gemäß Abschnitt 3 bestimmt.

#### **Beispiel 1:**

Der Versuch an einer Bodenprobe ergab bei einer mittleren Manometerablesung von 1,252 bar auf Tafel 1 ein Volumen von 824 ml ( $V_1$ ). Bei der anschließenden Kontrollmessung wurden 824 g Wasser eingewogen. Die Manometerablesung ergab statt 1,252 bar jetzt 1,257 bar. Daraus ist abzuleiten, dass die Bodenprobe ein geringeres Volumen als 824 ml aufweist.

Die Korrektur wird wie folgt vorgenommen: Die Ablesung der Messung von der Bodenprobe ergab einen Wert von 1,252 bar, laut Tafel 1 entspricht dies einem Volumen von 824 ml. Die Kontrollmessung ergab einen Wert von 1,257 bar, dies entspricht einem Volumen von 826 ml. Daraus ergibt sich eine Korrektur von 0,005 bar, was einem Volumen von 2 ml entspricht. Von dem in der 1. Messung ermittelten Volumen von 824 ml sind 2 ml abzuziehen, d.h. das tatsächliche Volumen der Bodenprobe beträgt 822 ml.

#### **Beispiel 2:**

Die Kontrolllesung an der Wasserfüllung ergab einen niedrigeren Wert von 1,247 bar gegenüber 1,252 bar im Versuch an der Bodenprobe. Demnach ist das Volumen der Bodenprobe größer als das Volumen des zur Kontrolle eingefüllten Wassers. Gemäß Tafel 1 beträgt der Volumenunterschied zwischen 1,252 - 1,247 bar = 824 - 818 = 6 ml, die als Korrektur hinzugerechnet werden müssen. Die Bodenprobe weist also als ein tatsächliches Volumen von 830 ml auf.

Überprüfung des Volumens im Luftpyknometer bei fehlerhafter Anzeige des Feinmessmanometers bzw. bei Abweichung von den Kalibrierdaten

Proben-Nr.:		1	1 <sup>*)</sup>
Trockenmasse plus Masse des Probebehälters [g]		3,892	3,892
Masse des Probebehälters [g]		1,707	1,707
Trockenmasse der Probe $m_d$ [g]		2,185	2,185
Manometerlesungen [bar]	Lesung 1	1,251	1,251
	Lesung 2	1,253	1,252
	Lesung 3	1,252	1,253
Mittelwert [bar]		1,252	1,252
(i) Volumen aus Tafel 1 [cm <sup>3</sup> ]		824	824

Korrektur des Volumens mittels Wasserfüllung (i)

Wasserfüllung im Probenbehälter (i) [g]		824	824
Manometerlesungen an dieser Wasserfüllung = Volumen (i)	Lesung 1	1,257	1,247
	Lesung 2	1,258	1,246
	Lesung 3	1,256	1,248
Mittelwert [bar]		1,257	1,247
(ii) Volumen aus der Tafel [cm <sup>3</sup> ]		826	818
Differenz Vol. (i) zu Vol. (ii) = Korrekturwert für die Verrechnung an Volumen (i) [cm <sup>3</sup> ]		-2	+ 6
V = korrigiertes Volumen [cm <sup>3</sup> ]		822	830
Korndichte $\rho_s = \frac{m_d}{V}$ [g/cm <sup>3</sup> ]		2,66	2,63

<sup>\*)</sup> Die Zahlenbeispiele sind so gewählt, dass die Verrechnung von entgegengesetzten Korrekturwerten verdeutlicht wird.

## 14. Einfluss der Temperatur auf die Messergebnisse

Zur Verbesserung der Messgenauigkeit beim Luftpyknometerverfahren ist darauf zu achten, dass das Luftpyknometer, die zu untersuchende Bodenprobe, ggf. erforderliches Wasser und die Raumtemperatur möglichst übereinstimmen.

Erfahrungsgemäß wird an einer unterkühlten Bodenprobe (Probentemperatur < Lufttemperatur) ein zu kleines Volumen und damit eine zu hohe Raumdichte bzw. eine zu hohe Korndichte bestimmt. Die Wassergehaltsbestimmung ergibt einen zu niedrigen Wassergehaltswert. Umgekehrt würde eine Probe, die eine höhere Temperatur als die Raumtemperatur aufweist, einen zu großen Volumenmesswert veranlassen, d.h. bei einer warmen feuchten Bodenprobe einen zu hohen Wassergehalt anzeigen. Diese Fehlereinflüsse sind durch die Temperaturangleichung zu vermeiden. Hat beispielsweise die zu untersuchende Bodenprobe eine andere Temperatur als das Luftpyknometer bzw. der Arbeitsraum, kann der Temperatenausgleich durch Umrühren oder Bewegen der Bodenprobe erreicht werden. Bei einer Probemasse von 1.000 bis 2.000 g kann dieser Vorgang etwa 10 Minuten dauern.

Bei Wassergehaltsbestimmungen sind Temperaturunterschiede bis 2° C noch vertretbar. Bei der Bestimmung der Korndichte sind dagegen zwingend gleiche Temperaturbedingungen erforderlich.

### **Hinweis:**

*Die Überprüfung der Funktionsfähigkeit, die Kalibrierung und die Erarbeitung der Auswertetafeln bzw. die nach einer Reparatur des Luftpyknometers erforderliche Neukalibrierung erfolgt durch TESTING.*

## 15. Kundendienst

Auf die Richtigkeit dieser Betriebsanleitung wurde viel Sorgfalt verwendet. Es kann aber keine Gewähr dafür übernommen werden, dass es fehlerfrei ist oder bei technischen Änderungen die Angaben weiterhin zutreffen.

### 15.1 Ausgabedatum der Betriebsanleitung

6. Auflage  
Jan 2009

### 15.2 Urheberrecht

Das Urheberrecht verbleibt bei der

**TESTING** Bluhm & Feuerherdt GmbH

Diese Betriebsanleitung ist nur für den Betreiber und dessen Personal bestimmt. Sie enthält Vorgaben und Hinweise, die weder

- vervielfältigt
- verbreitet oder
- anderweitig mitgeteilt werden dürfen.

Zu widerhandlungen können strafrechtlich verfolgt werden.

### 15.3 Ersatzteilversorgung – Adresse

Bitte wenden Sie sich zur Klärung technischer Fragen sowie zur Ersatzteil-Versorgung direkt an folgende Anschrift:

**TESTING Bluhm & Feuerherdt GmbH**  
Motzener Str. 26b  
DE 12277 Berlin

Telefon: ++49 / 30 / 710 96 45-0  
Telefax: ++49 / 30 / 710 96 45-98  
[www.testing.de](http://www.testing.de)

Luftpyknometer  
3.7306

---



## Ersatzteilliste für Luftpyknometer 1 Liter

Artikelnr. ALT	Artikelnr. NEU	Anz.	Bezeichnung	Teile inklusive
3.7306	3.7306	1	LP-Gerät komplett	
	3.7306-O	1	Oberteil ohne Probenbehälter	
1.7304-01	1.7304-A1	1	Probebehälter komplett	
1.7304-02.01	1.7304-A2-01	1	Deckel	O-Ring
N-LP-88	OR-123x6.2	1	O-Ring für Deckel	
2.7302-05	LP-B-02	2	Verschlussbolzen komplett	Kreuzgriff,U-Scheibe u. Bolzen
N-LP06	LP-B-03	1	Kipphebel komplett	Bolzen, Sicherungringe
1.7304-04	1.7304-A4	1	Ventilnadel komplett	O-Ring, Bolzen,Feder u.s.w
N-LP07	LP-B-04	1	Correction Ventil	
	LP-B-04.L		Correction Ventil lang	
N-LP08	LP-B-05	1	Doppelverschraubung komplett	O-Ringe,Rohrstutzen
3.7306-06	3.7306-A5	1	Pumpe komplett	
3.7306-07	3.7306-A5-01	1	Pumpenhülse komplett	
N-LP03	LP-B-01	1	Bodenventil komplett	
3.7306-11	3.7306-A5-02	1	Pumpenstange komplett	
3.7306-08.01	3.7306-A6	1	Manometer	
	3.7306-DS	1	Dichtungssatz	
1.7304-11.05	LP-PM-02	1	Pumpenmanschette	
	3.7306.01		Justierblock 600cm3	
	3.7306.02		Eichvolumensatz	

