


PHYWE Systeme GmbH & Co. KG
Robert-Bosch-Breite 10
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0
Fax +49 (0) 551 604-107
E-mail info@phywe.de
Internet www.phywe.com

Betriebsanleitung

 Das Gerät entspricht den zutreffenden EG-Rahmenrichtlinien.

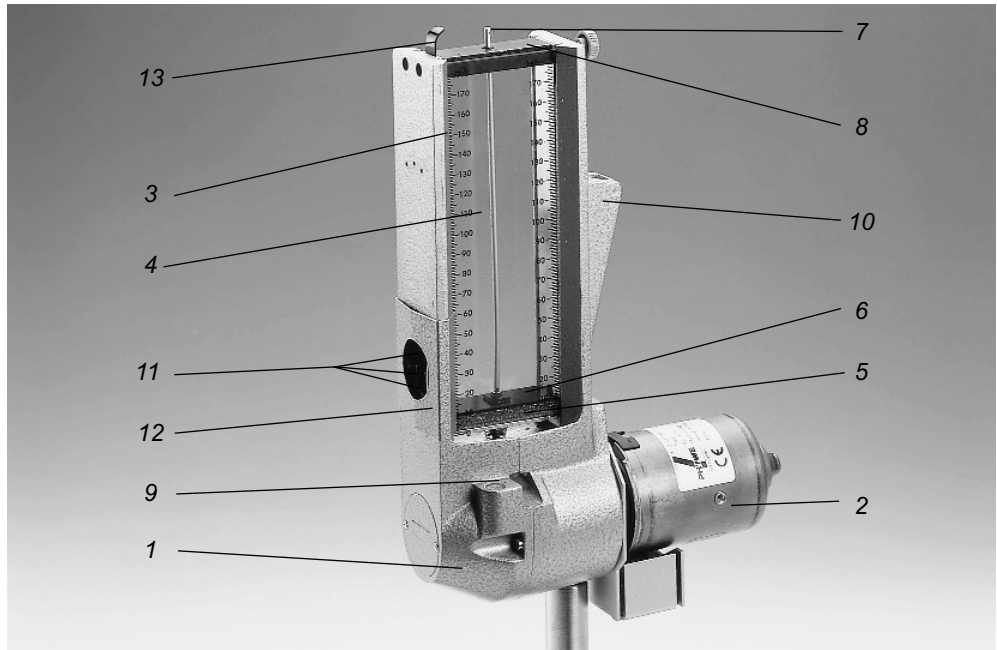


Abb. 1: Gerät zur kinetischen Gastheorie 09060.00.

1 SICHERHEITSHINWEISE



- Vor Inbetriebnahme des Gerätes ist die Betriebsanleitung sorgfältig und vollständig zu lesen. Sie schützen sich und vermeiden Schäden an Ihrem Gerät.
- Das Gerät ist nur zum Betrieb in trockenen Räumen, die kein Explosionsrisiko aufweisen, vorgesehen.
- Das Gerät nicht in Betrieb nehmen, wenn Beschädigungen am Gerät sichtbar sind.
- Verwenden Sie das Gerät nur für den dafür vorgesehenen Zweck.

2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

Das Gerät zur kinetischen Theorie dient mit Hilfe von kleinen Kugeln, die sich in ungeordneter Bewegung befinden, zur modellmäßigen Veranschaulichung von Wärmeerscheinungen an Flüssigkeiten und Gasen.

Neben qualitativen Versuchen über Wärmebewegung, Verdunstung, Verdampfung und Destillation von Flüssigkeiten sind Messversuche über Dichteschwankungen und hieran anknüpfend, statistische Betrachtungen sowie die zahlenmäßige Darstellung der barometrischen Höhenformel und des Druck-Volumen-Gesetzes an einem Modellgas möglich.

In Verbindung mit dem Auffänger mit Registrierkammer oder mit der Platte mit Ringsektoren (s. Geräteliste) kann die Verteilungsfunktion für die Geschwindigkeit der Teilchen eines Modellgases experimentell gewonnen und hieraus deren mittlere Energie berechnet werden.

Die Modellteilchen - Glas- oder Stahlkugeln - werden in einer projizierbaren Kammer durch eine oszillierende Grundplatte, deren Frequenz variierbar ist, in eine ungeordnete Bewegung versetzt. Eine Erhöhung der Schwingfrequenz der Grundplatte bedeutet dann eine modellmäßige Temperaturerhöhung der Teilchen.

3 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE

Abb. 1 zeigt folgende Funktions- und Bedienelemente:

- 1 *Gehäuse*
mit eingebautem Exzenterantrieb, sowie mit festem Halte- und beiliegendem Hohlstiel zur höhenvariablen Geräteaufstellung.
- 2 *Elektromotor 12 V-*
- 3 *Seitenwände des Kammerrahmens*
- 4 *Herausnehmbare Glasscheiben*,
davon ist eine für Projektionszwecke mit einer 0...180 mm-Höhenskala versehen.
- 5 *Bodenplatte*,
die durch den Exzenterantrieb in Schwingungen variabler Frequenz angeregt wird.
- 6 *Deckel*,
dessen Position mit Hilfe der Führungsstange (7) höhenvariabel ist.
- 7 *Führungsstange für Deckel*
Die Stange ist an ihrem äußerem Ende mit einem Ring und einer Bohrung versehen. Der Ring ermöglicht die Belastung mit Massestücken; mit Hilfe der Bohrung kann ein Seidenfaden angebracht werden, der das Montieren eines Kraftmessers und damit die stufenlose Messung

von Druckkräften auf den Deckel ermöglicht.

- 8 **Abschlussstück**
zur Führung und mit Hilfe der Rändelschraube auch zur Arretierung der Führungsstange.
- 9 **Dosenlibelle**
zur Prüfung auf die erforderliche Senkrechtstellung der Kammer.
- 10 **Trichteransatz**
mit bodenaher Mündung zur Füllung der Kammer mit Glas- oder Metallkugeln.
- 11 **3-seitliche, kreisförmige Austrittsöffnungen**
unterschiedlichen Durchmessers. Die oberste Öffnung (\varnothing 10 mm) kann mit Hilfe des Sperr-Riegels (13), der in drei Stellungen einrastbar ist, einzeln oder zusammen mit der darunter liegenden Öffnung (\varnothing 5 mm) verschlossen oder geöffnet werden. Die unterste Öffnung (\varnothing 7 mm) liegt in gleicher Höhe mit der gegenüberliegenden Trichtermündung.
- 12 **Halteschieber**
zur Arretierung der in die außenseitige Aussparung einsetzbaren Fang- oder Filterkammern.
- 13 **Sperr-Riegel**
mit dessen Hilfe die Austrittsöffnungen geöffnet oder geschlossen werden können.

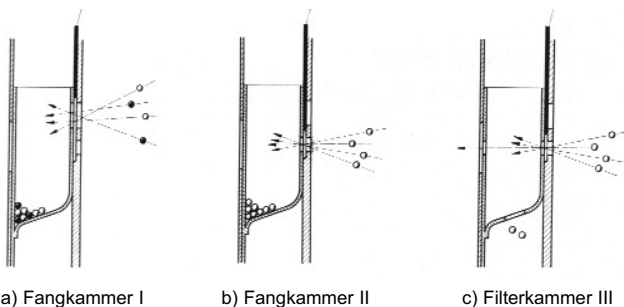


Abb. 2: Verschiedene Kammern.

Abb. 2 zeigt die zur Verfügung stehenden, unterschiedlichen Kammern. Fangkammer Typ I besitzt an ihrer der Kammer zugewandten Seite eine Öffnung, die in Durchmesser und Höhenposition auf die obere Kammeröffnung abgestimmt ist. Fangkammer Typ II ist entsprechend auf die mittlere Kammeröffnung abgestimmt. Die Filterkammer III ist in ihrer Höhenposition wieder auf die mittlere Kammeröffnung abgestimmt, besitzt aber zusätzlich einen nach außen weisenden Austrittsschlitz und ein kreisförmiges Bodenloch.

4 HANDHABUNG

4.1 Inbetriebnahme

Das Grundgerät wird mit Hilfe der beiliegenden Stativstange in einen Dreifuß mit Nivellierfüßen gesetzt und dann auf einer geräuschkämpfenden Unterlegmatte senkrecht einjustiert. In der Regel wird eine der beiliegenden Fangkammern eingesetzt, wozu der Halteschieber hochgezogen werden muss. Der Sperr-Riegel wird so eingestellt, dass Kammer und Fangkammer voneinander getrennt sind.

Vor der ersten Füllung empfiehlt es sich, die Kugeln sorgfältig in lauwarmem Wasser in das etwas Spülmittel gegebenen

ist, zu reinigen und anschließend gut zu trocknen.

Die Betriebsspannung für den Elektromotor wird einem Stelltrafo mit Gleichrichter entnommen. Die Anschlussleitungen dürfen nicht länger als 1 m sein. Die gewünschte Motordrehzahl und damit die Frequenz der oszillierenden Bodenplatte wird durch Variation der Betriebsspannung eingestellt und falls erforderlich mit Hilfe eines Stroboskops gemessen. Hierzu wird der Kammerboden mit dem Stroboskop, dessen Blitzfrequenz z.B. auf 50 Hz (3000/min) eingestellt ist, beleuchtet und die Motordrehzahl langsam erhöht. Hat der Motor die am Stroboskop eingestellte Frequenz erreicht, so erscheint die beleuchtete Bodenplatte als ruhend oder bei geringer Abweichung in langsamer Auf- und Abwärtsbewegung.

4.2 Füllen und Entleeren

Handelt es sich um die modellmäßige Darstellung von Flüssigkeiten, so werden je nach Experiment 1000 bis 2000 Kugeln benutzt. Bei der Simulation von Gaseigenschaften hat sich eine Füllung mit 400 Kugeln bewährt. Statt diese abzuzählen, bestimmt man die erforderliche Anzahl durch Wägen, indem man z.B. einmal die Masse von 100 Kugeln und damit die Masse der jeweils erforderlichen Anzahl ermittelt. Die hierbei erreichte Genauigkeit reicht in allen Fällen aus.

Es empfiehlt sich immer einige Reagenzgläser mit je 200 oder 400 Kugeln bereitzuhalten. Bei Versuchen zur Geschwindigkeitsverteilung muss die je Minute ausgeworfene Anzahl von Kugeln (etwa 45/min) zur Aufrechterhaltung der Anfangsbedingungen wieder zugeführt werden. Man wird auch hier wieder die erforderliche Zahl von Reagenzgläsern (ca. 10) mit der entsprechenden Kugelmenge bereithalten.

Das Einfüllen der Kugeln erfolgt am besten bei laufendem Motor über den seitlichen Einfülltrichter. Zum vollständigen Entleeren der Kammer und zum Auffangen der Kugeln in einem Becherglas wird die Glasscheibe auf der Seite der Bodenrille hochgezogen, wobei das Grundgerät zusätzlich etwas zu neigen ist.

5 EXPERIMENTE

5.1 Veranschaulichung der Destillation

Zur Realisierung eines modellmäßigen Gemisches zweier Flüssigkeiten wird die Kammer mit 1000 Glas- und 1000 Stahlkugeln gefüllt. An der Seitenwand befindet sich die Fangkammer, die zunächst durch den Sperr-Riegel verschlossen bleibt, der Kammerdeckel wird ganz hochgezogen. Wird die Frequenz des oszillierenden Kammerbodens langsam bis 3000/min erhöht, so ist eine erhöhte Wärmebewegung und damit auch eine Temperaturerhöhung zu beobachten. Wird nun die Öffnung der Fangkammer freigegeben (s. Abb. 2a), so „destillieren“ vorzugsweise die Glas-kugeln mit dem geringeren „Molekulargewicht“ in die Fangkammer.

5.2 Barometrische Höhenformel

Die Kammer wird mit 400 Stahlkugeln gefüllt und eine Oszillatorfrequenz von 3000/min ist einzustellen. Befindet sich der verschiebbare Deckel auf einer geringen Höhe (ca. 6 cm), so sind augenscheinlich die bewegten Kugeln in dem zur Verfügung stehenden Volumen gleichmäßig verteilt. Stellt man den Deckel auf maximale Höhe ein, so erkennt man, dass durch den nicht zu umgehenden Einfluss des Erdgravitationsfeldes die Dichte mit zunehmender Höhe abnimmt. Mit Hilfe einer Gabellichtschranke und eines Zählers kann

z.B. bei konstanter Frequenz die Teilchenzahl n pro Zeiteinheit und Raumelement an der Stelle h über dem Boden bestimmt und damit die barometrische Höhenformel experimentell an einem Modellgas verifiziert werden.

$$n = n_0 \cdot e^{-\frac{mg(h-h_0)}{kT}}$$

(m = Teilchenmasse; n bzw. n_0 Teilchenzahl in der Höhe h bzw. h_0 ; g = Erdbeschleunigung; k = Boltzmannkonstante und T = Temperatur).

Da die Wahrscheinlichkeit für Mehrkugeldurchgänge kurz über der Vibratorplatte sehr hoch ist, empfiehlt es sich, mit der Messung erst ca. 3 cm über dieser zu beginnen.

5.3 Geschwindigkeitsverteilung im Modellgas

Hierzu wird bei eingesetzter Filterkammer die Kammer mit 400 Glaskugeln gefüllt, die Kammerhöhe auf 6 cm eingestellt und eine Erregerfrequenz von 3000/min gewählt.

Durch die Filterkammer (s. Abb. 2c) können nun nur die Kugeln nach außen gelangen, deren Geschwindigkeitsvektor horizontal liegt oder der nur um einen kleinen Winkelbetrag von dieser Richtung abweicht. Alle anderen Kugeln, die in die Kammer eintreten, werden abgefangen und über den Fallschacht der Kammer wieder zugeführt.

Durch die austretenden Kugeln wird annähernd der waagerechte Wurf realisiert, wobei die erzielte Wurfweite ein Maß für die Geschwindigkeit c der Kugeln ist. Die Kugeln werden auf einer um die Strecke h unter der Austrittsöffnung liegenden waagerechten Ebene aufgefangen. Aus Wurfweite s und Fallhöhe h ergibt sich:

$$c = \frac{s}{t} = s \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

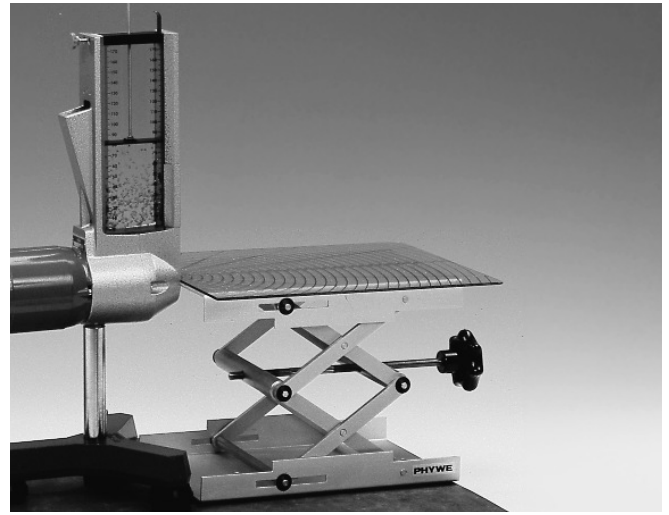


Abb. 3: Platte mit Ringsektoren 09062.00.

Man zählt die in jedem Intervall $(c, c + \Delta c)$ befindlichen Kugeln aus und kommt so zu der Verteilungsfunktion der Geschwindigkeit.

Zur Registrierung der Wurfweiten stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung.

- a Auf die Platte mit Ringsektoren (s. Geräteliste und Abb. 3) wird vor Versuchsbeginn mit einem Pinsel eine ca. 1 mm dicke Schicht von wasserlöslichem Kaltleim aufgetragen. Danach wird die Platte an die Kammerwand herangeführt und horizontal so gelagert, dass der Höhenunterschied zwischen Austrittsschlitz der Filterkammer und der Platte 80 mm beträgt. Mit dem Öffnen des Sperr-Riegels wird eine Stoppuhr gestartet, so dass nach jeder Minute 45 Kugeln über den Trichteransatz nachgefüllt werden können. Der Versuch ist nur so lange durchzuführen, wie hinreichend Platz für die auftreffenden Kugeln auf der Platte vorhanden ist.

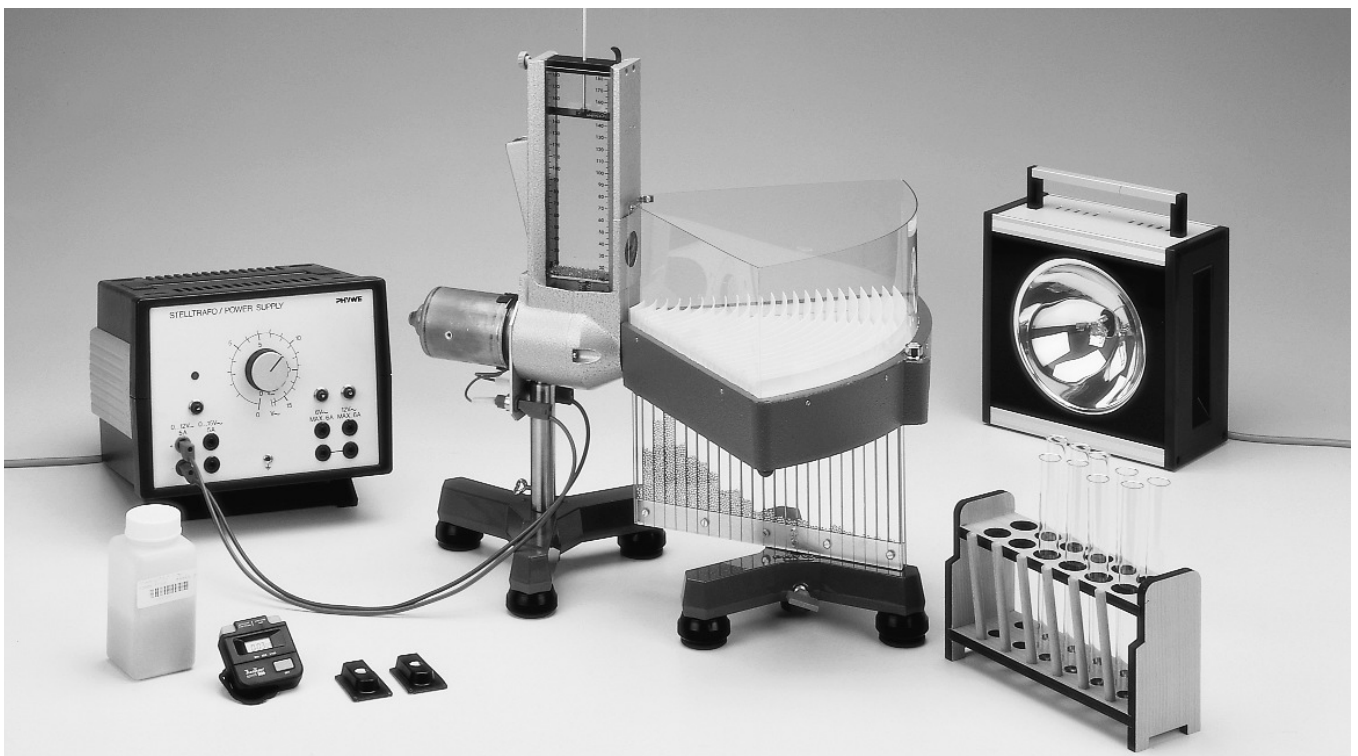


Abb. 4: Versuchsaufbau.

Die konzentrischen Sektoren auf der Platte erzeugen benachbarte Teilflächen, auf denen Kugeln haften, deren Geschwindigkeiten dann zwischen c und $c+\Delta c$ liegen. Die Kugelanzahl je Sektor ist zu bestimmen und gegen die Wurfweite aufzutragen. Die resultierende Kurve sollte dann einer Maxwellschen Verteilungsfunktion entsprechen.

- b Anstelle der Platte mit Ringsektoren kann zur Wurfweitenbestimmung auch der Auffänger mit Registrierkammer verwendet werden (s. Geräteliste und Abb.4). Mit Hilfe des Dreifußes und der Dosenlibelle ist die Kammer waagrecht aufzustellen. Der Höhenunterschied zwischen Oberkante des Auffängers und Austrittsschlitz der Filterkammer sollte wieder 80 mm betragen. Die weiteren Versuchsbedingungen sind entsprechend 5.3 a) einzuhalten.

Nach Versuchsbeendigung zeigen die Schichthöhen der in den einzelnen Zellen der Kammer gesammelten Kugeln eine Treppenkurve, die man durch eine stetige Funktion grafisch annähern kann, um wieder den Vergleich mit einer Maxwellschen Verteilungsfunktion vornehmen zu können.

5.4 Modellversuch zum Boyleschen Gesetz

Man füllt die Kammer mit ca. 400 Glaskugeln und lässt den Kammerdeckel frei beweglich. Man erreicht auf diese Weise eine Belastung des Gases. Die zeitliche Impulsänderung aller auf die Deckelunterseite auftreffenden Kugeln bewirken dann den Druck des Modellgases. Wird der Außendruck auf das Gas mit Hilfe von zusätzlich angebrachten Massestücken erhöht, so ist eine Volumenverringerng festzustellen. Vergrößert man die Erregerfrequenz, was einer modellmäßigen Temperaturerhöhung entspricht, so ist damit eine Volumenvergrößerung bei konstantem Druck zu registrieren. Weiterhin kann man durch zusätzliche Deckelbelastung den Fall der Druckerhöhung eines Gases mit steigender Temperatur bei konstantem Volumen darstellen.

5.5 Ausgleichs- und Zerfallvorgänge im Modellversuch

Mit Hilfe der Fangkammer Typ II kann untersucht werden, wieviel Kugeln nach Freigabe des Sperr-Riegels die Kammer in einer bestimmten Zeit verlassen. Die hierbei gefundenen n - t -Werte ergeben den Verlauf einer logarithmischen Kurve,

$$n = n_0(1 - e^{-kt})$$

die z.B. den Temperatenausgleich in der Form des Newton'schen Abkühlungsgesetzes oder das zeitliche Spannungsverhalten beim Laden eines Kondensators beschreibt.

Andererseits kann durch die Zahl $N = n_0 - n$ der nach der Zeit t noch in der Kammer befindlichen Kugeln die Gleichung ver-

$$N = N_0 e^{-kt}$$

fiziert werden, mit der z.B. der zeitliche Verlauf beim radioaktiven Zerfall oder die Entladung eines Kondensators beschrieben werden können.

6 LITERATURHINWEIS

Handbook Laboratory Experiments Physics	16502.32
Laboratory Experiments Chemistry	16504.12

7 GERÄTELISTE

Gerät zur kinetischen Theorie	09060.00
incl. 4 Fang- u. 1 Filterkammer,	
1000 Stahl-, 10000 Glaskugeln	
Platte mit Ringsektoren	09062.00
incl. 2 Beutel Kaltleim	
Auffänger mit Registrierkammer	09061.00
Stelltrafo m. Gleichrichter 15 VAC/12 VDC/5 A	13530.93
oder	
Netzgerät 0...12 V DC/ 6 V, 12 V AC	13505.93
Dreifuß „PASS“	(2 x) 02002.55
Stroboskop	21809.93
Laborhebebühne	02074.01
Gabellichtschranke	11207.20
Digitalzähler, 4 Dekaden	13600.93
<i>Ersatzmaterial</i>	
Stahlkugeln, 1000 Stück	09060.02
Glaskugeln, 10000 Stück	09060.01

8 BETRIEBSHINWEISE

Das vorliegende Qualitätsgerät erfüllt die technischen Anforderungen, die in den aktuellen Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft zusammengefasst sind. Die Produkteigenschaften berechtigen zur CE-Kennzeichnung. Der Betrieb dieses Gerätes ist nur unter fachkundiger Aufsicht in einer beherrschten elektromagnetischen Umgebung von Forschungs-, Lehr- und Ausbildungsstätten (Schulen, Universitäten, Instituten und Laboratorien) erlaubt.

9 TECHNISCHE DATEN

Flachkammer	(60 x 180 x 20) mm
max. Betriebsspannung	15 V-
Strombedarf	ca. 1,3 A
Stahlkugel	$d = 2 \text{ mm} \pm 0,08 \text{ mm}$
Glaskugel	$d = 2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$
Platte mit Ringsektoren	(230 x 300 x 3) mm
Masse	0,52 kg
Auffänger mit Registrierkammer	(240 x 5 x 120) mm
Masse	2,4 kg

10 GARANTIEHINWEIS

Für das von uns gelieferte Gerät übernehmen wir innerhalb der EU eine Garantie von 24 Monaten, außerhalb der EU von 12 Monaten. Von der Garantie ausgenommen sind: Schäden, die auf Nichtbeachtung der Bedienungsanleitung, unsachgemäße Behandlung oder natürlichen Verschleiß zurückzuführen sind.

Der Hersteller kann nur dann als verantwortlich für Funktion und sicherheitstechnische Eigenschaften des Gerätes betrachtet werden, wenn Instandhaltung, Instandsetzung und Änderungen daran von ihm selbst oder durch von ihm ausdrücklich hierfür ermächtigte Stellen ausgeführt werden.

11 ENTSORGUNG

Die Verpackung besteht überwiegend aus umweltverträglichen Materialien, die den örtlichen Recyclingstellen zugeführt werden sollten.



Dieses Produkt gehört nicht in die normale Müllentsorgung (Hausmüll).
Soll dieses Gerät entsorgt werden, so senden Sie es bitte zur fachgerechten Entsorgung an unten stehende Adresse.

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG
Abteilung Kundendienst
Robert-Bosch-Breite 10
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-274
Fax +49 (0) 551 604-246