

(19)



österreichisches  
patentamt

(10)

AT 501 870 A1 2006-12-15

(12)

# Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer:

A 508/2005

(51) Int. Cl.<sup>8</sup>: E04B 1/98 (2006.01)

(22) Anmeldetag:

24.03.2005

(43) Veröffentlicht am:

15.12.2006

(73) Patentanmelder:

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN  
A-1040 WIEN (AT)

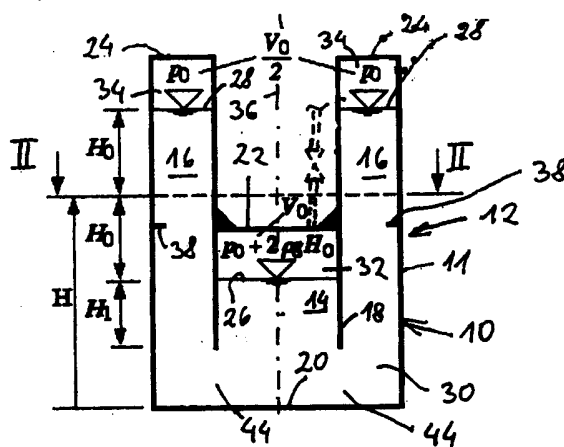
(72) Erfinder:

REITERER MICHAEL DIPL.ING. DR.  
WIEN (AT)  
ZIEGLER FRANZ DIPL.ING. DDR.  
WIEN (AT)

## (54) FLÜSSIGKEITSTILGER ZUR TILGUNG VON SCHWINGUNGEN FÜR BAUWERKE

(57) Die Erfindung betrifft einen Flüssigkeitstilger (10) zur Tilgung von Schwingungen für Bauwerke, insbesondere für Brückenbauwerke (52), insbesondere zur Reduzierung von vorzugsweise vertikalen Schwingungen, mit mindestens einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit (30) gefüllten ersten Kammer (14), welche im Bodenbereich (20) des Flüssigkeitstilgers (10) mit zumindest einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit (30) gefüllten zweiten Kammer (16) strömungsverbunden ist, wobei zumindest eine Kammer (14, 16) dicht nach außen verschlossen ist, und wobei über zumindest einem Flüssigkeitsspiegel (26, 28) zumindest ein gasgefüllter Raum (32, 34) ausgebildet ist.

Um auf möglichst einfache Weise in das Bauwerk eingeleitete Schwingungen wirksam tilgen zu können, ist vorgesehen, dass beide Kammern (14, 16) gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen sind, wobei über den Flüssigkeitsspiegeln (26, 28) jeder Kammer (14, 16) jeweils zumindest ein vorzugsweise mit Luft oder Stickstoff gefüllter Gasraum (32, 34) ausgebildet ist. Die unerwünschte horizontale Kraftwirkung und die Momentenwirkung des Flüssigkeitstilgers (10) wird durch eine symmetrische Bauweise bezüglich einer Hochachse (36) unterbunden.



AT 501 870 A1 2006-12-15

003130

**ZUSAMMENFASSUNG**

Die Erfindung betrifft einen Flüssigkeitstilger (10) zur Tilgung von Schwingungen für Bauwerke, insbesondere für Brückenbauwerke (52), insbesondere zur Reduzierung von vorzugsweise vertikalen Schwingungen, mit mindestens einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit (30) gefüllten ersten Kammer (14), welche im Bodenbereich (20) des Flüssigkeitstilgers (10) mit zumindest einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit (30) gefüllten zweiten Kammer (16) strömungsverbunden ist, wobei zumindest eine Kammer (14, 16) dicht nach außen verschlossen ist, und wobei über zumindest einem Flüssigkeitsspiegel (26, 28) zumindest ein gasgefüllter Raum (32, 34) ausgebildet ist.

Um auf möglichst einfache Weise in das Bauwerk eingeleitete Schwingungen wirksam tilgen zu können, ist vorgesehen, dass beide Kammern (14, 16) gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen sind, wobei über den Flüssigkeitsspiegeln (26, 28) jeder Kammer (14, 16) jeweils zumindest ein vorzugsweise mit Luft oder Stickstoff gefüllter Gasraum (32, 34) ausgebildet ist.

Die unerwünschte horizontale Kraftwirkung und die Momentenwirkung des Flüssigkeitstilgers (10) wird durch eine symmetrische Bauweise bezüglich einer Hochachse (36) unterbunden.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft einen Flüssigkeitstilger zur Tilgung von Schwingungen für Bauwerke, insbesondere für Brückenbauwerke, insbesondere zur Reduzierung von vorzugsweise vertikalen Schwingungen, mit mindestens einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit gefüllten ersten Kammer, welche in einem Bodenbereich des Flüssigkeitstilgers mit zumindest einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit gefüllten zweiten Kammer strömungsverbunden ist, wobei zumindest eine Kammer dicht nach außen verschlossen ist, und wobei über dem Flüssigkeitsspiegel zumindest ein gasgefüllter Raum ausgebildet ist.

Es ist bekannt, zur Dämpfung von schwingungsanfälligen Konstruktionen mechanische Tilger (Feder-Masse-Dämpfer-Systeme) einzusetzen. Derartige mechanische Tilger sind beispielsweise in [1] Petersen, C., (2001), „Schwingungsdämpfer im Ingenieurbau“, 1. Auflage, Herausgeber: Maurer Söhne GmbH&Co.KG, München, ISBN 3-00-008059-7, beschrieben. Mechanische Tilger sind allerdings relativ kostenaufwändig und wartungsintensiv.

Weiters sind sogenannte TLCD-Flüssigkeitstilger (Tuned Liquid Column Damper) bekannt. Die Flüssigkeit befindet sich dabei in einem U-förmigen Rohrsystem. Ein Zweig des Rohres ist gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen, sodass über dem Flüssigkeitsspiegel in dieser Kammer ein gasgefüllter Raum entsteht. Der andere Zweig des U-Rohres ist im Bereich seines oberen Endes über eine Öffnung mit der Umgebung verbunden. Bei vertikalen Schwingungen des Bauwerkes setzt eine Bewegung der Flüssigkeitssäule ein und dadurch wird Schwingungsenergie im Flüssigkeitstilger konzentriert. Durch die Strömungsverluste wird die kinetische Energie im Flüssigkeitstilger dissipiert und somit eine Schwingungsdämpfung des Bauwerkes erzielt. Die unsymmetrische Bauweise des Flüssigkeitstilgers induziert unerwünschte horizontale Kraftwirkungen und eine Momentenwirkung. Die einseitige Gasfeder erlaubt zudem nur Anwendungen im extrem tiefen Frequenzbereich. Eine derartige Anordnung ist etwa aus der Veröffentlichung „Tuned Liquid Damper for Suppressing Vertical Vibration“, L. M. Sun, I. Nakaoka, 45<sup>th</sup> ISCE annual meeting, Vol.1, 1990, pp. 978-979 bekannt.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, diese Nachteile zu vermeiden und auf möglichst einfache Weise eine zuverlässige Tilgung von in das Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu erreichen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass beide Kammern gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen sind, wobei über den Flüssigkeitsspiegeln jeder Kammer jeweils zumindest ein vorzugsweise mit Luft oder Stickstoff gefüllter Gasraum ausgebildet ist. Der Anwendungsbereich des Flüssig-

keitstilgers erhöht sich dadurch auf Frequenzen bis ca. fünf Hertz. Eine symmetrische Bauweise des Flüssigkeitstilgers bezüglich einer Hochachse unterbindet die unerwünschte horizontale Kraftwirkung und die Momentenwirkung.

Dabei werden folgende Schritten durchgeführt:

- Bereitstellen eines Flüssigkeitstilgers mit zumindest einer ersten und einer zweiten mit einer Flüssigkeit gefüllten Kammer, wobei die gegenüber der Umgebung gas- und flüssigkeitsdichten Kammern miteinander hydraulisch kommunizierend strömungsverbunden werden und über dem Flüssigkeitsspiegel jeder Kammer zumindest ein Gasraum vorgesehen wird, welche Gasräume so mit unterschiedlichen Drücken beaufschlagt werden, dass sich im schwingungslosen Ruhezustand unterschiedliche Flüssigkeitsniveaus in der ersten und zweiten Kammer einstellen;
- Herstellen einer festen mechanischen Verbindung zwischen dem Flüssigkeitstilger und dem Bauwerk;
- Beschleunigen des Flüssigkeitstilgers durch eine Schwingung des Bauwerkes mit vorzugsweise vertikalem Anteil;
- Drosseln der zwischen der ersten und der zweiten Kammer oszillierenden Flüssigkeit.

Die Drosselung kann über geeignete Dimensionierung der Querschnitte und Geometrien der Kammern bzw. der Strömungsverbindung zwischen den beiden Kammer, oder aber über eine separate Drosseleinrichtung erfolgen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn in der ersten Kammer, in der zweiten Kammer und/oder im Überströmbereich zwischen der ersten und der zweiten Kammer zumindest eine Drosseleinrichtung für die Flüssigkeit angeordnet ist, über welche das Dämpfungsverhalten des Flüssigkeitstilgers definiert und optimal eingestellt werden kann.

Um bei einer Schwingungsbewegung der Flüssigkeitssäulen ein Einleiten von horizontalen Kraftwirkungen und der Momentenwirkung in das Bauwerk zu vermeiden, ist es vorteilhaft, wenn die zumindest eine zweite Kammer symmetrisch bezüglich einer Hochachse des Flüssigkeitstilgers, vorzugsweise symmetrisch bezüglich der Hochachse der ersten Kammer, angeordnet ist. Gemäß einer sehr kompakten Ausführungsvariante der Erfindung kann dabei vorgesehen sein, dass die zweite Kammer die erste Kammer zumindest abschnittsweise umgibt.

Die zweite Kammer kann unmittelbar an die erste Kammer grenzen, wobei zwischen erster und zweiter Kammer zumindest eine Trennwand angeordnet sein kann.

Horizontale Anregungen in das Bauwerk können auch dadurch wesentlich verringert werden, dass die zweite Kammer unmittelbar an die erste Kammer grenzt, wobei zwischen erster und zweiter Kammer zumindest eine Trennwand angeordnet sein kann.

Um eine Strömungsverbindung zwischen der ersten Kammer und der zweiten Kammer zu ermöglichen, kann die Trennwand vom Boden des Flüssigkeitstilgers zumindest abschnittsweise, beabstandet sein. Alternativ oder zusätzlich dazu kann die Trennwand im Bodenbereich des Flüssigkeitstilgers zumindest eine Öffnung oder Ausnehmung aufweisen, welche die Strömungsverbindung zwischen der ersten und der zweiten Kammer herstellt.

Eine einfache Konstruktion ergibt sich, wenn die Kammern des Flüssigkeitstilgers durch ein vorzugsweise konzentrisches, besonders vorzugsweise kreiszylinderförmiges Rohrsystem gebildet sind. Die Trennwand kann dabei beispielsweise ein vorzugsweise kreiszylinderförmiger Rohrteil des Flüssigkeitstilgers sein.

Selbstverständlich sind auch andere geometrische Formen möglich. Insbesondere kann es strömungstechnisch vorteilhaft sein, wenn die erste und/oder die zweite Kammer einen eckigen, regelmäßigen Querschnitt, vorzugsweise einen rechteckigen Querschnitt, aufweist.

Um eine ausreichende Tilgung zu gewährleisten, sollten Verwirbelungen beim Überströmen zwischen den beiden Kammern möglichst vermieden werden. Um dies zu erreichen ist es vorteilhaft, wenn im Bodenbereich des Flüssigkeitstilger zumindest eine Leiteinrichtung mit mindestens einer drallverhindernden Strömungsleitfläche angeordnet ist. Die Flüssigkeit wird somit beim Überströmen zwischen den Kammern über zumindest eine drallverhindernde Strömungsleitfläche geführt. Die Leiteinrichtung kann dabei einstückig mit dem Bodenbereich des Flüssigkeitstilgers oder als ein in den Flüssigkeitstilger eingesetzter separater Bauteil ausgebildet sein.

Die Gasräume der ersten und zweiten Kammer weisen im Ruhezustand unterschiedliche Drücke auf, wobei vorzugsweise der Druck im Gasraum der ersten Kammer größer ist als der Druck im Gasraum der zweiten Kammer. Dadurch bildet sich im Ruhezustand in der ersten und der zweiten Kammer eine Flüssigkeitsspiegel-Höhendifferenz aus. Im Falle einer vertikalen Schwingung des Bauwerkes wird die Flüssigkeit in Bewegung versetzt, wobei im Falle der symmetrischen Bauweise des Flüssigkeitstilgers eine rein vertikale Kraftwirkung induziert

wird. Der Druck in den Gasräumen kann dabei einmalig fix im Rahmen einer anfänglichen Abstimmung auf das Bauwerk eingestellt sein. Es ist aber auch möglich, dass der Druck zumindest eines Gasraumes über zumindest eine Stelleinrichtung veränderbar ist. Dadurch kann das Tilgungsverhalten insbesondere an ein verändertes Schwingungsverhalten des Bauwerkes, beispielsweise durch bauliche Änderungen und/oder unterschiedliche Belastungen, angepasst werden.

Es ist aber auch möglich, zumindest in einem Gasraum der ersten und/oder zweiten Kammer, vorzugsweise während der Beschleunigung des Flüssigkeitstilgers, das Druckniveau durch gesteuerte Zu- oder Abfuhr von Gas aktiv zu verändern. Dadurch kann eine weitere Verbesserung der Schwingungstilgung, insbesondere im transienten Bereich einer Schwingung, erreicht werden.

Um eine zuverlässige Funktion zu gewährleisten, sollte der Flüssigkeitstilger fest mit dem Bauwerk verbunden sein. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn der Flüssigkeitstilger in einen funktionellen Bauteil des Bauwerkes, vorzugsweise in einen Pfeiler, in eine Strebe oder in einen Träger, integriert ist. Es ist aber auch denkbar, den Flüssigkeitstilger als eigenes Funktionselement zum nachträglichen Ausstatten des Bauwerkes im Falle von Sanierungen zu konzipieren.

Eine zuverlässige Tilgung kann nur durch optimale Abstimmung der Entwurfsparameter (Eigenfrequenz und Dämpfungsverhalten) des Flüssigkeitstilgers auf eine ausgewählte Schwingungsform des Bauwerkes erreicht werden. Die Abstimmung in Bezug auf die optimale Eigenfrequenz des Flüssigkeitstilgers kann durch Wahl des Druckniveaus im ersten und/oder zweiten Gasraum und/oder der Gasvolumina in den Gasräumen erfolgen.

Die Abstimmung auf das optimale Dämpfungsverhalten erfolgt durch die Wahl des Drosselwiderstandes.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand der Figuren näher erläutert. Es zeigen schematisch Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Flüssigkeitstilger in einer ersten Ausführungsvariante in einem Schnitt gemäß der Linie I-I in Fig. 2, Fig. 1a ein Detail einer Variantenausführung des Flüssigkeitstilgers aus Fig.1, Fig. 2 den Flüssigkeitstilger in einem Schnitt gemäß der Linie II-II in Fig.1, Fig. 3 einen Flüssigkeitstilger in einer Ausführungsvariante in einem Schnitt gemäß der Linie III-III in Fig. 4, Fig. 4 diesen Flüssigkeitstilger in einem Schnitt gemäß der Linie IV-IV in Fig. 3, Fig. 5 einen Flüssigkeitstilger in einer Ausführungsvariante in einem Schnitt gemäß der Linie V-V in Fig. 6, Fig. 6 diesen Flüssigkeitstilger in einem Schnitt gemäß der Linie VI-VI in Fig. 5, Fig. 7 einen Flüssigkeitstilger in einer weiteren Ausführungsvariante in einem Schnitt analog zu Fig. 2 und Fig. 6, Fig. 8 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen Flüssigkeitstilgers in ei-

ner momentanen ausgelenkten Lage, Fig. 9 den dynamischen Vergrößerungsfaktor des nichtlinearen Systems im kritischen Frequenzfenster, aufgetragen über der Erregerfrequenz, und Fig. 10 ein Anwendungsbeispiel für einen Flüssigkeitstilger.

Funktionsgleiche Teile sind in den Ausführungsvarianten mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Der kompakte Flüssigkeitstilger 10 ist eine kostengünstige Alternative zum mechanischen Tilger, insbesondere im unteren Frequenzbereich der Schwingung. Er besteht aus einem Behälter 11 mit einem starren, teilweise mit Flüssigkeit 30 der Dichte  $\rho$  gefüllten Rohrsystem 12, in welchem zumindest eine erste Kammer 14 und zumindest eine zweite Kammer 16 angeordnet sind. Die durch eine Trennwand 18 voneinander getrennten ersten und zweiten Kammern 14, 16 sind im Bodenbereich 20 des Rohrsystems 12 miteinander hydraulisch kommunizierend verbunden. Zu diesem Zweck ist die Trennwand 18 vom Bodenbereich 20 beabstandet.

Zumindest eine der beiden Kammern 14, 16 ist durch ein Verschlusselement 22, 24 gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen und in der Ruhelage unter Gasdruck  $p_0 + 2\rho g H_0$  gesetzt.  $p_0$  bezeichnet dabei den statischen Gasvordruck in beiden Kammern 14, 16,  $\rho g$  das spezifische Gewicht der Flüssigkeit 30 und  $2H_0$  die Flüssigkeitsspiegel-Höhendifferenz 26, 28 in der statischen Ruhelage. Bei einseitig offenem Rohrsystem 12 ist für  $p_0$  der Atmosphärendruck anzusetzen. Die Höhendifferenz  $2H_0$  der Flüssigkeitsspiegel 26, 28 ist notwendig, um bei vertikalen Schwingungen eine Bewegung der Flüssigkeitssäule anzuregen und somit Schwingungsenergie im Flüssigkeitstilger 10 zu konzentrieren. Durch die Strömungsverluste wird die kinetische Energie im Flüssigkeitstilger 10 dissipiert, wobei eine Drosseleinrichtung 38 den Turbulenzdämpfungsanteil auf den optimalen Wert der Abstimmung erhöht. Eine Ausführung mit beidseitig geschlossenen Kammern 14, 16 erlaubt durch die Erhöhung des Vordruckes  $p_0$  über den Atmosphärendruck hinaus, die Eigenfrequenz  $f_A$  der schwingenden Flüssigkeitssäule bis ca. fünf Hertz anzuheben. Diese Beschränkung des Frequenzbereiches ist aber keine absolute, sondern eine Folge von mit der Strömungsgeschwindigkeit wachsenden Problemen an den Trennflächen zwischen Flüssigkeit und Gas. Der Einsatz einer Membrandichtung ließe durchaus eine Erweiterung des Frequenzbandes durch Steigerung des Vordruckes  $p_0$  zu, ist aber aus Kosten- und Wartungsgründen eher unerwünscht.

In dem in den Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel weist der Flüssigkeitstilger 10 einen rechteckigen Querschnitt auf. Auch die ersten und zweiten Kammern 14, 16 weisen rechteckige Querschnittsflächen auf, wobei die Summe

der Querschnittsflächen der zweiten Kammern 16 gleich ist der Querschnittsfläche  $A$  der ersten Kammer 14. Sowohl die erste, als auch die zweite Kammer 14, 16 ist über ein Verschlusselement 22, 24 nach außen gasdicht abgeschlossen. Über dem Flüssigkeitsspiegel 26, 28 der beispielsweise durch Wasser gebildeten Flüssigkeit 30 sind durch die Verschlusselemente 22, 24 begrenzte, beispielsweise mit Luft oder Stickstoff gefüllte Gasräume 32, 34 ausgebildet. Im Ruhezustand beträgt der Druck im zweiten Gasraum 34  $p_0$ , der Druck im ersten Gasraum  $p_0 + 2\rho g H_0$ . Der Druck in den Gasräumen 32, 34 kann dabei einmalig fix im Rahmen einer anfänglichen Abstimmung auf das Bauwerk eingestellt sein. Es ist aber auch möglich, dass der Druck zumindest eines Gasraumes 32, 34 über zumindest eine Stelleinrichtung 35 veränderbar ist. Dadurch kann das Tilgungsverhalten insbesondere an ein verändertes Schwingungsverhalten des Bauwerkes, beispielsweise durch bauliche Änderungen und/oder unterschiedliche Belastungen, angepasst werden. Insbesondere ist es auch möglich, das Druckniveau während eines Schwingungsereignisses durch gesteuerte Zu- oder Abfuhr von Gas aktiv zu verändern und somit die Schwingungstilgung im transienten Bereich einer Schwingung günstig zu beeinflussen.

Um ein Einleiten von horizontalen Schwingungen in das Bauwerk zu vermeiden, ist der Flüssigkeitstilger 10 symmetrisch bezüglich seiner Hochachse 36 ausgebildet. Im Ausführungsbeispiel ist zur Dissipation der kinetischen Energie in jeder zweiten Kammer 16 zumindest eine Drosseleinrichtung 38 angeordnet. Die Drosseleinrichtung 38 kann aber auch in der ersten Kammer 14 und/oder im Überströmbereich 44 zwischen der ersten und der zweiten Kammer 14, 16 positioniert sein. Im ersten Gasraum 32 bildet sich das Volumen  $V_0$  aus. Das Volumen in jedem zweiten Gasraum 34 beträgt  $V_0/2$ . Mit  $L_A$  ist die Länge des Flüssigkeitstilgers 10, mit  $B_A$  die Breite des Flüssigkeitstilgers 10 bezeichnet. Die Länge der ersten Kammer 14 beträgt etwa  $L_A/2$ , die Länge jeder zweiten Kammer 16 etwa  $L_A/4$ .

Bei der in den Fig. 3 und 4 dargestellten Ausführungsvariante weist der Flüssigkeitstilger 10 zwei voneinander durch eine Gehäusewand 40 hydraulisch getrennte erste Kammern 14 auf. Jede der beiden ersten Kammern 14 ist mit jeweils einer zweiten Kammer 16 strömungsverbunden. Der Grundriss des Flüssigkeitstilgers 10 und der ersten und zweiten Kammern 14, 16 ist auch hier rechteckig. Die Länge jeder ersten und zweiten Kammer 14, 16 beträgt hier etwa  $L_A/4$ .

Fig. 1a zeigt eine Ausführung, bei der die zweite Kammer 16 gegenüber der Umgebung geöffnet ist. Die Öffnung ist mit Bezugszeichen 42 bezeichnet. Als Vor- und Rückdruck  $p_0$  ist dann der Atmosphärendruck anzusetzen.



Zur Vermeidung von Flüssigkeitsverwirbelungen können im Bereich der Umlenkung 44 zwischen erster und zweiter Kammer 14, 16 Strömungsleitflächen 47 angeordnet sein, welche beispielsweise durch Leitbleche 46 gebildet sein können, wie in der Fig. 6 angedeutet ist. Eine glatte Umlenkströmung wird durch eine entsprechende Bodenwölbung 48 des Bodenbereiches 20 des Behälters 11 mit entsprechenden Strömungsleitflächen 49 erreicht, wie aus Fig. 5 ersichtlich ist.

Die Fig. 7 zeigt eine Ausführungsform eines Flüssigkeitstilgers 10 mit einem konzentrischen Rohrsystem 12 mit kreisrundem Grundriss. Die Trennwand 18 zwischen erster und zweiter Kammer 14, 16 wird durch einen kreiszylinderförmigen Rohrteil 13 des Flüssigkeitstilgers 10 gebildet. Mit  $D_1$  ist der Durchmesser der ersten Kammer 14, mit  $D_A$  ist der Durchmesser der zweiten Kammer 16 bezeichnet. Im Ausführungsbeispiel ist, um gleiche Querschnittsflächen  $A$  für die beiden Kammern 14, 16 bereitzustellen,  $D_A = D_1 \cdot \sqrt{2}$ .

Fig. 10 zeigt ein Anwendungsbeispiel für den Flüssigkeitstilger 10 bei einem durch ein Brückenbauwerk 52 gebildeten Hauptsystem 50. Mindestens ein Flüssigkeitstilger 10 ist dabei starr an dem Kastenträger 54 des Brückenbauwerkes befestigt und dient der Tilgung von vertikalen Schwingungen des Brückenbauwerkes 52.

Zur Erzielung einer zufriedenstellenden Tilgung der vertikalen Schwingungen ist es wesentlich, dass sowohl die Stelle oder die Stellen der Anbringung am Hauptsystem 50 günstig gewählt und insbesondere die Entwurfparameter (Eigenfrequenz und Dämpfungsverhalten) des Flüssigkeitstilgers 10 optimal auf eine ausgewählte Schwingungsform oder auf mehrere ausgewählte Schwingungsformen abgestimmt werden. An Stelle eines einzigen großen Flüssigkeitstilgers 10 können aber auch mehrere kleinere Flüssigkeitstilger 10 in paralleler Wirkung vorgesehen werden, wie an Hand des Beispiels 2 im Folgenden noch erläutert wird.

#### Abstimmung des Flüssigkeitstilgers

Fig. 8 zeigt eine Prinzipskizze des Flüssigkeitstilgers 10 in einer momentanen ausgelenkten Lage, wobei alternativ auch ein gewölbter Bodenbereich 20 vorgesehen sein kann. Der Flüssigkeitstilger 10 ist an der Stelle  $x = \xi$  mit dem schwingenden Hauptsystem 50 verbunden. Die Verschiebung des Flüssigkeitstilgers 10 ist durch  $w^{(t)} = w_g(t) + w(t)$  beschrieben.  $w_g(t)$  bezeichnet eine vorgegebene Wegerregung. Die momentane Lage der relativen Stromlinie mit der Länge  $L$ , vom Punkt 1 zum Punkt 2, ist durch die Spiegelkoordinate  $u_1 = u_2 = u(t)$  bestimmt. Die Kraftwirkung auf das Hauptsystem 50 beträgt  $(-F_z)$ .

Der Flüssigkeitstilger 10 wird in einem ersten Schritt für eine bestimmte Eigenfrequenz  $f_S = \Omega/2\pi$  in Hertz, [Hz], des schwingenden Hauptsystems (Bauwerk) ausgelegt. Die Positionierung wird an jener Stelle  $x = \xi$  vorgesehen, an der die größte vertikale Erregung in der zugehörigen Eigenschwingungsform des Hauptsystems,  $w^{(i)}$  in Fig. 8, zu erwarten ist. Nach Wahl des Verhältnisses  $\mu = m_f / M < 1$  der Flüssigkeitsmasse  $m_f$  zu der modalen Masse  $M$  der ausgewählten Eigenschwingung des Hauptsystems, und des statischen Überdruckes  $2\rho g H_0$  im abgeschlossenen Gasvolumen, siehe Fig. 1, mit Spezifizierung der Flüssigkeitsdichte (für Wasser ist  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ), wird der Rohentwurf des kompakten Rohrsystems 11 nach Fig. 1 vorgenommen. Querschnittsfläche  $A$ , Referenzhöhe  $H$  und  $H_0$  sind dann festgelegt.

Der Vergleich des Flüssigkeitstilgers 10 mit einem von Petersen in [1], S. 46 bis 64 detaillierten konventionellen mechanischen Tilger (einem Feder-Masse-Dämpfer-System), bestimmt die folgenden Geometrie- bzw. Ähnlichkeitsfaktoren,

$$\kappa_0 = \frac{2H_0}{L} \cos \beta, \quad \kappa_1 = \frac{2H}{L} \cos \beta, \quad (1)$$

wobei der, möglichst kleine Winkel  $\beta$ , eine mögliche Schiefstellung des Flüssigkeitstilgers 11 gegen die Lotrechte bezeichnet.  $L$  ist die Länge des Flüssigkeitsfadens 60. Der für die Tilgung wirksame Anteil der Flüssigkeitsmasse ist damit bestimmt,

$$m_A^* = \kappa_0^2 m_f. \quad (2)$$

Mit der Forderung der Maximierung dieser Masse und damit von  $\kappa_0 = \frac{2H_0}{L} \cos \beta$  folgt daher die erste Entwurfsregel, da die restlichen "toten" Massen des Flüssigkeitstilgers 10 der modalen Hauptsystemmasse zuzuschlagen sind. (Die dadurch verursachte Verschiebung der Resonanzfrequenz ist in Fig. 9 erkennbar).

Das Massenverhältnis des gleichartigen mechanischen Tilgers ist damit festgelegt,

$$\mu^* = \frac{m_A^*}{M^*} = \frac{\kappa_0^2 \mu}{1 + (1 - \kappa_0^2) \mu}, \quad \mu = \frac{m_f}{M}, \quad (3)$$

und die klassischen Abstimmungsformeln nach Den Hartog liefern das optimale Frequenzverhältnis  $\delta_{A,opt}^*$  und den äquivalenten linear viskosen Dämpfungskoeffizienten  $\zeta_{A,opt}^*$ , eine Zusammenstellung gibt u.a. Petersen [1], S. 226.

Die Analogie legt dann die optimalen Parameter des (linearisierten) Flüssigkeitstilgers 10 fest,

$$\delta_{A,opt} = \frac{\omega_A}{\Omega} = \frac{f_A}{f_S} = \frac{\delta_{A,opt}^*}{\sqrt{1 + (1 - \kappa_0^2)\mu}} , \quad \zeta_{A,opt} = \zeta_{A,opt}^* . \quad (4)$$

Die Eigenfrequenz  $f_{A,opt} = \delta_{A,opt} f_S$  des Flüssigkeitstilgers 10 bestimmt die nun wesentlichen Entwurfparameter des ein- bzw. beidseitig geschlossenen Flüssigkeitstilgers 10: das Gasvolumen  $V_0 = AH_a$  und den gemeinsamen statischen Gasvordruck  $p_0 = \rho g h_0$ ,

$$f_{A,opt} = \frac{\omega_A}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L} \left[ \cos \beta + \frac{nh_0}{H_a} \left( 1 + \frac{H_0}{h_0} \right) \right]} , \quad [\text{Hz}], \text{ beidseitige Gasfeder}, \quad (5a)$$

$$f_{A,opt} = \frac{\omega_A}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L} \left[ \cos \beta + \frac{nh_0}{2H_a} \left( 1 + \frac{2H_0}{h_0} \right) \right]} , \quad [\text{Hz}], \text{ einseitige Gasfeder}, \quad h_0 \approx 10m. \quad (5b)$$

Der Neigungswinkel  $\beta$  aus der Lotrechten soll wieder möglichst klein sein und  $1 \leq n \leq 1,4$  ist der Exponent der linearisiert eingesetzten polytropen Gaskompression. Die Eigenfrequenzen nach Gleichung (5a) bzw. (5b) sind dann näherungsweise konstant, wenn die maximale Schwankung des Flüssigkeitsspiegels mit etwa  $\max|u| = U_0 < V_0 / 3A$  eingeschränkt wird. Das restliche Gasvolumen der Gasräume mit Einschluss eines Sicherheitszuschlages, z.B.  $V_0 - 2AU_0$ , kann dann frei den Einbaubedingungen angepasst werden.

Die experimentell nachgewiesene mittlere turbulente Dämpfungskraft  $m_f \delta_{L,opt} \left| \frac{du}{dt} \right| \frac{du}{dt}$  ist der optimalen linear viskosen Dämpfung äquivalent zuzuordnen,

$$\delta_{L,opt} = \frac{3\pi}{4U_0} \zeta_{A,opt} . \quad (6)$$

$U_0$  ist die maximale Spiegelschwankung. Die hinreichende Bedingung für den linearen Dämpfungsbeiwert,

$$\zeta_{A,opt} = \frac{4U_0}{3\pi} \delta_{L,opt} > \zeta_{A,0}^{(w)} = \kappa_1 \frac{\max|w|}{H} < 1 , \quad (7)$$

zur sicheren Vermeidung schädlicher Auswirkungen der Parametererregung der Flüssigkeitssäule ist abschließend zu überprüfen.

### Feinabstimmung im Zustandsraum

Eine Feinabstimmung im Zustandsraum wird immer dann empfohlen, wenn der einzelne Flüssigkeitstilger 10 an der Stelle  $x = \xi$  des Hauptsystems 50 in mehrere parallel wirkende Flüssigkeitstilger 10 aufgelöst wird und/oder wenn die ausgewählte Schwingungsform des Hauptsystems 50 mehrere Größtausschläge aufweist, wo Flüssigkeitstilger 10 positioniert werden können. Sind Eigenfrequenzen des Hauptsystems 50 eng benachbart, wird diese Nachjustierung der Den Hartog Parameter die Tilgerwirkung ebenfalls verbessern. Die verbesserten optimalen Entwurfparameter der Flüssigkeitstilger 10 werden durch Minimierung einer Zielfunktion  $J = J(\omega_{Ank}, \zeta_{Ank})$  gefunden. Bezeichnet  $\bar{z}_S = \begin{bmatrix} \bar{Y} \\ \frac{d\bar{Y}}{dt} \end{bmatrix}$  den Zustands-hypervektor des Hauptsystems -  $Y_i(t)$  ist eine modale Koordinate - dann kann im Frequenzraum diese Zielfunktion,

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{z}_S^T(\omega) \tilde{S} \bar{z}_S(\omega) d\omega = 2\pi \bar{b}_0^T \tilde{P} \bar{b}_0 \rightarrow \min, \quad (8)$$

vorgegeben und mit  $\tilde{S} = \text{diag}[s_1, \dots, s_N]$  als symmetrische, positiv semi-definite Gewichtsmatrix, minimiert werden. Die Matrix  $\tilde{P}$  wird durch die Ljapunov'schen Matrixengleichung bestimmt,

$$(\tilde{A} + \tilde{B}\tilde{R})^T \tilde{P} + \tilde{P}(\tilde{A} + \tilde{B}\tilde{R}) = -\tilde{S}. \quad (9)$$

Die Matrizen  $\tilde{A}$ ,  $\tilde{B}$  und  $\tilde{R}$  (mit den zu optimierenden Parametern) sind dem System anzupassen.

### Beispiel 1

#### Tilgung der Grundschwingung einer Brücke - Abstimmung des Flüssigkeitstilgers

Es wird die Erhöhung der effektiven Strukturdämpfung eines beidseitig gelenkig gelagerten kontinuierlichen Brückenbauwerkes 52 mit einer Spannweite von  $l = 50m$  unter mittiger Kraftanregung  $F(t) = F_0 \cos 2\pi f_z t$ , mit  $F_0 = 10 \times 10^3 N$  und variabel gehaltener Erregerfrequenz  $f_z$ , vorgestellt. Die Grundfrequenz der Biegeschwingung ist konstruktionsbedingt  $f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g/w_1} = 2,73 Hz$  (siehe Ziegler, F., (1998). „Technische Mechanik der festen und flüssigen Körper“, dritte, verbesserte Auflage, Springer Wien New York, ISBN 3-211-83193-2, Seite 340), mit der anteiligen bezogenen statischen Durchbiegung  $w_1/l = 0,67 \times 10^{-3}$ . Die modale Masse zur Grundschwingungsform  $\phi_1(x) = \sin \pi x / l$  entspricht der halben Brückenmasse,  $M = 35,72 \times 10^3 kg$ . Die schwache Strukturdämpfung wird mit  $\zeta_1 = 0,5\%$

festgelegt. Die dynamische Vergrößerung wird auf die statische Durchbiegung unter Last  $F_0$ ,  $w_{stat} = 0,95 \times 10^{-3} m$  bezogen. Der abzustimmende Flüssigkeitstilger 10 ist an der Stelle des Größtausschlages in Feldmitte  $x = \xi = l/2$  installiert.

Mit der Wassermasse  $m_f = 2000 kg$  wählt man das Massenverhältnis in Gleichung (3)  $\mu = m_f / M \approx 5,6\%$ . Die Geometrie des Flüssigkeitstilgers 10 in Fig. 1 und 2 wird adäquat mit  $L_A = 2,00 m$ ,  $B_A = 0,57 m$ ,  $H = 1,75 m$ ,  $A = 0,57 m^2$  und  $H_0 = 0,70 m$  vorgegeben. Gleichung (1) bestimmt den Geometriefaktor  $\kappa_0 = 0,40$  und damit das äquivalente Massenverhältnis  $\mu^* = 0,9\%$ , Gleichung (3). Die optimalen dynamischen Parameter des Flüssigkeitstilgers 10 ergeben sich in Folge aus der Gleichung (4) unter der Bedingung: Minimierung der Durchbiegung (nach Petersen [1], S. 226, Tabelle, Zeile 1),  $f_{A,opt} = 2,64 Hz$  und  $\zeta_{A,opt} = 5,6\%$ . Dieser Wert der Eigenfrequenz wird nach der Wahl des Gasvordruckes  $p_0 = 1,2 \times 10^5 Pa$  durch Anpassen der fiktiven Gasfederhöhe praktisch realisiert. Mit  $n = 1,4$  und  $h_0 = 12,232 m$  liefert Gleichung (5a)  $H_a = 380 \times 10^{-3} m$  und damit das Gasvolumen  $V_0 = 0,22 m^3$ . Die Unempfindlichkeit des geschlossenen Flüssigkeitstilgers 10 gegen Parametererregung ist durch die Ungleichung (7) nachzuweisen. Bei Krafterregung ist deshalb  $\max |w(f_z = 2f_A)| = 1,0 \times 10^{-3} m$  zu ermitteln. Damit ist der Nachweis erbracht,  $\zeta_{A,opt} = 5,6\% > \zeta_{A,0}^{(w)} = 0,08\%$  und die Parametererregung kann sowohl bei linearisierten als auch bei nichtlinearen Simulationen weggelassen werden. Die vorab abgeschätzte maximale Spiegelschwingungsamplitude  $U_0 = 50 \times 10^{-3} m$  in Gleichung (6) eingesetzt ergibt  $\delta_L = 2,64$ . Der in Fig. 9 durch die strichlierte Linie 62 eingetragene nichtlinear berechnete dynamische Vergrößerungsfaktor DVF ( $DVF = |w_{max} / w_{stat}|$ ) bestätigt die hervorragende Dämpferwirkung durch die siebenfache Vergrößerung der effektiven Strukturdämpfung auf  $\zeta_{1,eff} = 3,5\%$ , im Vergleich zum durch Linie 64 angedeuteten dynamischen Vergrößerungsfaktor DVF ohne Flüssigkeitstilger.

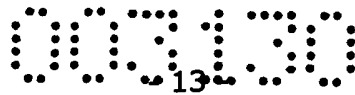
## Beispiel 2

### Tilgung der Grundschwingung einer Brücke - Abstimmung von acht Flüssigkeitstilgern in Parallelschaltung

Der Flüssigkeitstilger 10 aus Beispiel 1 wird aus Symmetriegründen paarweise in acht parallel wirkende Flüssigkeitstilger 10 aufgespalten, sodass nun auf jeden Flüssigkeitstilger 10 die Flüssigkeitsmasse  $m_{fn} = 250 kg$  und die Querschnittsfläche  $A_n = 0,07 m^2$  entfällt. Die Montage in Feldmitte erfolgt dann symmetrisch zur angenommenen Symmetrieachse des Brückenquerschnittes,  $n = 1$  und  $8$  außen,  $2$  und  $7$ ,  $3$  und  $6$ ,  $4$  und  $5$  innen. Die Parameter der Brücke, der Entwurf des Flüssigkeitstilgers 10 und seine Den Hartog Abstimmungsparameter werden aus Beispiel 1 unverändert übernommen,  $f_{An,opt} = 2,64 Hz$ ,  $\zeta_{An,opt} = 5,6\%$ . Die Feinab-

stimmung nach Gleichung (8) und Gleichung (9) mit Betonung der Durchbiegung gegenüber der Deformationsgeschwindigkeit in Feldmitte, z.B. mit  $\tilde{S} = \text{diag}[10 \ 1]$ , ergibt paarweise die verbesserten optimalen Eigenfrequenzen und linearen Dämpfungskoeffizienten,  $f_{A1,8,opt} = 2,80 \text{ Hz}$ ,  $\zeta_{A1,8,opt} = 1,85\%$ ,  $f_{A2,7,opt} = 2,51 \text{ Hz}$ ,  $\zeta_{A2,7,opt} = 1,73\%$ ,  $f_{A3,6,opt} = 2,70 \text{ Hz}$ ,  $\zeta_{A3,6,opt} = 1,73\%$ ,  $f_{A4,5,opt} = 2,61 \text{ Hz}$ ,  $\zeta_{A4,5,opt} = 1,70\%$ . Gleichung (5a) liefert die angepassten Gasvolumina mit  $V_{01,8} = 22 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ,  $V_{02,7} = 28 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ,  $V_{03,6} = 24 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  und  $V_{04,5} = 26 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ . Obwohl sich die optimalen Dämpfungskoeffizienten gegenüber dem einzelnen Flüssigkeitstilger stark vermindert haben, vergleiche Beispiel 1, bleibt die hinreichende Bedingung zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen der Parametererregung, Ungleichung (7), für alle acht Flüssigkeitstilger 10 weiterhin erfüllt,  $\zeta_{An,opt} > \zeta_{A,0}^{(w)} = 0,08\%$ . Die um das rund siebenfache gesteigerte effektive Strukturdämpfung und die Steigerung der Robustheit der Tilgerwirkung sind wieder der Fig. 9 zu entnehmen. Der nichtlineare dynamische Vergrößerungsfaktor DVF für das Ausführungsbeispiel mit acht Flüssigkeitstilgern 10 ist durch Linie 66 angedeutet. Die Abschätzung der maximalen Spiegelschwankungen im linearisierten System ergibt die gegenüber dem Beispiel 1 mehr als verdoppelten Werte  $U_{01,8} = 100 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $U_{02,7} = U_{03,6} = 110 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $U_{04,5} = 120 \times 10^{-3} \text{ m}$ . Die Bedingung  $U_{0i} < V_{0i} / 3A$  ist in jedem Fall erfüllt, z.B.  $U_{03} = 110 \times 10^{-3} \text{ m} < V_{03} / 3A = 114 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

Der beschriebene kompakte Flüssigkeitstilger 10 wird als kostengünstiger Ersatz für einen mechanischen Tilger (Feder-Masse-Dämpfer-System) zur Reduzierung von vertikalen Strukturschwingungen vorgestellt. Über den Gasvordruck  $p_0$  in den Kammern 14, 16 über den Flüssigkeitsspiegeln 26, 28 kann der Frequenzanwendungsbereich zumindest bis ca. fünf Hertz erweitert werden. Die Abstimmung des Frequenzverhältnisses und der (linearisierten) Dämpfung erfolgt in Analogie zum mechanischen Tilger, unter Umständen gefolgt von einer Feinabstimmung im Zustandsraum. Realitätsnahe Simulationen des Gesamtsystems (Hauptsystem 50 und Flüssigkeitstilger 10) erfordern im allgemeinen die Berücksichtigung der nichtlinearen und vorteilhaften, experimentell verifizierten Turbulenzdämpfung im Flüssigkeitstilger 10.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Flüssigkeitstilger (10) zur Tilgung von Schwingungen für Bauwerke, insbesondere für Brückenbauwerke (52), insbesondere zur Reduzierung von vorzugsweise vertikalen Schwingungen, mit mindestens einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit (30) gefüllten ersten Kammer (14), welche in einem Bodenbereich (20) des Flüssigkeitstilgers (10) mit zumindest einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit (30) gefüllten zweiten Kammer (16) strömungsverbunden ist, wobei zumindest eine Kammer (14, 16) dicht nach außen verschlossen ist, und wobei über zumindest einem Flüssigkeitsspiegel (26, 28) zumindest ein gasgefüllter Raum (32, 34) ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass beide Kammern (14, 16) gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen sind, wobei über den Flüssigkeitsspiegeln (26, 28) jeder Kammer (14, 16) jeweils zumindest ein vorzugsweise mit Luft oder Stickstoff gefüllter Gasraum (32, 34) ausgebildet ist.
2. Flüssigkeitstilger (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine zweite Kammer (16) symmetrisch bezüglich einer Hochachse (36) des Flüssigkeitstilgers (10), vorzugsweise symmetrisch bezüglich der Hochachse der ersten Kammer (14), angeordnet ist.
3. Flüssigkeitstilger (10) zur Tilgung von Schwingungen für Bauwerke, insbesondere für Brückenbauwerke (52), insbesondere zur Reduzierung von vorzugsweise vertikalen Schwingungen, mit mindestens einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit (30) gefüllten ersten Kammer (14), welche in einem Bodenbereich (20) des Flüssigkeitstilgers (10) mit zumindest einer, zumindest teilweise mit Flüssigkeit (30) gefüllten zweiten Kammer (16) strömungsverbunden ist, wobei zumindest eine Kammer (14, 16) dicht nach außen verschlossen ist, und wobei über zumindest einem Flüssigkeitsspiegel (26, 28) zumindest ein gasgefüllter Raum (32, 34) ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine zweite Kammer (16) symmetrisch bezüglich einer Hochachse (36) des Flüssigkeitstilgers (10), vorzugsweise symmetrisch bezüglich der Hochachse der ersten Kammer (14), angeordnet ist.
4. Flüssigkeitstilger (10) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass beide Kammern (14, 16) gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen sind, wobei über den Flüssigkeitsspiegeln (26, 28) jeder Kammer (14, 16) jeweils zumindest ein vorzugsweise mit Luft oder Stickstoff gefüllter Gasraum (32, 34) ausgebildet ist.

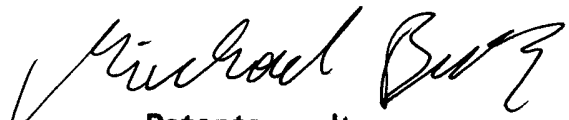
5. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Kammer (16) unmittelbar an die erste Kammer (14) grenzt, wobei zwischen erster und zweiter Kammer (14, 16) zumindest eine Trennwand (18) angeordnet ist.
6. Flüssigkeitstilger (10) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Trennwand (18) vom Bodenbereich (20) des Flüssigkeitstilgers (10) zumindest abschnittsweise, beabstandet ist.
7. Flüssigkeitstilger (10) nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Trennwand (18) im Bodenbereich des Flüssigkeitstilgers (10) zumindest eine Öffnung oder Ausnehmung aufweist, welche die Strömungsverbindung zwischen der ersten und zweiten Kammer (14, 16) herstellt.
8. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der ersten Kammer (14), in der zweiten Kammer (16) und/oder im Überströmbereich (44) zwischen der ersten und der zweiten Kammer (14, 16) zumindest eine Drosseleinrichtung (38) für die Flüssigkeit (30) angeordnet ist (Fig. 3).
9. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Kammer (16) die erste Kammer (14) zumindest abschnittsweise umgibt (Fig. 7).
10. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste und/oder die zweite Kammer (14, 16) durch ein vorzugsweise kreiszylinderförmiges Rohrsystem (12) gebildet ist.
11. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Trennwand (18) durch einen vorzugsweise kreiszylinderförmigen Rohrteil (13) des Flüssigkeitstilgers (10) gebildet ist.
12. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste und/oder die zweite Kammer (14, 16) einen eckigen, vorzugsweise rechteckigen Querschnitt aufweist.
13. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Bodenbereich und/oder im Überströmbereich (44) des Flüssigkeitstilger (10) zumindest eine Leiteinrichtung (46, 48) mit mindestens einer drallverhindernden Strömungsleitfläche (47, 49) angeordnet ist (Fig. 5).



14. Flüssigkeitstilger (10) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Leiteinrichtung (46, 48) einstückig mit dem Bodenbereich (20) des Flüssigkeitstilgers (10) ausgebildet ist.
15. Flüssigkeitstilger (10) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Leiteinrichtung (46, 48) als ein in den Flüssigkeitstilger (10) eingesetzter separater Bauteil ausgebildet ist.
16. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gasräume (32, 34) der ersten und zweiten Kammer (14, 16) im Ruhezustand unterschiedliche Drücke aufweisen, wobei vorzugsweise der Druck im Gasraum (32) des ersten Kammer (14) größer ist als der Druck im Gasraum (34) der zweiten Kammer (16).
17. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck zumindest eines Gasraumes (32, 34) über zumindest eine Stalleinrichtung (35) veränderbar ist.
18. Flüssigkeitstilger (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieser fest mit dem Bauwerk verbindbar ist, wobei vorzugsweise der Flüssigkeitstilger (10) in einen funktionellen Bauteil des Bauwerkes, vorzugsweise in einen Pfeiler, in eine Strebe oder einen Träger (54), integriert ist.
19. Verfahren zur Tilgung von vorzugsweise vertikalen Schwingungen bei einem Bauwerk, insbesondere einem Brückenbauwerk, mit folgenden Schritten:
  - a. Bereitstellen eines Flüssigkeitstilgers mit zumindest einer ersten und einer zweiten mit einer Flüssigkeit gefüllten Kammer, wobei die vorzugsweise gegenüber der Umgebung gas- und flüssigkeitsdichten Kammern miteinander hydraulisch kommunizierend strömungsverbunden werden und über dem Flüssigkeitsspiegel jeder Kammer zumindest ein Gasraum vorgesehen wird, welche Gasräume so mit unterschiedlichen Drücken beaufschlagt werden, dass sich im schwingungslosen Ruhezustand unterschiedliche Flüssigkeitsniveaus in der ersten und zweiten Kammer einstellen;
  - b. Herstellen einer festen mechanischen Verbindung zwischen dem Flüssigkeitstilger und dem Bauwerk;
  - c. Beschleunigen des Flüssigkeitstilgers durch eine Schwingung des Bauwerkes mit vorzugsweise vertikalem Anteil;

- d. Drosseln der zwischen der ersten und der zweiten Kammer oszillierenden Flüssigkeit.
20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Flüssigkeitstilger im Ruhezustand durch Wahl der Druckdifferenz zwischen erster und zweiter Kammer auf das gewünschte Tilgungsverhalten abgestimmt wird.
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Flüssigkeitstilger im Ruhezustand durch Wahl des Druckniveaus in der ersten und/oder zweiten Kammer auf das gewünschte Tilgungsverhalten abgestimmt wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Flüssigkeitstilger im Ruhezustand durch Wahl der Gasvolumina der Gasräume auf das gewünschte Tilgungsverhalten abgestimmt wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Flüssigkeitstilger durch Wahl des Drosselwiderstandes auf das gewünschte Tilgungsverhalten abgestimmt wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Flüssigkeit beim Überströmen zwischen den Kammern über zumindest eine drallverhindernde Strömungsleitfläche geführt wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest in einem Gasraum der ersten und/oder zweiten Kammer, vorzugsweise während der Beschleunigung des Flüssigkeitstilgers, das Druckniveau durch gesteuerte Zu- oder Abfuhr von Gas aktiv verändert wird.

2005 03 24



Patentanwalt

Dipl.-Ing. Mag. Michael Babeluk

A-1150 Wien, Mariahilfer Gürtel 39/17

Tel.: (+43 1) 892 89 33-0 Fax: (+43 1) 892 89 333

e-mail: patent@babeluk.at

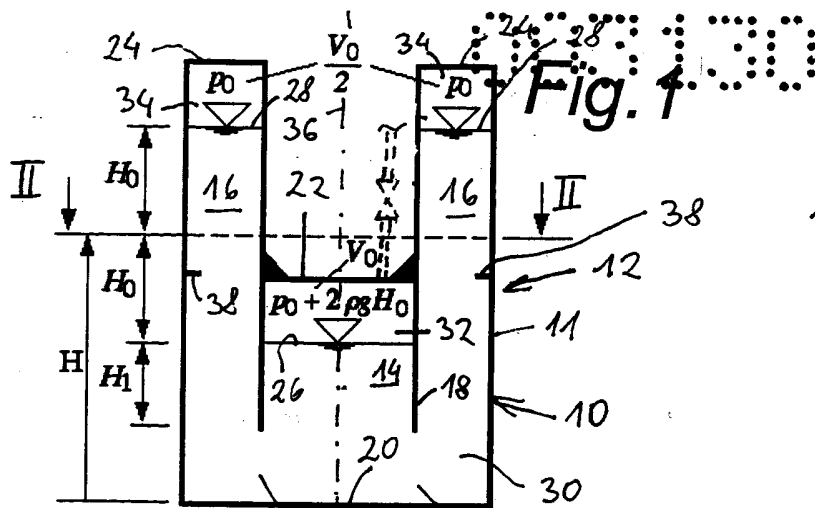


Fig. 1

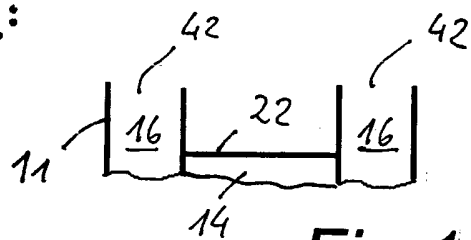


Fig. 1α

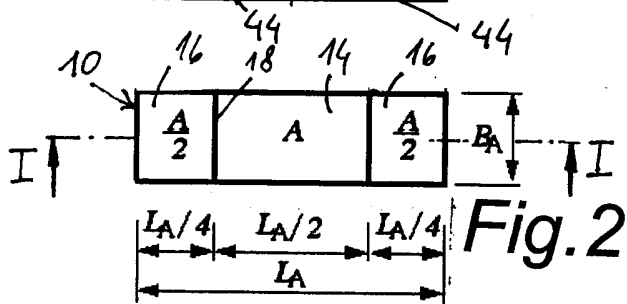


Fig. 2

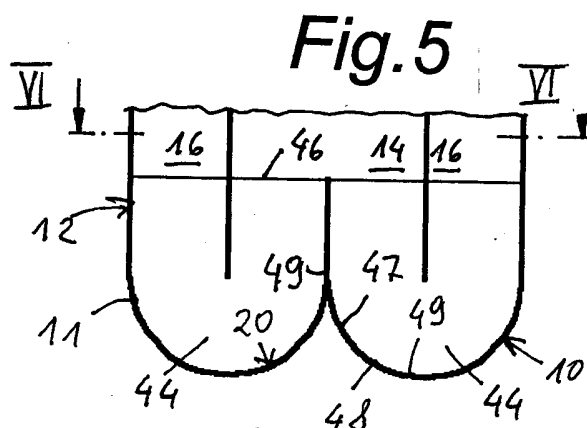


Fig. 5

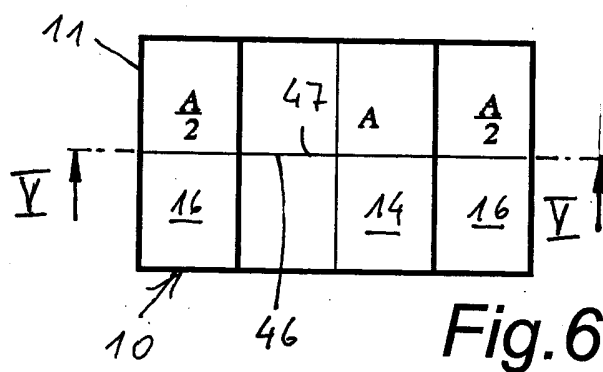


Fig. 6

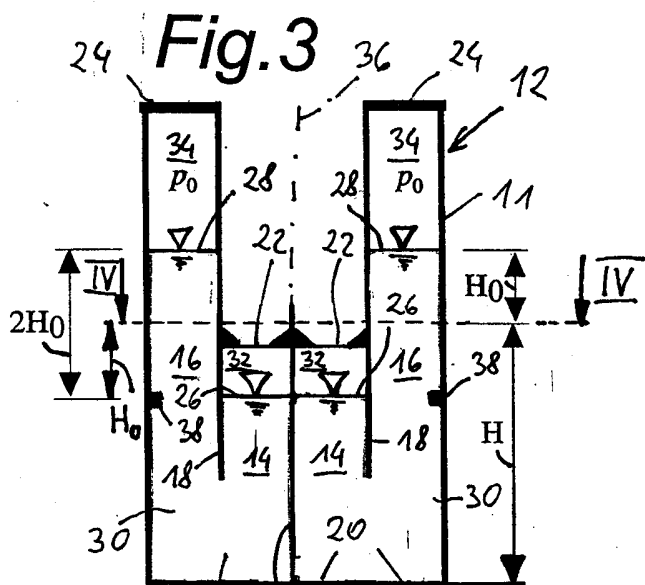


Fig. 3

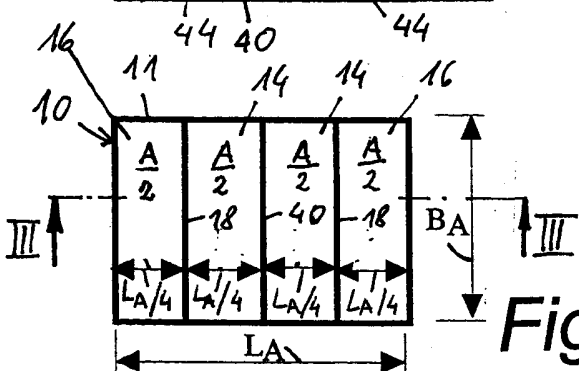


Fig. 4

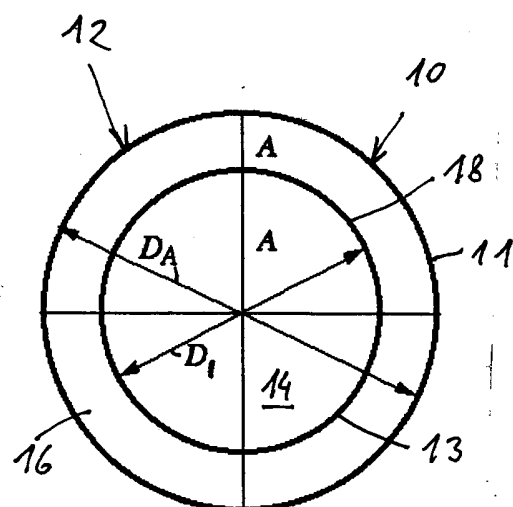


Fig. 7

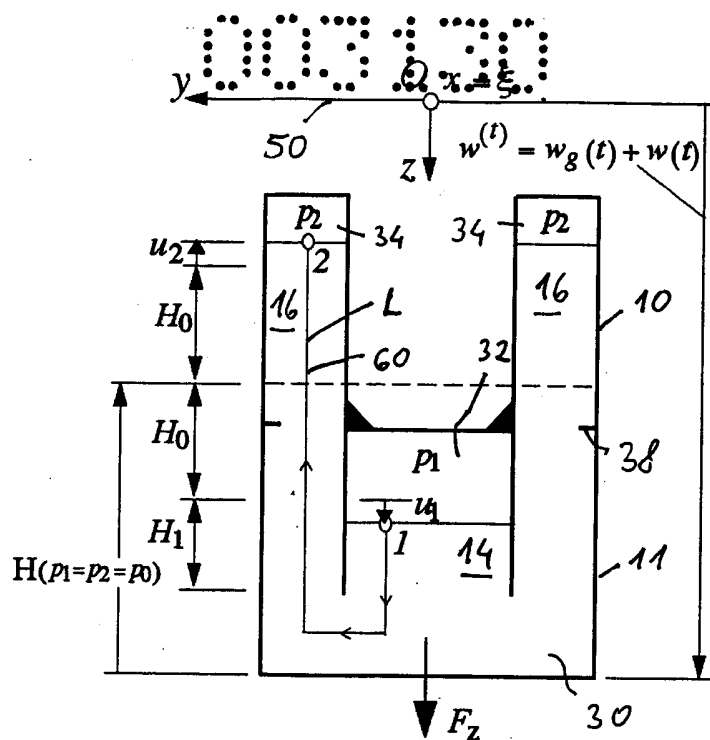


Fig.8

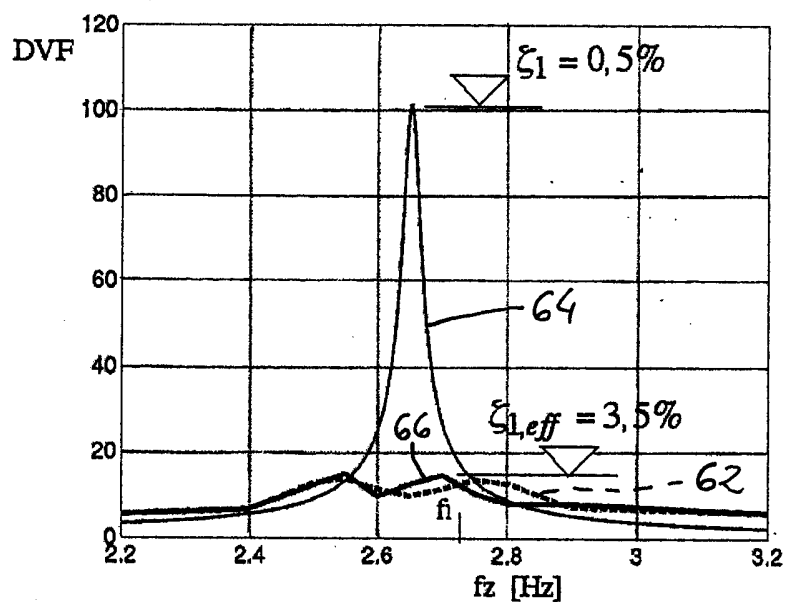


Fig.9

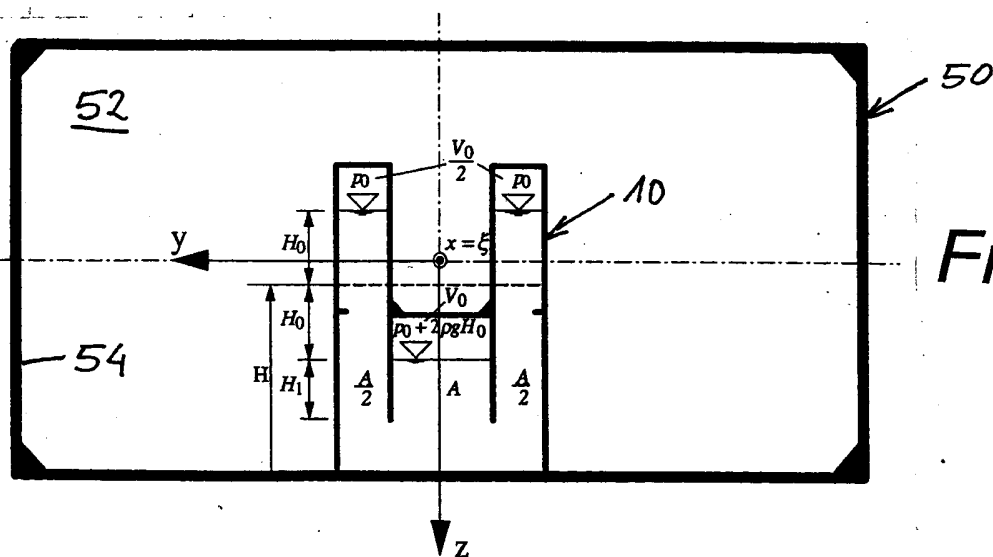
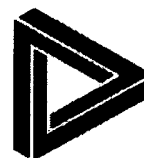


Fig.10



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC<sup>8</sup>:

**E04B 1/98** (2006.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

E 04 B

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPI, PAJ; CL TXTG, CL TXTE

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **24. März 2005** eingereichten Ansprüchen **1 - 25** erstellt.

| Kategorie <sup>1)</sup> | Bezeichnung der Veröffentlichung:<br>Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum,<br>Textstelle oder Figur soweit erforderlich | Betreffend Anspruch |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| A                       | EP 0 361 125 A1 (Kawasaki Jukogyo), 4. April 1990 (04.04.1990)<br>Fig. 5<br><br>--                                                                                     | 1, 4                |
| A                       | FR 2 623 226 A1 (Shimizu Construction), 19. Mai 1989 (19.05.1989)<br>Fig. 2, 3<br><br>----                                                                             | 9 - 11              |

Datum der Beendigung der Recherche:  
**24. Februar 2006**

☐ Fortsetzung siehe Folgeblatt

Prüfer(in):  
**Dipl.-Ing. KNAUER**

<sup>1)</sup> **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

**A** Veröffentlichung, die den **allgemeinen Stand der Technik** definiert.

**P** Dokument, das **von Bedeutung** ist (Kategorien X oder Y), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.

**E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie X), aus dem ein **älteres Recht** hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).

**&** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.