



DW405-0W Wellenmaschine

Die Wellenmaschine dient zur Demonstration von Versuchen zum Verhalten von mechanischen transversalen Wellen und deren Eigenschaften. Diese Anleitung soll Sie mit der Bedienung und den Demonstrationsmöglichkeiten dieser Wellenmaschine vertraut machen.

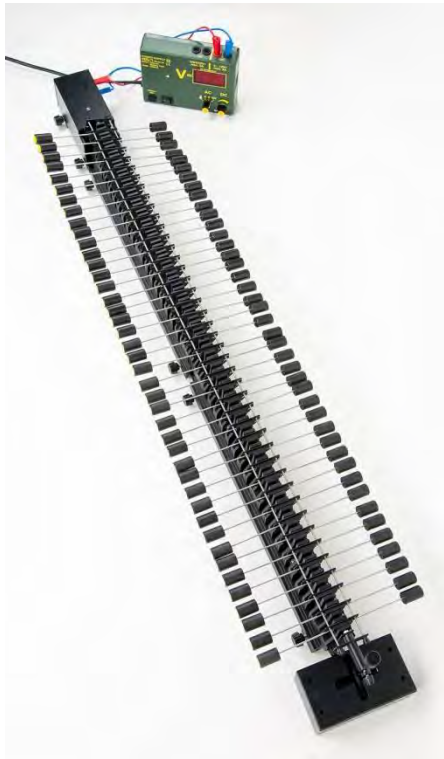


Abb.1

Inhalt

1. Beschreibung und Aufbau der Wellenmaschine
2. Versuche mit einem Modul (Schwingungsmodul 2a)
3. Versuche mit dem Schwingungsmodul 1 und dem Schwingungsmodul 2b

1. Beschreibung und Aufbau der Wellenmaschine

Die Wellenmaschine dient zur Demonstration von mechanischen Wellen und deren Eigenschaften. Der allgemeine Aufbau der Wellenmaschine erfolgt im Modulsystem. Hier stehen zwei verschiedene Schwingungsmodulare (DW405-1A und DW405-1E), ein Ergänzungsmodul (DW405-2E), eine Antriebseinheit (DW405-2A) und eine Dämpfungseinheit (DW405-2D) zur Verfügung. Bereits mit einem Schwingungsmodul lassen sich einfache Schwingungsversuche darstellen.

Durch den Zusammenbau mehrerer Module mit gleichem oder unterschiedlichem Schwingungsverhalten lassen sich größere Wellenmaschinen aufbauen. Durch die vergrößerte Wellenmaschinenlänge lassen sich die Versuche besser beobachten.

Modul 1: Schwingungsmodul 1 (DW405-1A)

21 Doppelpendel je 22 cm lang auf einem 40 cm langen Aluminium-Spezialprofil. Die zylindrischen Pendelmassen sind im Abstand von 1,8 cm horizontal drehbar gelagert und durch zwei Spiralfedern koppelbar. Durch diese Kopplung wird eine Wellenausbreitung hergestellt. Mittels Bremsbacken lassen sich die Pendelbewegungen sofort stoppen oder dämpfen, um z.B. die Wellenlängen zu messen. Inbegriffen sind Spiralfedern zum Einspannen in verschiedenen Längen (38 cm; 80 cm).



Abb. 2 Schwingungsmodul 1

Modul 2: Schwingungsmodul 2a (Ergänzungsmodul DW405-1E)

21 Doppelpendel je 22 cm lang auf einem 40 cm langen Aluminium-Spezialprofil. Das Modul 2 dient zur Erweiterung von Modul 1. Hier lassen sich mittels einer Verlängerungsschiene somit 42 Doppelpendel koppeln. Die Bremsleiste mit den aufgesetzten Bremsbacken wird mit der Bremsleiste von Modul 1 verbunden.



Abb. 3 Ergänzungsmodul

Modul 3: Schwingungsmodul 2b (DW405-2E)

21 Doppelpendel je 22 cm lang auf einem 40 cm langen Aluminium-Spezialprofil. Dieses Modul unterscheidet sich von Modul 2 nur durch die geringeren Pendelmassen womit sich unterschiedliche Wellengeschwindigkeiten realisieren lassen.



Abb. 4 Schwingungsmodul B

Modul 4: Antriebseinheit (DW405-2A)

14 cm lang, auf Aluminium-Spezialprofil mit Anschlussbuchsen für eine regelbare Gleichspannungsquelle (6 V / 0,5 A)

Ein Gleichstrommotor mit angeflanschem Exzenter steuert die Geschwindigkeit der Pendelbewegung der Erregerplatte. Durch Änderung der Gleichspannung wird die Pendelfrequenz der Erregerplatte erhöht bzw. verringert.

Die Anregung von Wellen oder Impulsen kann zwar durch die Hand erfolgen, doch die konstante Bewegung des elektrischen Antriebs ermöglicht eine bessere Beobachtung bzw. Vergleich der erzeugten Wellen.



Abb 5: Antriebseinheit

Modul 5: Dämpfungseinheit (DW405-2D)

Die Dämpfungseinheit kann am Ende der Wellenmaschine montiert werden und verhindert durch eine im Wasser laufende Dämpfungsplatte eine ungewollte Reflektion der Welle.



Abb. 6 Dämpfungseinheit

Die Schwingungsmodule 2a und 2b unterscheiden sich in der Masse der, an den Pendelstäben angebrachten, Schwingkörper. Bei gleichen geometrischen Dimensionen wird durch die verschiedenen Trägheitsmomente eine unterschiedliche Wellenausbreitungsgeschwindigkeit erreicht.

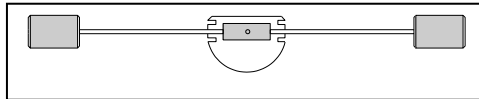


Abb. 7

Das in Abb. 7 dargestellte Pendel zeigt die Schwingungsmassen an den Pendelenden. Die Spiralfedern, mit denen die einzelnen Pendel gekoppelt werden, lassen sich oberhalb bzw. unterhalb der Pendeldrehachse einhängen. Die Spiralfedern mit 38 cm Länge werden verwendet, wenn nur ein Modul und die Antriebseinheit bzw. die Dämpfungseinheit benötigt wird. Bei der Kopplung mehrerer Schwingungsmodule werden die 80 cm langen Spiralfedern verwendet.

2. Versuche mit einem Modul (Schwingungsmodul 2a)

2.1 Versuchsaufbau

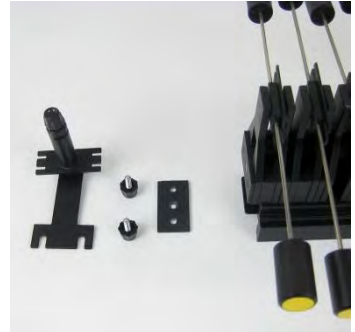
Geräte:

Schwingungsmodul 2a (oder 2b)

Dämpfungseinheit

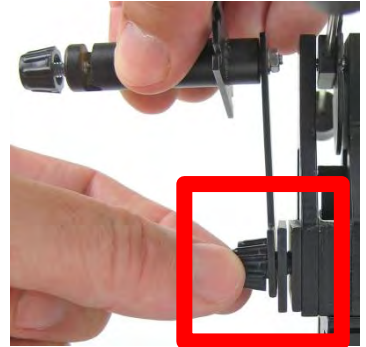
2 Spiralfedern 38 cm

Die Dämpfungseinheit wird am Ende des Schwingungsmoduls mit den am Bild rechts zu sehenden Teilen angebaut.

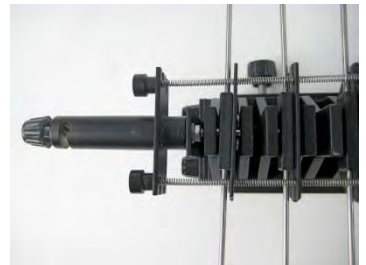


Schrauben Sie die Abstandsplatte an das Schwingungsmodul, ziehen die Schrauben aber noch nicht fest.

Setzen Sie nun die drehbare Halterung zwischen Schraubenkopf und Abstandsplatte ein – drehen Sie nötigenfalls die Schrauben etwas auf.



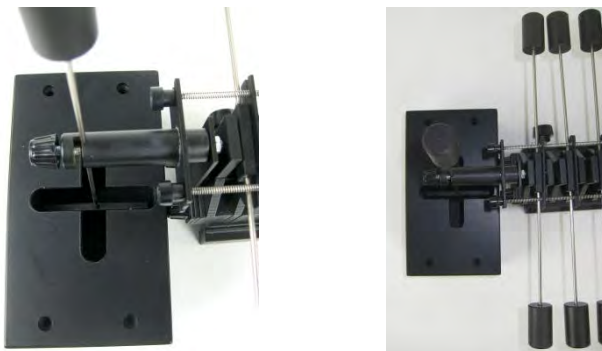
Jetzt können die beiden Schrauben gefühlvoll fest gezogen und die Dämpfungseinheit mittels der zwei 38 cm langen Spiralfedern an das Schwingungsmodul 2 angekoppelt werden.



Am Ende wird der Deckel des Wassertroges aufgesetzt (sofern nicht bereits geschehen), das Pendel der Dämpfungseinheit in der drehbaren Halterung eingesetzt und festgeschraubt.



Achten Sie darauf, dass das Pendel frei schwingen kann – verschieben Sie gegebenenfalls den Wassertrog.



Der Wassertrog der Dämpfungseinheit wird fast randvoll mit Wasser gefüllt, sodass sichergestellt ist, dass das Dämpfungspendel vollständig in das Wasser eintaucht.



Abb. 8 (fertiger Aufbau)

2.2 Ausbreitung einer fortlaufenden Welle

a) Versuchsdurchführung (Impuls):

Das erste Pendel des Schwingungsmodul 2a wird einmalig von Hand ausgelenkt. (Siehe Abb. 9)



Abb. 9



Abb. 10

Der Impuls läuft durch das Modul und wird am Ende von der Dämpfungseinheit gelöscht. Eine Momentbeobachtung ist durch das manuelle Ziehen der Bremsschiene möglich.

b) Versuchsdurchführung (fortlaufende Welle):

Das erste Pendel des Schwingungsmodul 2a wird regelmäßig periodisch ausgelenkt. Um eine gleichmäßig fortlaufende Welle zu beobachten, sollte man etwa ein bis zweimal pro Sekunde das Pendel auslenken. Eine höhere Auslenkfrequenz ist nicht anzuraten, da durch die geringe Wellenlänge die Wellenausbreitung nicht mehr zu beobachten ist.

2.3 Reflexion einer Welle (am festen Ende)

Versuchsgeräte:

Schwingungsmodul 1

Fixierplatte

2 Spiralfedern 38 cm

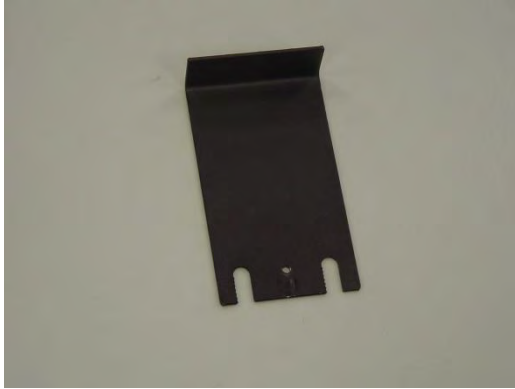


Abb. 11 Fixierplatte

Versuchsaufbau:

Die einzelnen Pendel werden durch die zwei Spiralfedern verbunden. Die Fixierplatte wird am Ende des Schwingungsmodul 1 angeschraubt und damit das letzte Pendel in horizontaler Lage fixiert.

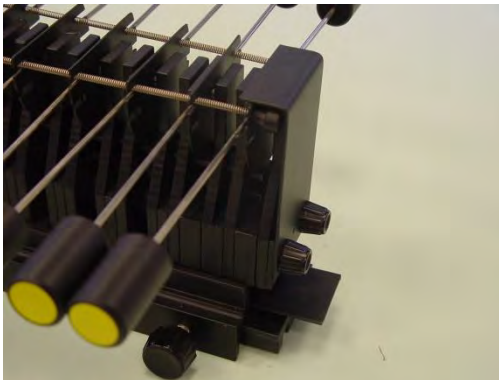


Abb. 12

Versuchsdurchführung:

Das erste Pendel des Schwingungsmodul 1 wird einmalig mit einer vollständigen Schwingung bewegt.

Es wird eine Welle beobachtet, die vom Beginn der Wellenmaschine bis zum Ende durchläuft und dort mit umgekehrter Phasenrichtung reflektiert wird. Die Amplitude der reflektierten Wellenbewegung wird geringfügig gedämpft. (siehe Abb. 13)



Abb. 13

2.4 Reflexion einer Welle (am losen Ende)

Versuchsgeräte:

Schwingungsmodul 1

Dämpfungseinheitsverbinder

2 Spiralfedern 38 cm

Versuchsaufbau:

Da das letzte Pendel durch die beiden Spiralfedern an das innere Lager gezogen wird, kann es nicht frei schwingen. Es ist somit eine Zugentlastung zu erstellen. Dazu wird der Dämpfungseinheitsverbinder am Ende des Schwingungsmoduls angebracht und mit den zwei 38 cm langen Spiralfedern zu den Pendeln gehängt



Abb. 14

Versuchsdurchführung:

Das erste Pendel des Schwingungsmodul 1 wird einmalig mit einer vollständigen Schwingung bewegt.

Es wird eine Welle beobachtet, die vom Beginn der Wellenmaschine zum Ende durchläuft und mit gleicher Phasenrichtung reflektiert wird. Die Amplitude der reflektierten Wellenbewegung wird geringfügig gedämpft. (siehe Abb. 15)

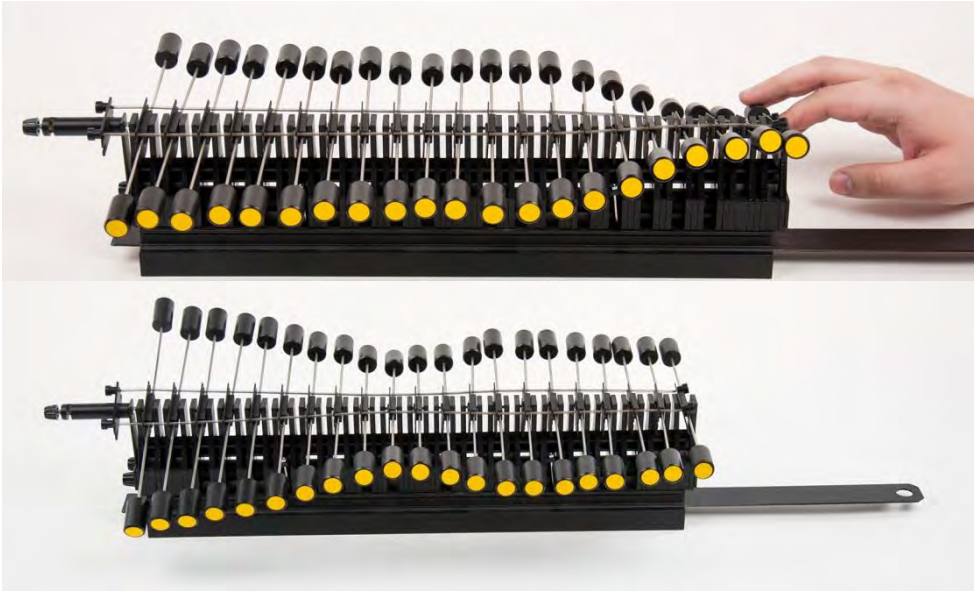


Abb. 15

2.5 Stehende Wellen

Versuchsgeräte:

Schwingungsmodul 1

Antriebseinheit

Fixierplatte

2 Spiralfedern 38 cm

Versuchsaufbau:

Die Antriebseinheit wird mit dem Schwingungsmodul 1 verbunden. Die Pendel werden durch die Spiralfedern mit der Antriebseinheit verbunden. Am anderen Ende des Moduls wird die Fixierplatte angebracht.



Abb. 16

Versuchsdurchführung:

Mit der Antriebseinheit wird eine regelmäßige Schwingung angeregt. Die Periodendauer muss so gewählt werden, dass es Knotenpunkte in der Welle gibt, die nahezu in Ruhe sind.

Zu beobachten sind je nach Frequenz folgende Schwingungen:

$$f_1 = \frac{\lambda}{2}$$



$$f_2 = \lambda$$



$$f_3 = 3 * \frac{\lambda}{2}$$



Abb.17

Empfohlen werden folgende Spannungsbereiche:

f_1 : 1,3 – 1,5 V

f_2 : 2,0 – 2,5 V

f_3 : 3,0 – 3,5 V

2.6 Überlagerung von Wellen

Versuchsgeräte:

Schwingungsmodul 1

2 Spiralfedern 38 cm

Versuchsdurchführung:

Die Pendel werden durch die Spiralfedern miteinander verbunden. Mit beiden Händen erzeugt man an beiden Enden des Schwingungsmoduls gleichzeitig Wellenberge mit gleicher Amplitude.

Man kann beobachten, wie die Wellen aufeinander zulaufen und sich in der Mitte zu einem Wellenberg mit etwa doppelter Amplitudenhöhe überlagern.



Abb. 18

Erzeugt man mit den Händen auf der einen Modulseite einen Wellenberg und gleichzeitig auf der anderen Seite ein Wellental, so überlagern sich die Wellen in der Mitte und löschen sich in der Mitte aus.



Abb. 19

2.7 Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle

Versuchsgeräte:

Schwingungsmodul 1

Universal-Zeitähler "inno" (P3120-2Z)

Gabellichtschanke (P3120-3LR)

Rollmaßband (P1100-1E)

Antriebseinheit

Stativmaterial

2 Spiralfedern 38 cm

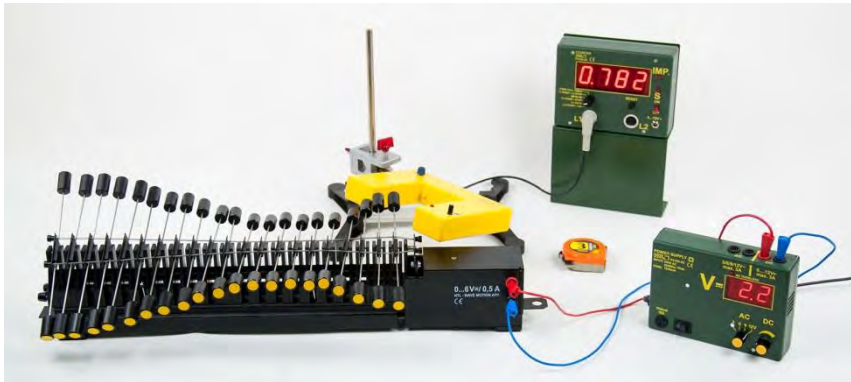


Abb. 20

Versuchsaufbau:

Die Pendel werden durch die Spiralfedern miteinander und mit der Antriebseinheit verbunden. Die Gabellichtschanke wird mit dem Universalzeitähler verbunden. Der Zeitähler wird auf Start-Stopp eingestellt. Die Lichtschanke wird auf einem Stativ befestigt. (siehe Abb. 20)

Das Stativ wird so aufgestellt, dass das erste Pendel durch den Lichtschanke pendelt (siehe Abb. 21).



Abb. 21

Auf diese Weise wird nun die Schwingungsdauer einer halben Schwingung gemessen (also $\lambda/2$). Dieser Wert sollte mehrmals gemessen werden um daraus den Mittelwert der Schwingungsdauer zu errechnen. Um die Schwingungsdauer einer gesamten Schwingung zu errechnen, muss man den Mittelwert nur mehr verdoppeln.

Versuchsdurchführung:

Mit der Antriebseinheit wird eine gleichmäßige Schwingung (stehende Welle) angeregt. Nach der Messung der Schwingungsdauer einer halben Schwingung muss immer „Reset“ gedrückt werden, da sonst die Werte addiert werden.

Die Wellenlänge lässt sich durch Betätigen der Bremse und Abmessen mit dem Rollmaßband bestimmen.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit errechnet sich nun als Quotient aus Wellenlänge und Schwingungsdauer.

Beispiel: Man erzeugt eine stehende Welle mit zwei Schwingungsknoten und misst mit dem Maßband den Abstand λ der Wellenknoten (hier zum Beispiel $\lambda = 20\text{cm} = 0,2\text{m}$).

Man errechnet z.B. eine Zeit von 5 s für 10 ganze Schwingungen

Somit ergibt sich eine Schwingungsdauer von $T = \frac{5\text{s}}{10} = 0,5\text{s}$

Die Phasengeschwindigkeit ist also: $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,2\text{m}}{0,5\text{s}} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

3. Versuche mit dem Schwingungsmodul 1 und dem Schwingungsmodul 2b

Das Schwingungsmodul 2b unterscheidet sich vom Ergänzungsmodul lediglich durch die veränderten Schwingungsmassen der Pendel. Im allgemeinen lassen sich zwar alle bisher beschriebenen Versuche auch mit dem Schwingungsmodul 2b durchführen, jedoch ist die Beobachtung schwieriger, da eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen die Beobachtungszeit verkürzt. Dies ließe sich mit Versuch 2.6 gut nachweisen.

3.1 Wellenlängen in Abhängigkeit der Schwingungsmassen

Versuchsgeräte:

Schwingungsmodul 1

Schwingungsmodul 2b

Dämpfungseinheit

Antriebseinheit

2 Spiralfedern 80 cm

Versuchsaufbau:

An das Schwingungsmodul 1 wird das Schwingungsmodul 2b gekoppelt. Die Dämpfungseinheit wird am Ende des Schwingungssystems befestigt, um Reflexionen zu vermeiden. Die Dämpfungseinheit sollte mit Wasser gefüllt werden. Die Pendel inklusive der Antriebseinheit und der Dämpfungseinheit werden durch die Spiralfedern miteinander verbunden.

Versuchsdurchführung:

Mit dem Antriebsmodul wird eine periodische Schwingung mit einer Frequenz von etwa $f = 1\text{Hz}$ erzeugt.

(Durch Betätigung der Bremsschiene lässt sich das Schwingungsbild gut „einfrieren“.)

Es lässt sich beobachten, dass im Schwingungsmodul 2b etwa die doppelte Wellenlänge als im Schwingungsmodul 1 entsteht (siehe Abb. 22). Die Amplitude der einzelnen Wellen nimmt natürlich durch die geringe Dämpfung etwas ab.

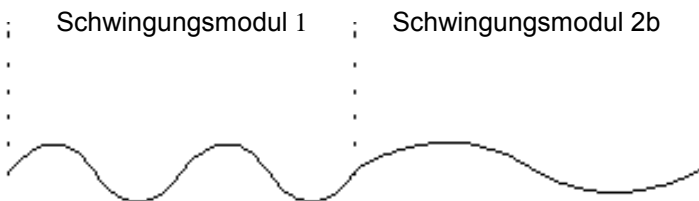


Abb. 22



Abb. 23