

SCHWINGUNGSTILGER UND VISKODÄMPFER



Technische Informationen und Produkte

MAURER – Schwingungstilger und Viskodämpfer

Inhalt	Seite
1. Einleitung	3
1.1 Warum sind Schwingungstilger oder/und Viskodämpfer notwendig?	3
1.2 Funktion eines Schwingungstilgers und Viskodämpfers	4
2. Abstimmung des Schwingungstilgers auf das Bauwerk	6
2.1 Abstimmungskriterien	6
2.2 Welche Folgen hat eine falsche oder schlechte Abstimmung des Schwingungstilgers?	7
2.3 Wertung der drei Hauptabstimmungskriterien für einen Schwingungstilger	8
3. Notwendige Kenngrößen zur Schwingungstilgerauslegung	9
4. Optimales Vorgehen bei der Schwingungstilgerauslegung	9
5. Generelle Bautypen der MAURER-Schwingungstilger	9
5.1 MTMD-V: Vertikal wirksame Tilger	10
5.1.1 Technische Beschreibung des MTMD-V	10
5.1.2 Einsatzbeispiel für MTMD-V- 5000: Singapur Skypark - Singapur	13
5.1.3 Einsatzbeispiel für MTMD-V-1200: Abandoibarra Brücke in Bilbao – Spanien	14
5.2 MTMD-H: Horizontal wirksame Tilger	15
5.2.1 Technische Beschreibung des MTMD-H	15
5.2.2 Einsatzbeispiel für MTMD-H-1900: Brücke Port Tawe in New Port – England	17
5.2.3 Einsatzbeispiel für MTMD-H-4000: Olympia Brücke in Turin – Italien	18
5.3 MTMD-P: Pendelschwingungstilger	19
5.3.1 Technische Beschreibung des MTMD-P	19
5.3.2 Einsatzbeispiele für MST-P-2100	20
5.3.3 Einsatzbeispiel für MTMD-P-62847: Alphabetic Tower in Batumi – Georgien	21
5.4 Adaptive Tilgersysteme	22
5.4.1 Technische Beschreibung des adaptiven Tilgers	22
5.4.2 Einsatzbeispiel für ATMD-P-5200: Brücke Wolgograd – Rußland	23
6. Vorschlag für einen Ausschreibungstext für einen Schwingungstilger	24
7. Viskodämpfer (MHD) zur Vibrationsbedämpfung	25
7.1 Technische Beschreibung des MHD	25
7.2 Einsatzbeispiel für MHD-250: Fuß- und Radwegbrücke Traunsteg in Wels - Österreich	29
7.3 Einsatzbeispiel für MHD-700: City Metrobrücke in Adana - Türkei	30
8. Vorschlag für einen Ausschreibungstext für einen Viskodämpfer	31
9. Einmessen und Testen der Funktionscharakteristika	32

MAURER – Schwingungstilger und Viskodämpfer

1. Einleitung

1.1 WARUM sind Schwingungstilger oder Viskodämpfer notwendig?

Viele Bauwerke sind aufgrund ihrer schlanken oder ausragenden Bauweise anfällig für Schwingungen. Meist sind dies Bauwerke mit niedrigen Eigenfrequenzen in Kombination mit oftmals niedriger Eigendämpfung.

Werden diese Schwingungen nicht bedämpft

- Nutzung oder Begehung dieser Bauwerke ist eingeschränkt möglich oder unmöglich.
- Können Ermüdungsprobleme mit Rissen in der Bauwerksstruktur auftreten, und kann es letztlich zum Einsturz der Struktur kommen.

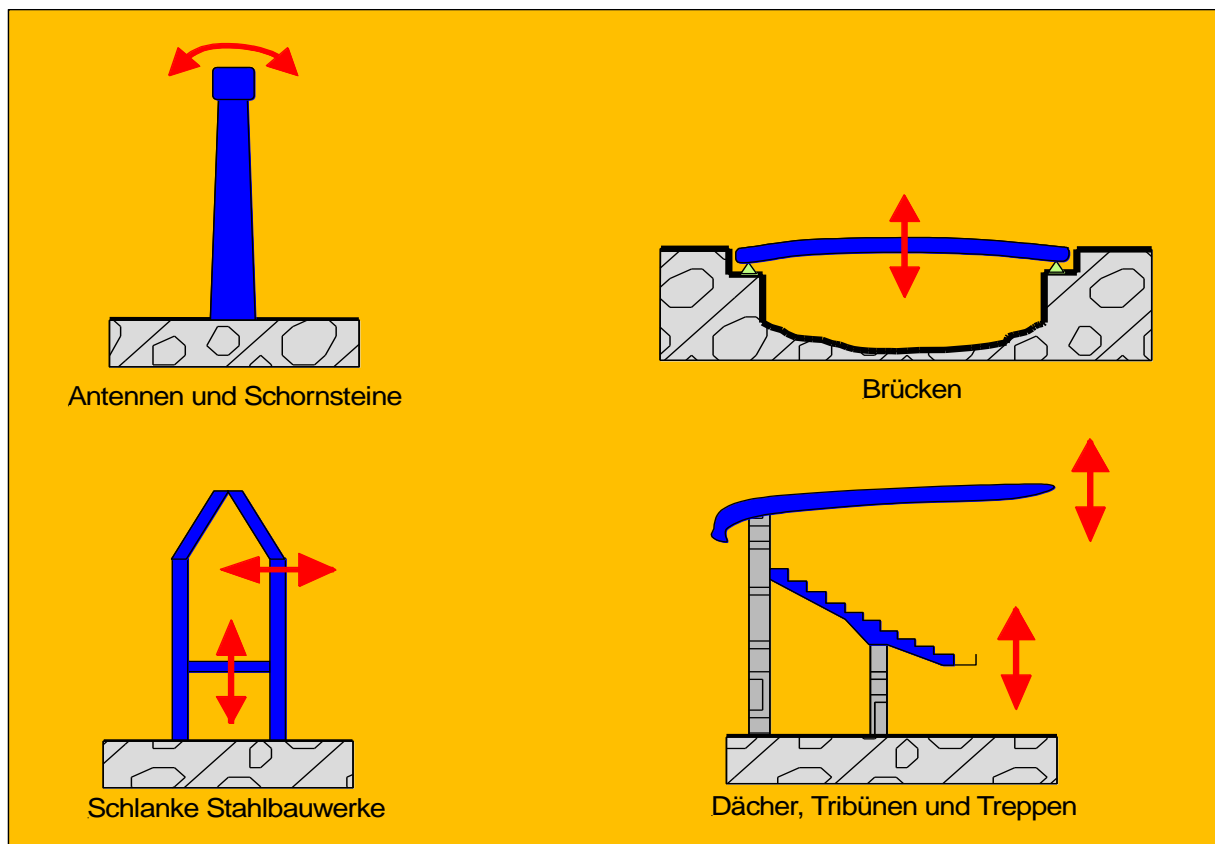


Abb. 1: Beispiele für schwingungsanfällige Bauwerkssysteme

Für die optimale Reduzierung der auftretenden Bauwerksschwingungen werden Maurer Schwingungstilger (MTMD) oder Viskodämpfer (MHD) individuell an die Bauwerksanforderungen bzw. -charakteristika angepasst und dimensioniert. Es sind nahezu alle Formen und Größen (bis 70.000 kg) für Schwingungstilger möglich, da jeder Tilger individuell gerechnet und gezeichnet wird.

Die Anpassung erfolgt im wesentlichen an drei Faktoren.

- An die zu bedämpfende Frequenz,
- an die Bauwerksmasse bzw. kinetisch äquivalente Masse, und
- an die auftretenden Schwingungen in Bezug auf Richtung, zulässiger Amplitude und Beschleunigung.

1.2 Funktion eines Schwingungstilgers oder eines Viskodämpfers

Unter einem passiven Schwingungstilger versteht man eine an das zu bedämpfende Tragwerk (z.B. Schornstein, Brücke) mittels einer Feder und eines Dämpfungselements angekoppelte Zusatzmasse. Die beiden nachfolgenden Bilder zeigen das Prinzip bei Bedämpfung horizontaler bzw. vertikaler

Schwingungen. Der Dämpfer wird dort angeordnet, wo die Amplitude der zu bedämpfenden Eigenschwingungsform am größten ist, denn hier entfaltet der Dämpfer seine größte Wirkung. Die Funktion der Viskodämpfer ist im Kapitel 6 erläutert.

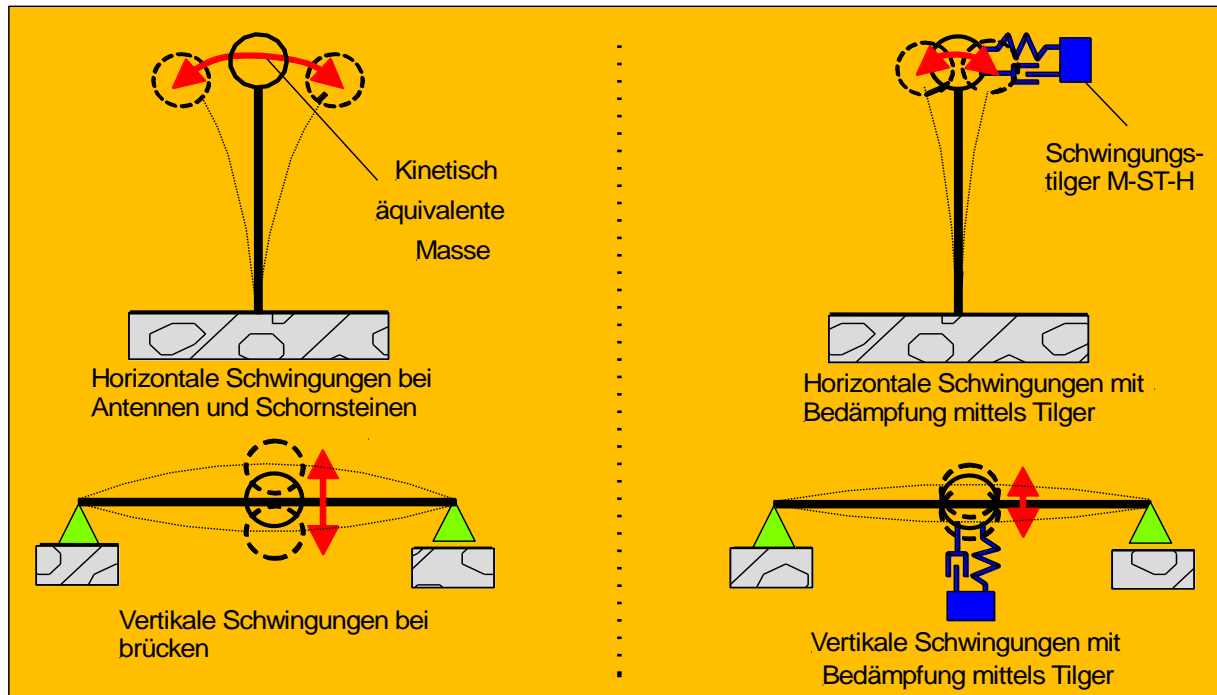


Abb. 2: Systemdarstellung und Anordnung von Schwingungstilgern

Ist z.B. das Hauptsystem (Index H) ein schwingungsfähiges System mit m_H , k_H , d_H , entsteht durch das an koppeln der Dämpfermasse m_D (Index D) ein Zweimassenschwinger, wobei zwischen Dämpfermasse m_D und Hauptmasse m_H eine Rückstellfeder und ein viskoses, geschwindigkeitsproportionales Dämpfungselement liegt.

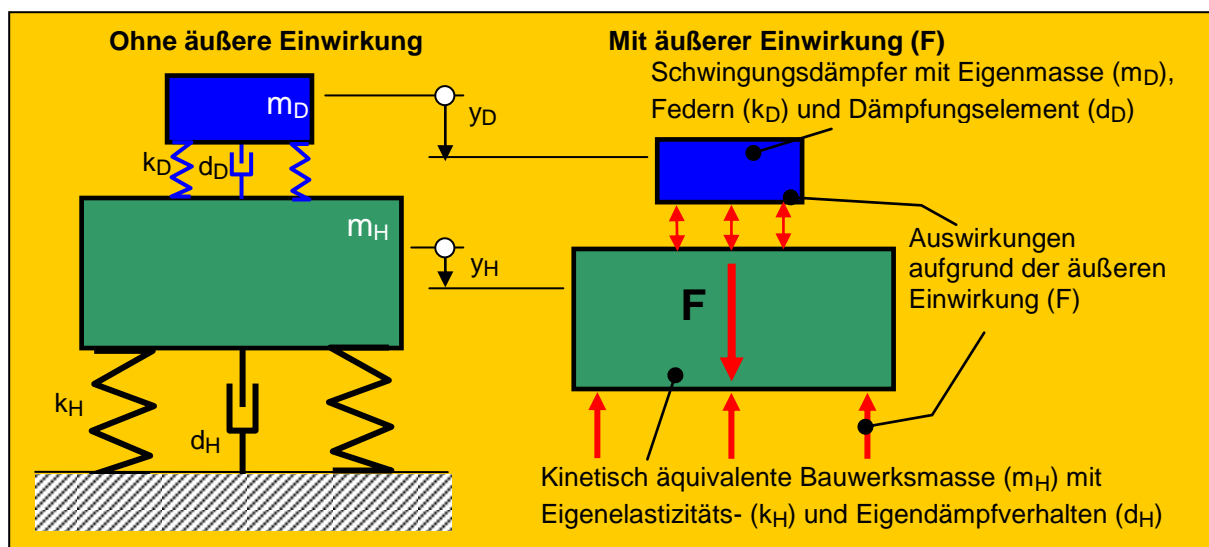


Abb. 3: Darstellung des Wirkprinzips eines Schwingungstilgers

Erläuterung der in Abb. 3 aufgeführten Kenngrößen:

- Hauptkonstruktion:**
 m_H = kinetisch äquivalente Masse eines Bauwerks [kg]
 k_H = Federkonstante [N/m]
 d_H = Dämpfungskoeffizient [N/m/s = Ns/m]
 $y_H = y_H(t)$ Bewegungsordinate von m_H [m]
 $F = F(t)$ = äußere Belastung, die auf m_H einwirkt
- Schwingungstilger:**
 m_D = schwingende Masse des Schwingungstilgers [kg]
 K_D = Federkonstante [N/m]
 D_D = Dämpfungskoeffizient [N/m/s = Ns/m]
 $y_D = y_D(t)$ Bewegungsordinate von m_D [m]
 Von praktischem Interesse ist allerdings weniger der absolute Schwingweg y_D der Tilgermasse, als vielmehr die relative Bewegungsordinate von m_D gegenüber m_H :
 $z_D = y_D - y_H$

Wirkt auf das Hauptsystem die harmonische Kraft $F = F(t) = F \cdot \sin \Omega t$, reagiert das Gesamtsystem – nach einer kurzen Einschwingphase – seinerseits harmonisch, und es schwingt stationär mit der

Erregerfrequenz Ω . Besitzt das Hauptssystem keinen Schwingungstilger, reagiert es bei einer Übereinstimmung einer Eigenfrequenz mit der Erregerfrequenz mit heftigen Schwingungen, der sogenannten Resonanz.

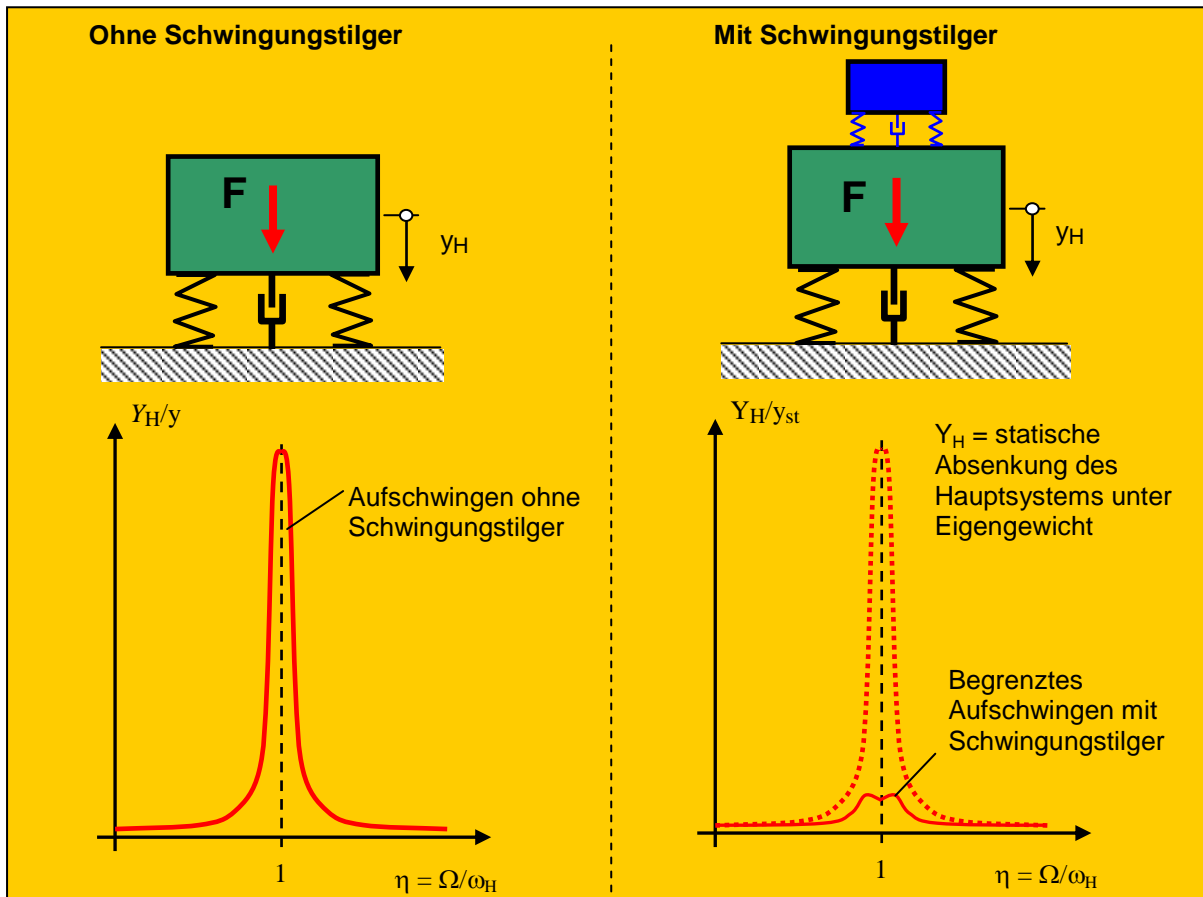


Abb.4: Dynamische Antwort des Hauptsystems mit und ohne Schwingungstilger

Wird an das Hauptsystem ein Schwingungstilger mit der Schwingmasse m_D angekoppelt und werden bei der Auslegung der Federung (k_D) und der Dämpfung (d_D) bestimmte Optimierungskriterien beachtet, fällt die Reaktion des Hauptsystems drastisch niedriger aus, wie auch oben veranschaulicht. Diese Beruhigung des Hauptsystems resultiert aus gegenläufigen Relativschwingungen der Schwingungs-

tilgermasse (m_D) mit entsprechender Frequenzanpassung mittels der Federn, sowie der gleichzeitigen Schwingungsbedämpfung durch ein Dämpfungselement.

2. Abstimmung des Schwingungstilgers auf das Bauwerk

2.1 Abstimmungskriterien

Für eine optimale Schwingungstilgereffizienz ist die genaue Abstimmung des Schwingungstilgers in Bezug auf folgende Punkte notwendig:

- **Schwingmasse:** Das Massenverhältnis (μ) der Tilgermasse zu der kinetisch äquivalenten Bauwerksmasse muss ausreichend groß gewählt werden. Für kleine Massenverhältnisse ($\mu \leq 0,02$) ist mit größeren Aufschwingamplituden der Tilgermasse relativ zum Bauwerk zu rechnen. Zudem zieht ein kleines Massenverhältnis einen engeren Wirkbereich des Schwingungstilgers nach sich. Bei größeren Massenverhältnissen über 0,025 sind die Tilgermassenamplituden deutlich kleiner und der Wirkbereich um die Resonanz herum größer.

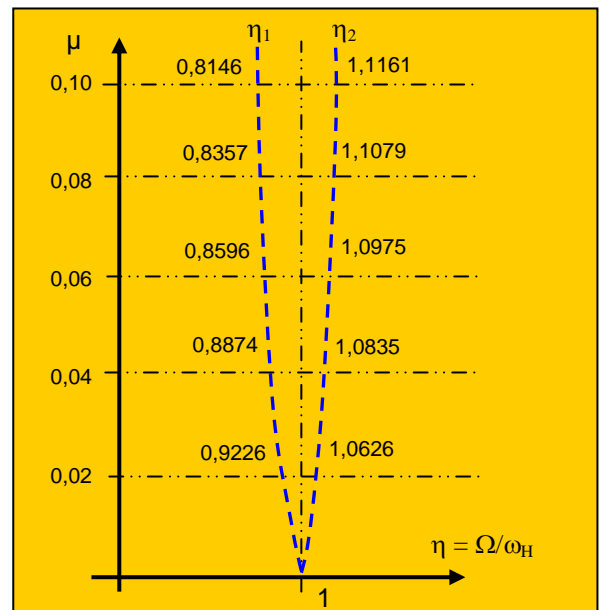


Abb. 5: Frequenzspreizung mit Bezug auf μ

- **Frequenz und Verstimmung:** Um eine möglichst optimale Tilgung der Erregerschwingung zu gewährleisten muss die Eigenfrequenz des Tilgers in einen bestimmten Verhältnis zur Eigenfrequenz des Hauptsystems stehen, d.h. die Frequenzen dürfen nicht identisch sein! Dieses Verhältnis wird Verstimmung κ genannt.

$$\kappa_{opt} = \frac{f_D}{f_H}$$

mit κ_{opt} = optimale Verstimmung
 f_D = Eigenfrequenz des Tilgers
 f_H = Eigenfrequenz des Hauptsystems

und nach DEN HARTOG gilt für harmonische Kräfteerregung:

$$\kappa_{opt} = \frac{1}{1 + \mu} < 1$$

- **Dämpfung:** Neben der Schwingmasse und der optimalen Frequenz ist die erforderliche Dämpfung auf des Schwingungstilgers auf das gewählte Massenverhältnis abzustimmen, wobei gilt:

$$\zeta_{D,opt} = \sqrt{\frac{3\mu}{8 \times (1 + \mu)^3}}$$

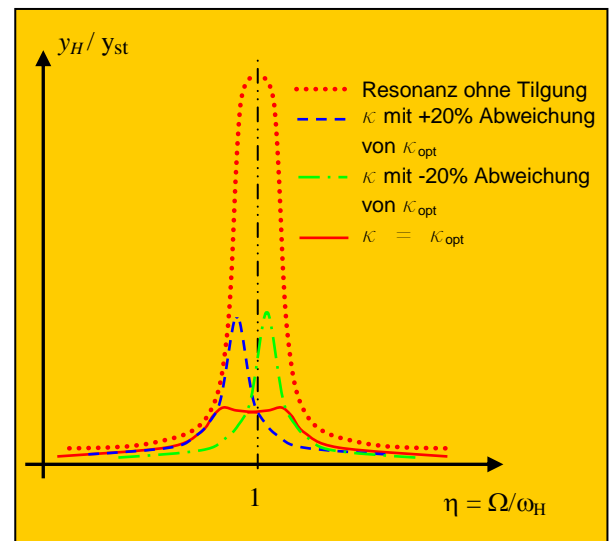


Abb. 6: Verhalten bei Abweichung von der optimalen Verstimmung des Tilgers

2.2 Welche Folgen hat eine falsche oder schlechte Abstimmung des Schwingungstilgers?

- Zu geringes Massenverhältnis μ :** Für kleine Massenverhältnisse (ca. $\mu < 0,04$) ist die wirksame Bandbreite des Schwingungstilgers herabgesetzt. D.h. verändert sich aufgrund von Temperaturdifferenzen, Bauwerksermüdung, etc. die Eigenfrequenz des Hauptsystems, wird die Effizienz des Tilgers bei kleinen μ unter ca. 4% stärker beeinflusst als bei größeren μ über 4% (siehe auch Abb. 5). Zudem folgt aus kleinen μ -Werten eine größere Schwingamplitude der Tilgermasse (Abb. 4), was in manchen Fällen wegen Platzmangel in der Bauwerksstruktur nicht realisierbar ist. So ist der maximale Relativausschlag der Tilgermasse bei $\mu = 0,2$ um 5,36 größer als der maximale Ausschlag des Hauptsystems. Für $\mu = 0,1$ beträgt dieser Faktor nur 2,53.

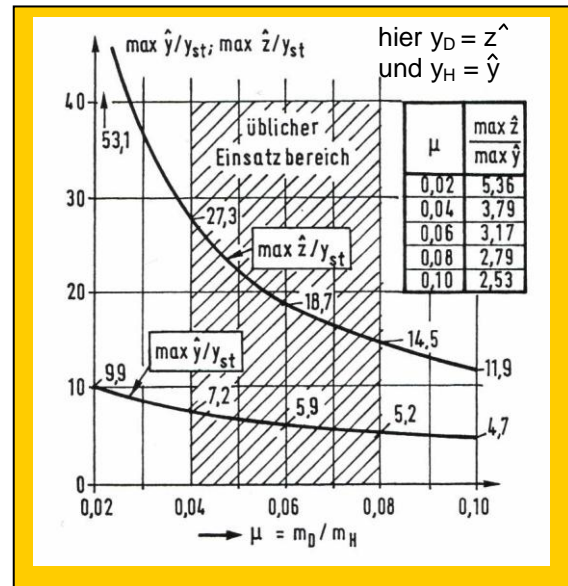


Abb. 7: Relativausschläge des Tilgers im Vergleich zum Hauptsystem

- Abweichung zur optimalen Verstimmung bzw. Frequenz:** Die richtige Verstimmung hat den größten Einfluss auf die Wirksamkeit eines Schwingungstilgers. Hierzu muss die Eigenfrequenz des Bauwerks und auch die kinetisch äquivalente Masse des Hauptsystems bekannt sein. Es ist oftmals schwierig die zu bedämpfende Eigenfrequenz des Hauptsystems rechnerisch zu bestimmen. Die Bauwerke können zum einen sehr komplex sein und zum anderen sind meist die Steifigkeitsverhältnisse nicht ausreichend bekannt (Untergrund, Lagerung, etc.). Dasselbe gilt für die kinetisch äquivalente Masse des Hauptsystems. Im Teilbild a) der Abb. 8 ist $\max \hat{y}/y_{st}$ für die drei Massenverhältnisse 0,04, 0,06 und 0,08 über der Abweichung κ/κ_{opt} aufgetragen. Beträgt die Abweichung beispielsweise 0,8 – liegt κ also 20% unter der optimalen Verstimmung – fällt die maximale bezogene Amplitude im Falle $\mu = 0,04$ mit 29 gegenüber 7,2 bei optimaler Verstimmung um den Faktor 4,0 (= $29/7,2$) höher aus.

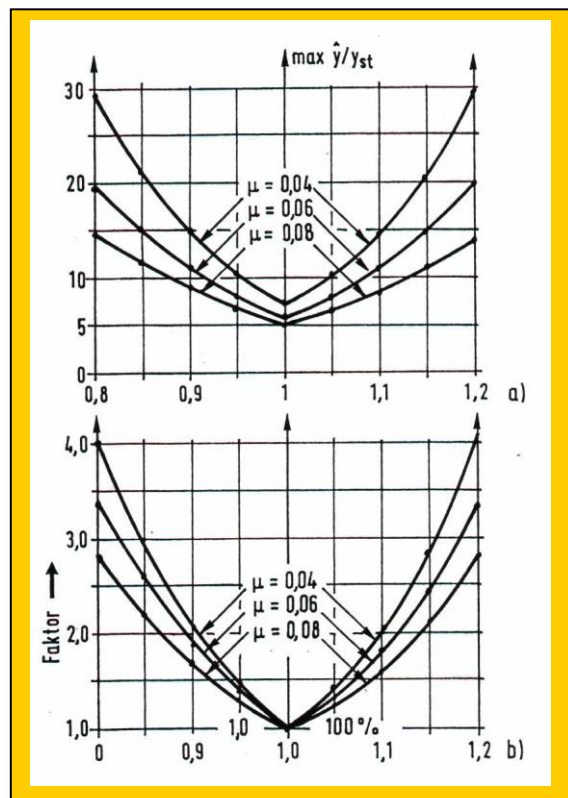


Abb. 8: Veränderung der Relativausschläge des Tilgers bei Verstimnungsabweichung

- Abweichung zur optimalen Dämpfung:** Die richtige Dämpfung der Tilgermasse trägt ebenso zur höchstmöglichen Effizienz des gesamten Schwingungstilgers bei. Die Abweichung von der optimalen Dämpfung hat jedoch im Vergleich zu einer Abweichung der optimalen Verstimmung wesentlich geringeren Einfluss auf die Gesamteffizienz des Schwingungstilgers. D.h. liegt die Dämpfungsabweichung im Bereich von $\pm 25\%$ (roter Bereich in Abb. 9) wirkt sich dies nur gering auf die Wirksamkeit des Schwingungstilgers aus! In Abb. 9 sind die Auswirkungen von Dämpfungsabweichungen (siehe Faktor unten in Abb) auf die Schwingamplituden des Hauptsystems (y; untere Kurve) und des Schwingstilgers (z; obere Kurve) dargestellt. Generell ist erkennbar, dass signifikante Amplitudenveränderungen des Hauptsystems erst bei Dämpfungsabweichungen von mehr als $\pm 50\%$ auftreten. Daher ist die Dämpfung ein ebenfalls wichtiger Bestandteil eines Schwingungstilgers, bei der jedoch kleinere Abweichungen vom Optimum akzeptabel sind, ohne gleich signifikante Effizienzeinbußen des Schwingungstilgers hinnehmen zu müssen.

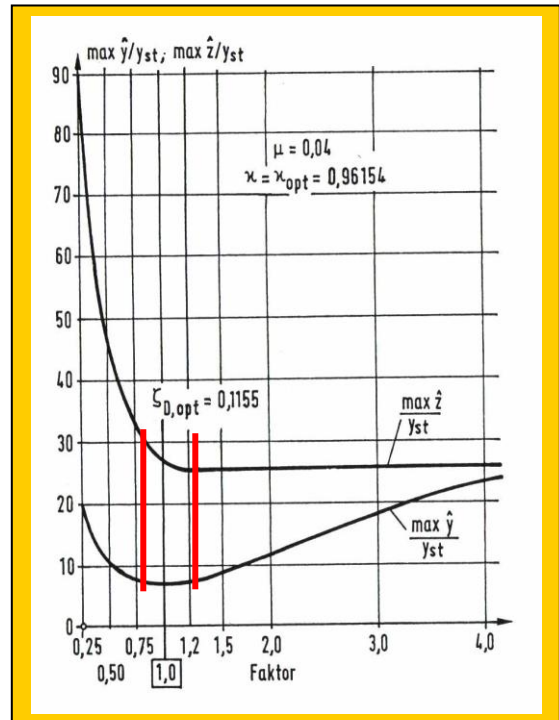


Abb. 9: Dämpfungsabweichung mit Auswirkung auf System- und Tilgeramplituden bei $\mu = 0,04$

2.3 Wertung der drei Hauptabstimmungskriterien für einen Schwingungstilger

- Als das wichtigste Kriterium gilt die optimale Verstimmung (Abb. 10). Passen die Eigenfrequenzen inklusive der Verstimmung nicht zur Eigenfrequenz des Hauptsystems, ist bereits bei kleinen Abweichungen mit erheblichen Wirkungseinschränkungen zu rechnen (Abb. 8)
- Als weiteres wichtiges Kriterium gilt ein effektives und Breitbandigkeit gewährleistendes Massenverhältnis (Abb. 7).
- Die Dämpfung ist den beiden oberen etwas untergeordnet, da hier die größten Abweichungen toleriert werden können, ohne signifikante Effizienzeinbußen hinnehmen zu müssen (Abb. 9).

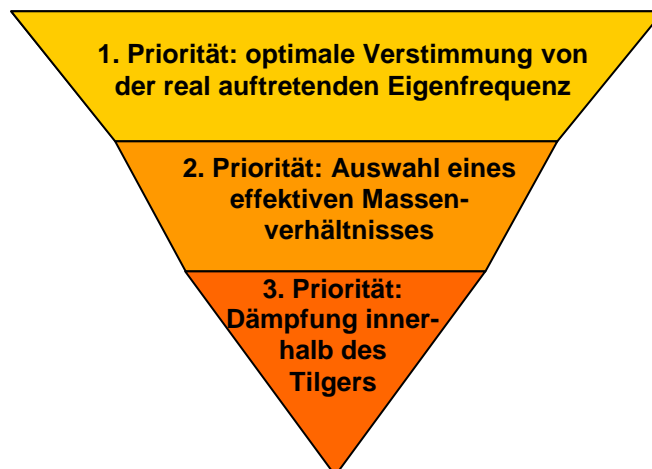


Abb. 10: Wichtigkeit der Hauptabstimmungskriterien für einen Schwingungstilger

3. Notwendige Kenngrößen zur Schwingungstilgerauslegung

Für die Auslegung bzw. Dimensionierung der Schwingungstilger sind folgende Eingabedaten notwendig:

- a) **Kinetisch äquivalente Brückenmasse, d.h. dies ist die mitschwingende Masse des zu bedämpfenden Bauwerksmodos.**
- b) **Eigenfrequenzen des Bauwerks für die eine Bedämpfung erfolgen soll.**
- c) **Optional: Platzverhältnisse in die der Schwingungstilger eingebaut werden soll.**
- d) **Optional: Dämpfungsgrad des Dämpfungselements des Schwingungstilgers.**

Die Punkte a und b müssen unbedingt bekannt sein, da ansonsten keine Dimensionierung bzw. Auslegung erfolgen kann.

Die beiden letzten optionalen Punkte müssen nicht unbedingt vorgegeben werden. Falls diese nicht bekannt sind, erfolgt eine Auslegung aufgrund von wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

4. Optimales Vorgehen bei der Schwingungstilgerauslegung

- Vorbestimmung der maßgeblichen Eigenformen bzw. –frequenzen und der kinetisch äquivalenten Bauwerksmasse.
- Ermittlung und Auslegung der erforderlichen Tilger (Anzahl, Gewicht, Einbauort, etc.) und Planung der entsprechenden Bauwerksbefestigungen.
- Aufschwingversuch durch MAURER oder eine Universität nach dem Aufstellen des Bauwerks und erfassen der exakten Frequenzen.
- Feinauslegung des Schwingungstilgers basierend auf den Messungen und Fertigung.
- Einbau des Schwingungstilgers.
- Eventuell nochmaliger Aufschwingversuch, um die Wirksamkeit des Schwingungstilgers zu demonstrieren.

5. Generelle Bautypen der MAURER-Schwingungstilger (MTMD)

MAURER-Schwingungstilger werden alle individuell auf das Bauwerk in Bezug auf Masse, Schwingfrequenz, Dämpfung und verfügbare Platzverhältnisse abgestimmt.

Die nachfolgend aufgeführten Varianten von Schwingungstilgern stellen daher lediglich die möglichen Prinziplösungen dar, die dann individuell an das Bauwerk angepasst werden.

Ausführungsprinzipien für die MTMDs

- 5.1 MTMD-V: Vertikal wirksame Schwingungstilger
- 5.2 MTMD-H: Horizontal wirksame Schwingungstilger
- 5.3 MTMD-P: Pendelschwingungstilger
- 5.4 ATMD-P: Adaptiver Schwingungstilger

5.1 MTMD-V: Vertikal wirksame Tilger

5.1.1 Technische Beschreibung des MTMD-V

Funktionsprinzip:

Der Schwingungstilger wird an der Stelle des Bauwerks mit dem entsprechenden Maximum des Schwingungsbauchs der zu bedämpfenden, vertikal verlaufenden Eigenfrequenz platziert.

Die Verbindung mit dem Bauwerk erfolgt in der Regel mittels einfacher Schraubverbindungen zu entsprechenden horizontal verlaufenden Auflagen oder Trägern.

Der MTMD-V besteht aus einer vertikal schwingenden Tilgermasse, die auf Stahlfedern gelagert ist. Parallel zu den Federn ist ein Dämpfungselement geschaltet.

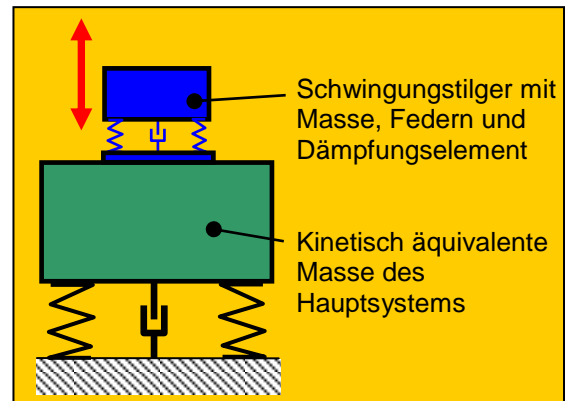


Abb. 11: Funktionsprinzip eines MTMD-V

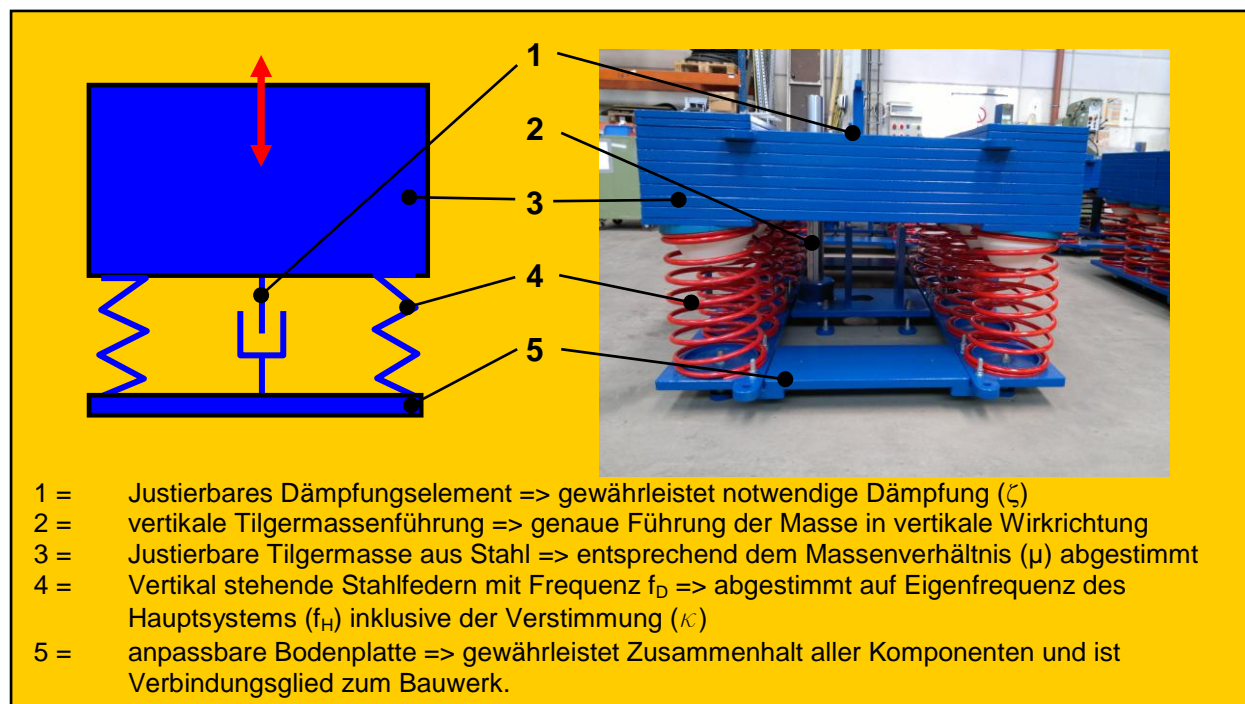


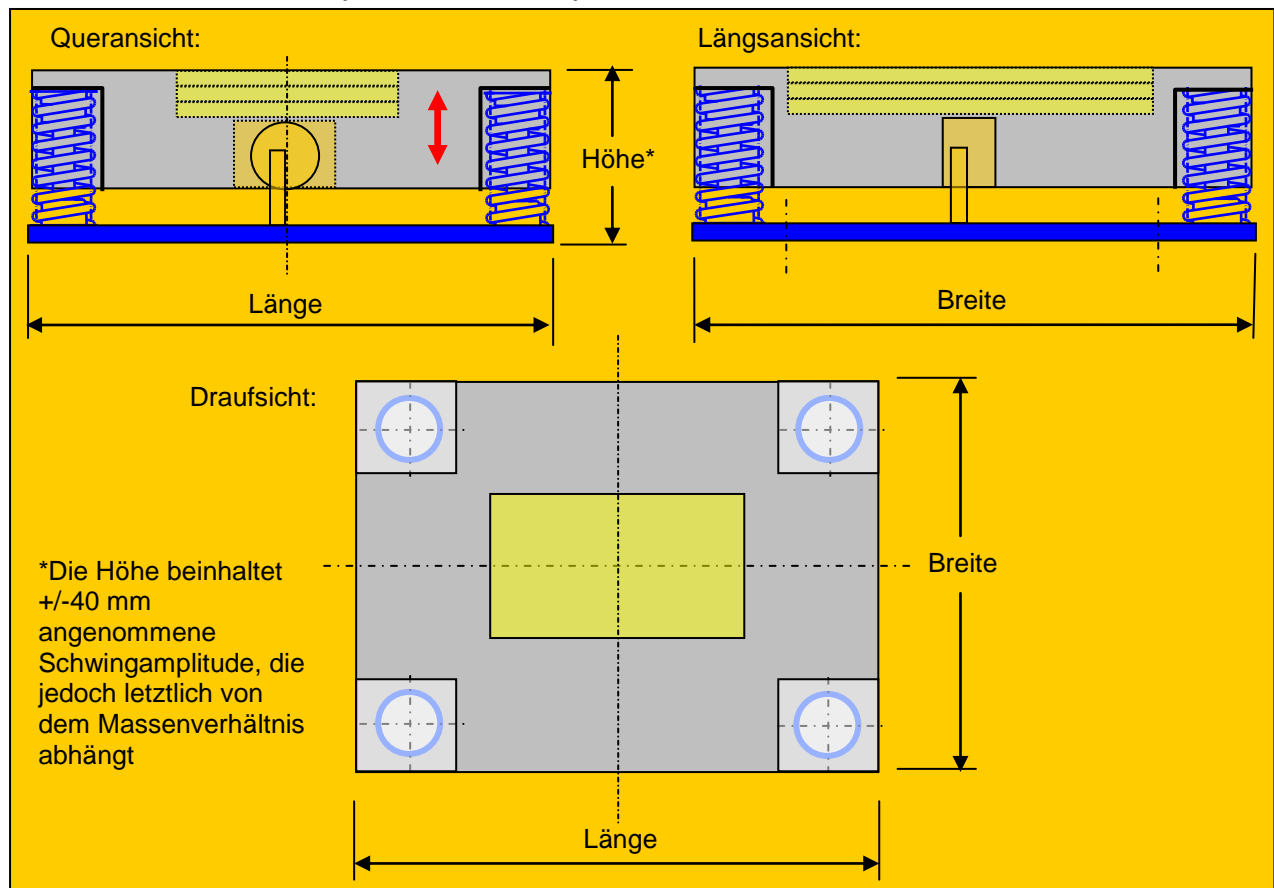
Abb. 12: Erläuterung des MTMD-V

Der MTMD-V wird individuell in Absprache mit dem Bauherrn und Planer an das Bauwerk angepasst und ist in allen Größen (bis ca. 30.000 kg oder mehr), Formen (flach, hoch, etc.) und Abstimmungsvarianten (Frequenz, Dämpfung, etc.) erhältlich.

Größen für den MTMD-V für die erste Projektierungsphase

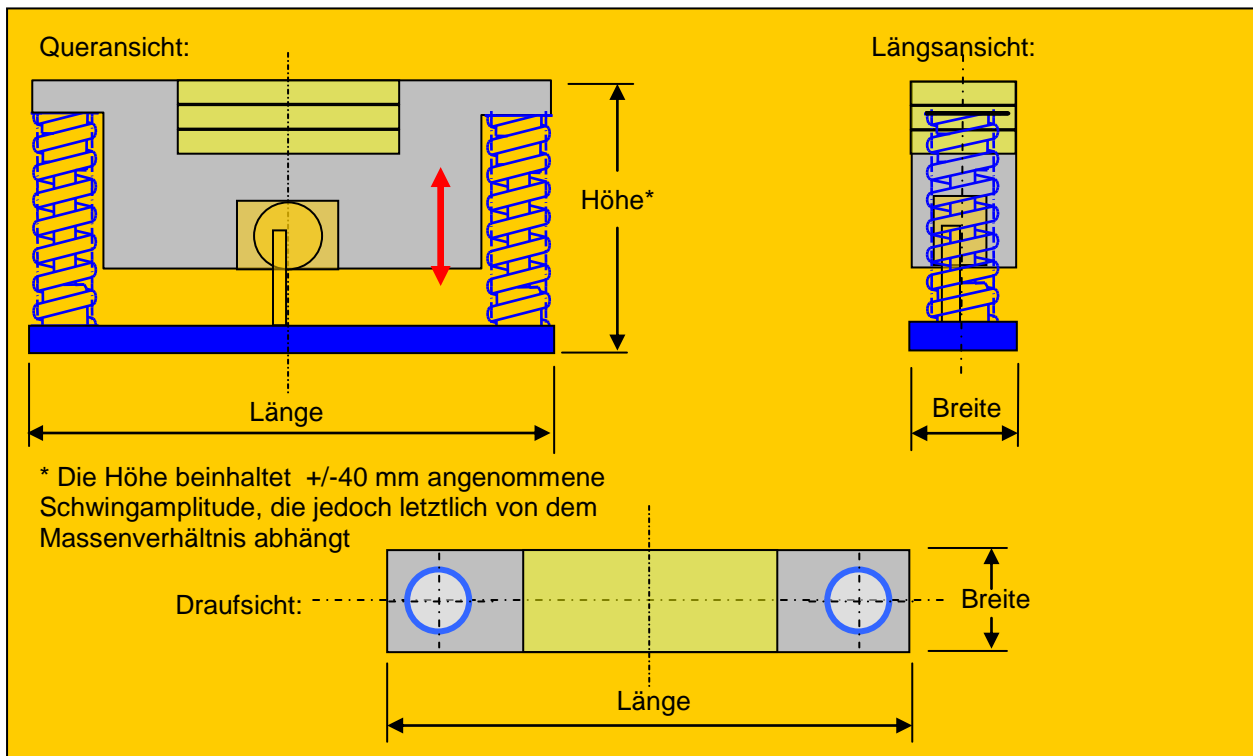
Jeweils von der entsprechenden Bauwerksstruktur abhängig, werden die endgültigen MTMD-V-Abmaße von MAURER individuell angepasst. Die untenstehenden Werte sind lediglich für eine erste Orientierung gedacht.

Version 1: MTMD-V-flach (nicht maßstäblich)



Masse	Länge	Breite	Höhe
[kg]	[mm]	[mm]	[mm]
250	600	560	275
500	800	556	325
750	1000	610	325
1000	1000	780	325
1500	1250	930	325
2000	1600	930	325
2500	2000	930	325
3000	2000	1080	325
4000	2000	1410	325
5000	2560	1410	325
6000	2780	1530	325

Abb. 13: Prinzipskizze und vorläufige Abmaße für die MTMD-V-flach

Version 2: MTMD-V-hoch (nicht maßstäblich)


Masse	Länge	Breite	Höhe
[kg]	[mm]	[mm]	[mm]
250	620	200	635
500	870	200	735
750	1020	200	905
1000	1220	200	935
1500	1420	240	1005
2000	1620	240	1085
2500	1750	250	1185
3000	1870	250	1285
4000	2120	280	1585
5000	2320	280	1705
6000	2520	280	1785

Abb. 14: Prinzipskizze und vorläufige Abmaße für die MTMD-V-hoch

Das Dämpfungselement wird an die notwendige Dämpfung angepasst. Die oben aufgeführten vorläufigen Abmaße beziehen sich beispielhaft auf ein Frequenzbandbreite zwischen 2 Hz und 3 Hz. Die endgültigen Größen hängen von der Frequenz, der Masse, dem Massenverhältnis sowie den Befestigungsmöglichkeiten bzw. den generellen Platzverhältnissen ab. So kann je nach Bedarf der Tilger länger und dafür breiter oder umgekehrt ausgeführt werden. Die MTMD-V-Masse kann je nach Bedarf erhöht werden (mehr als 30,000 kg), jedoch ist stets das Handling und der Einbau zu berücksichtigen.

5.1.1 Einsatzbeispiel für MTMD-V-5000: Singapur Skypark - Marina Bay Sands Hotel

MTMD-V-flach:

- | | |
|-----------------|----------------|
| a) Tilgermasse: | 6000kg |
| b) Frequenz: | 0,8-1,2 Hz |
| c) Dämpfung: | max. 3978 Ns/m |



Abb. 15: Marina Bay Sands Hotel



Abb. 16: Auskragendes Deck des Skyparks mit Musikveranstaltungen



Abb. 17: Eingebauter Schwingungstilger

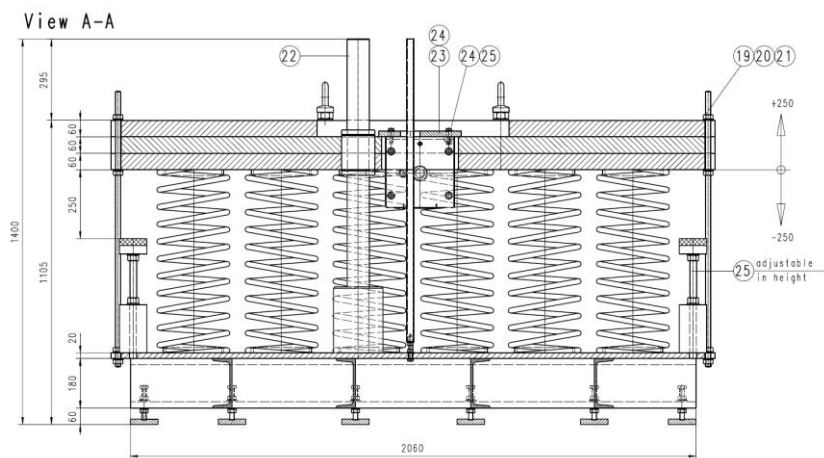


Abb. 18: Querschnitt durch Schwingungstilger

5.1.3 Einsatzbeispiel für MTMD-V-1200: Abandoibarra Brücke in Bilbao - Spanien

MTMD-V-hoch:

- a) Tilgermasse: 1200kg
- b) Frequenz: 1,85 Hz
- c) Dämpfung: 1241 Ns/m



Abb. 19: Abandoibarra Brücke

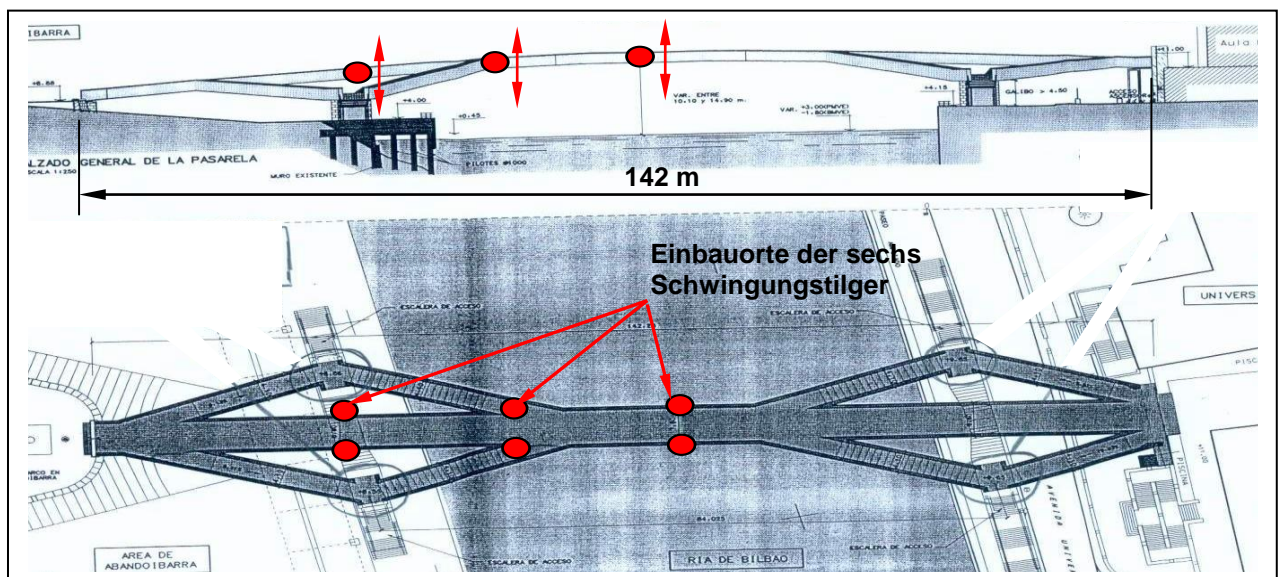


Abb. 20: Brücke im Querschnitt und in der Draufsicht mit markierten Tilgerplatzierungen

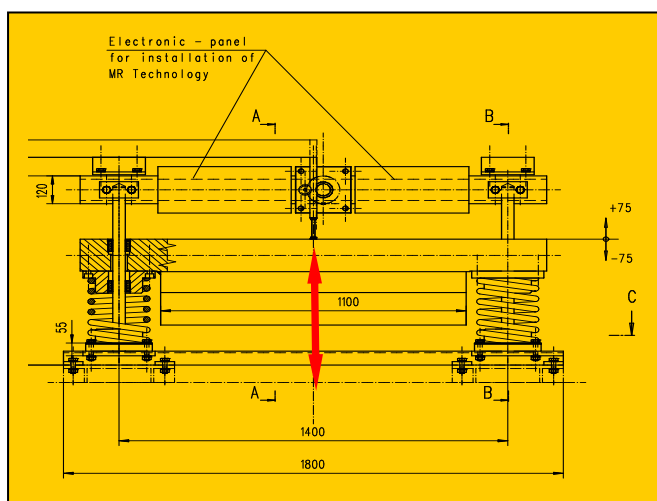


Abb. 21: Schnitt durch den Tilger



Abb. 22: Einbau des MTMD-V

5.2 MTMD-H: Horizontal wirksamer Tilger

5.2.1 Technische Beschreibung des MTMD-H

Funktionsprinzip:

Der Schwingungstilger wird an der Stelle des Bauwerks mit dem entsprechenden Maximum des Schwingungsbauchs der zu bedämpfenden, horizontal verlaufenden Eigenfrequenz platziert.

Die Verbindung mit dem Bauwerk erfolgt in der Regel mittels einfacher Schraubverbindungen zu entsprechenden horizontal oder vertikal verlaufenden Auflagen oder Trägern.

Der MTMD-H besteht aus einer horizontal schwingenden Tilgermasse, die zwischen Stahlfedern gelagert ist. Parallel zu den Federn ist ein Dämpfungselement geschaltet.

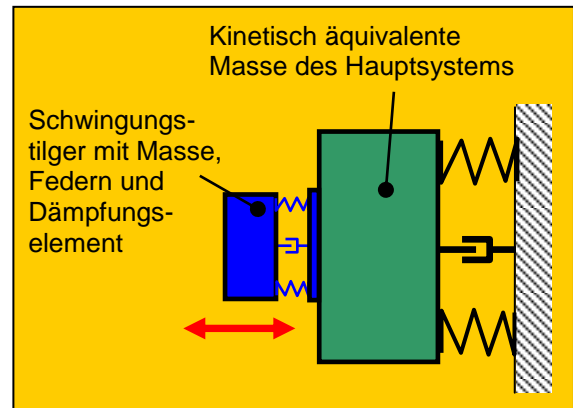


Abb. 23: Funktionsprinzip eines MTMD-H

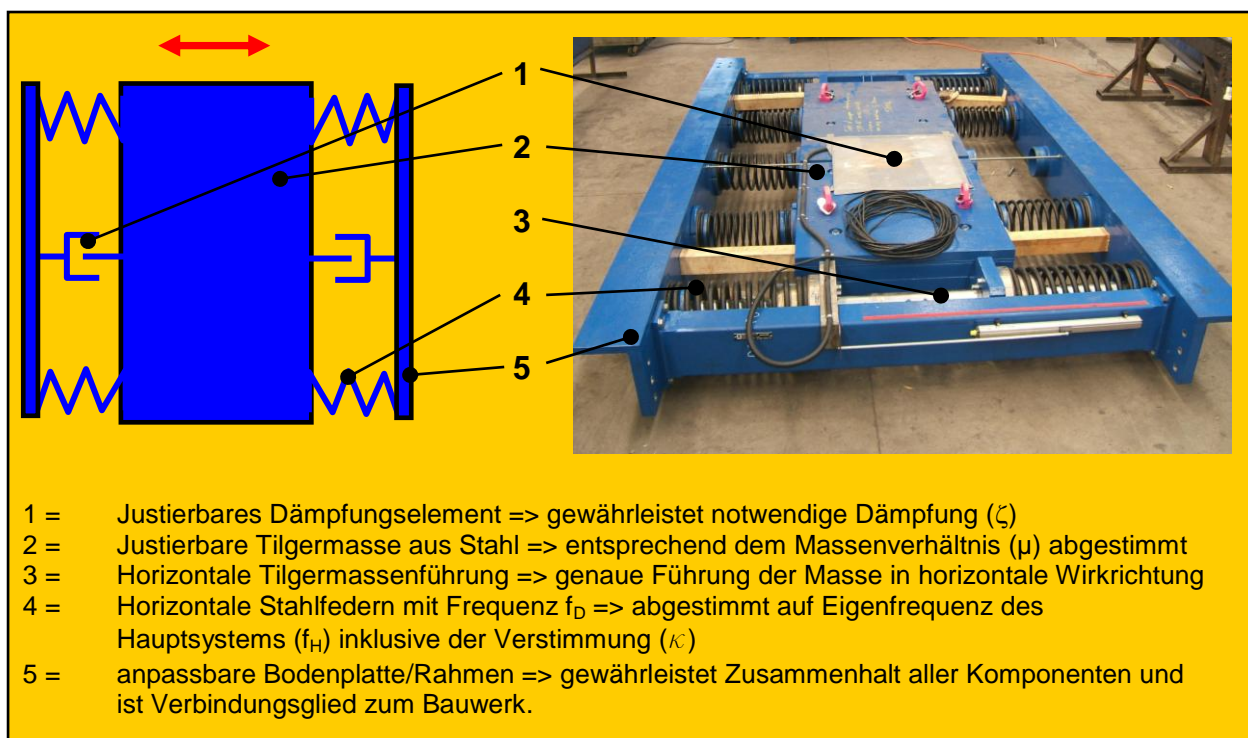
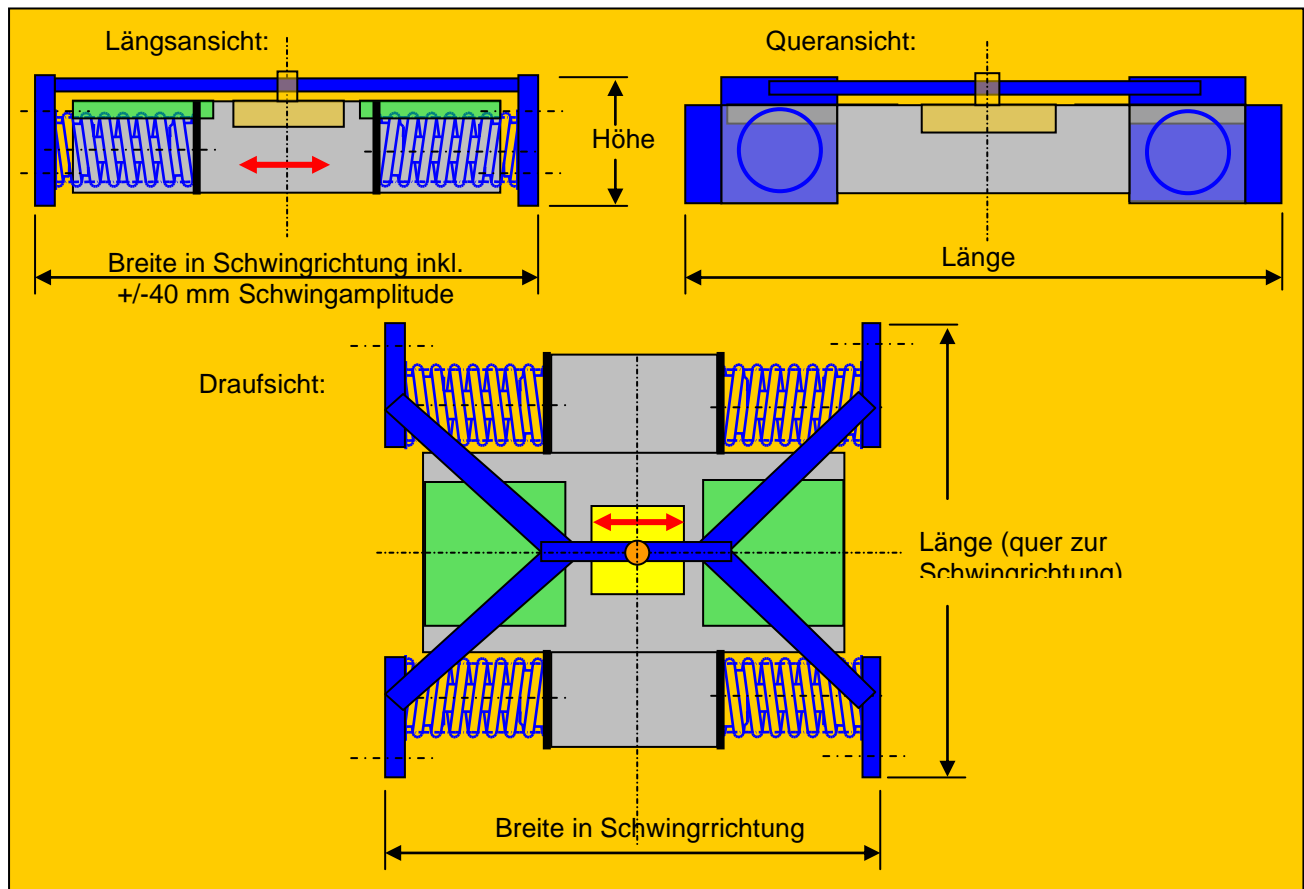


Abb. 24: Erläuterung des MTMD-H

Der MTMD-H wird individuell in Absprache mit dem Bauherrn und Planer an das Bauwerk angepasst und ist in allen Größen (bis 30.000 kg oder mehr), Formen (flach, hoch, etc.) und Abstimmungsvarianten (Frequenz, Dämpfung, etc.) erhältlich.

Größen der MTMD-H für die Projektierungsphase (nicht maßstäblich)

Jeweils von der entsprechenden Bauwerksstruktur abhängig, werden die endgültigen MTMD-H-Abmaße von MAURER individuell angepasst. Die untenstehenden Werte sind lediglich für eine erste Orientierung gedacht.



Masse [kg]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]
250	880	560	200
500	1080	670	200
750	1330	670	210
1000	1530	700	220
1500	1330	1020	260
2000	1330	1200	280
2500	1530	1200	280
3000	1800	1200	280
4000	1910	1320	310
5000	2140	1520	310
6000	2140	1780	310

Abb. 25: Prinzipskizze und vorläufige Abmaße für die MTMD-H

Das Dämpfungselement wird an die notwendige Dämpfung angepasst. Die oben aufgeführten vorläufigen Abmaße beziehen sich beispielhaft auf ein Frequenzbandbreite zwischen 1 Hz und 2 Hz. Die endgültigen Größen hängen von der Frequenz, der Masse, dem Massenverhältnis sowie den Befestigungsmöglichkeiten bzw. den generellen Platzverhältnissen ab. So kann je nach Bedarf der Tilger länger und dafür breiter oder umgekehrt ausgeführt werden. Die MTMD-V-Masse kann je nach Bedarf erhöht werden (mehr als 30.000 kg), jedoch ist stets das Handling und der Einbau zu berücksichtigen.

5.2.2 Einsatzbeispiel für MTMD-H-1900: Brücke Port Tawe in Swansea - England

MTMD-H:

- a) Tilgermasse: 1900kg
- b) Frequenz: 1,159 Hz
- c) Dämpfung: 3876 Ns/m



Abb. 26: Port Tawe Fußgängerbrücke

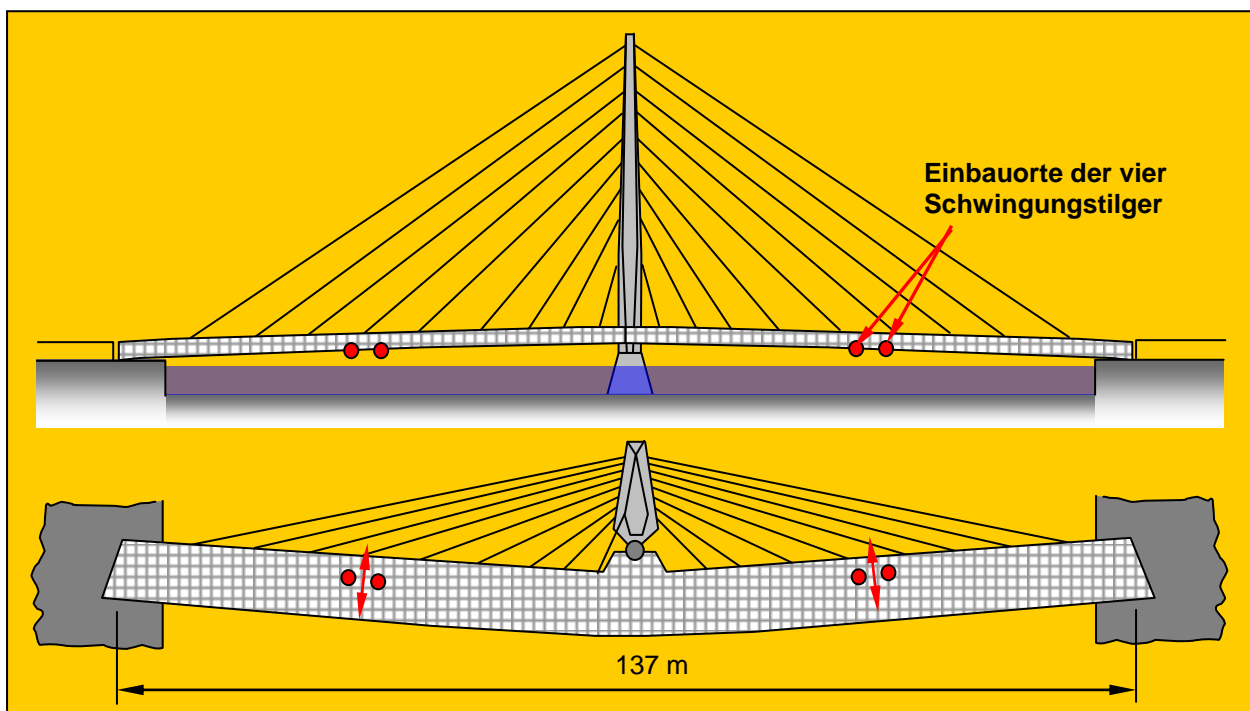


Abb. 27: Port Tawe Brücke

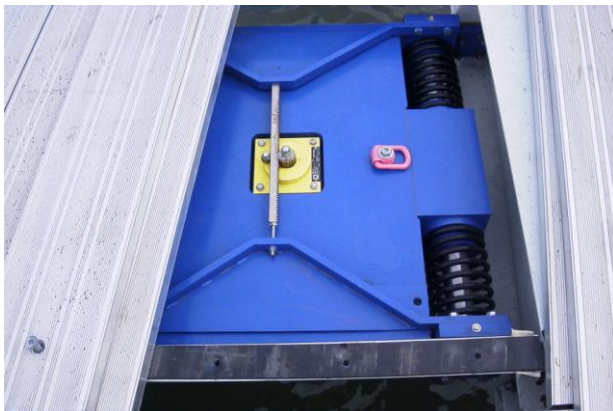


Abb. 28: Eingebauter MTMD-H



Abb. 29: Deckseitenansicht

5.2.3 Einsatzbeispiel für MTMD-H-4000: Olympia Brücke in Turin - Italien

MTMD-H:

- | | |
|-----------------|--------------|
| d) Tilgermasse: | 2 x 4000kg |
| e) Frequenz: | 0,55-0,95 Hz |
| f) Dämpfung: | 3876 Ns/m |



Abb. 30: Olympia Brücke

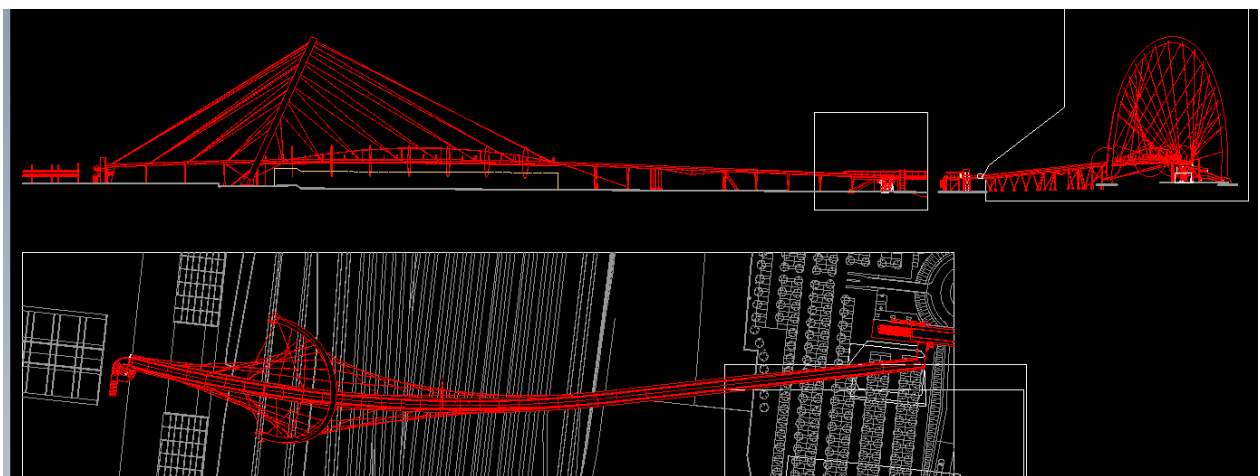


Abb. 31: Draufsicht und Seitenansicht der 368m langen Olympia Brücke

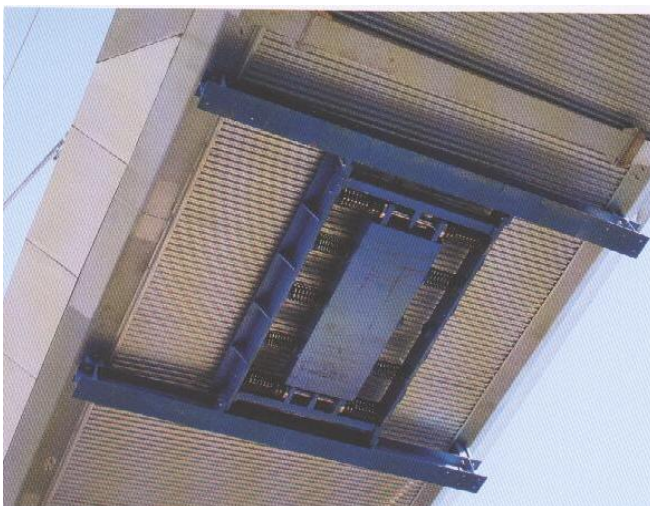


Abb. 32: Eingebauter MTMD-H

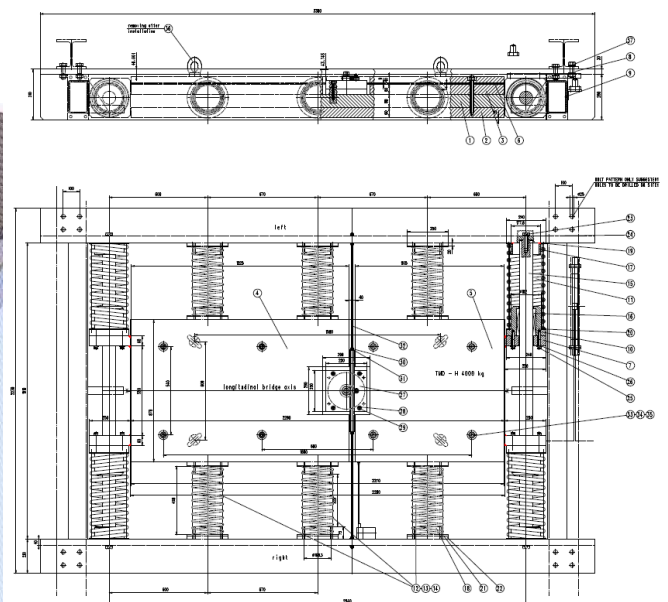


Abb. 33: Seitenansicht und Draufsicht auf Tilger

5.3. MTMD-P: Pendelschwingungstilger

5.3.1 Technische Beschreibung des MTMD-P

Funktionsprinzip:

Der Schwingungstilger wird an der Stelle des Bauwerks mit dem entsprechenden Maximum des Schwingungsbauchs der zu bedämpfenden, in der Regel horizontal oder radial verlaufenden Eigenfrequenz platziert.

Die Verbindung mit dem Bauwerk erfolgt in der Regel mittels einfacher Schraubverbindungen zu entsprechenden horizontal oder vertikal verlaufenden Auflagen oder Trägern.

Der MTMD-P besteht aus einer pendelnd gelagerten Tilgermasse, die sich an einem Pendelstab befindet. Die Rückstellung erfolgt durch die Gravitationskraft, welche auf die Pendelmasse wirkt. Die Dämpfung wird mittels gestaffelter Reibplatten realisiert.

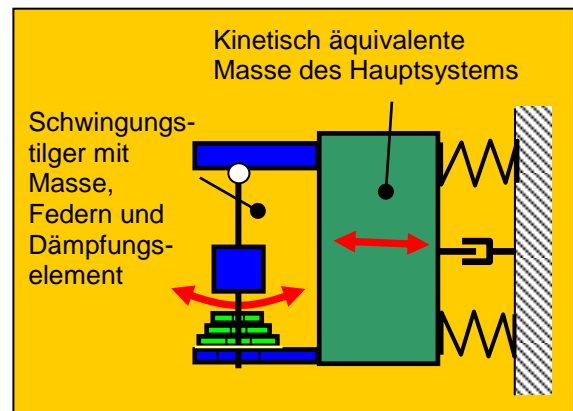


Abb. 34: Funktionsprinzip eines MTMD-P

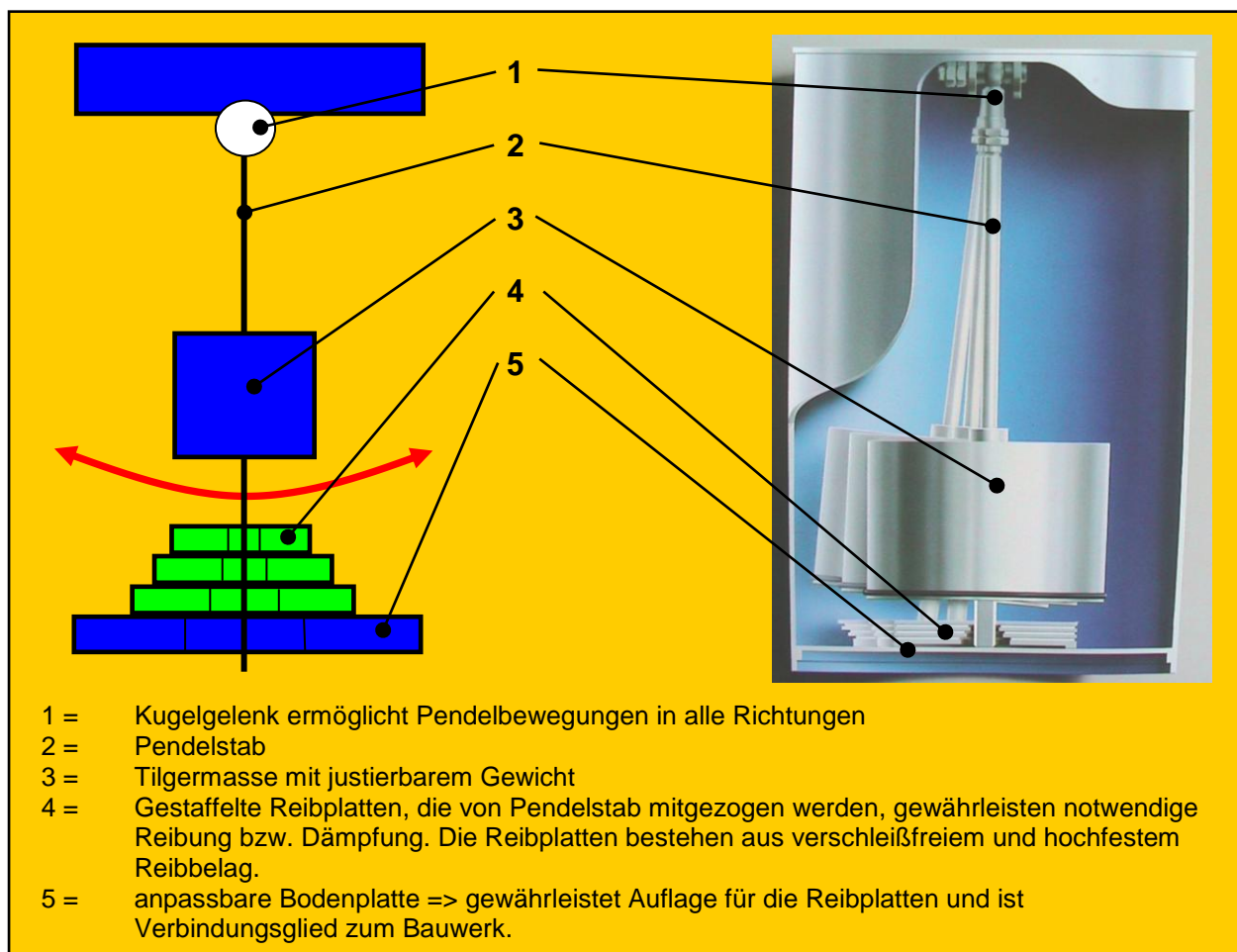


Abb. 35: Erläuterung des MTMD-P

Der MTMD-P wird individuell in Absprache mit dem Bauherrn und Planer an das Bauwerk angepasst und ist in allen Größen (bis 30.000 kg oder mehr), Formen (flach, hoch, etc.) und Abstimmungsvarianten (Frequenz, Dämpfung, etc.) erhältlich.

5.3.2 Einsatzbeispiel für MTMD-P-2100:

MTMD-P:

- a) Tilgermasse: 2100kg
- b) Frequenz: 0,45 Hz

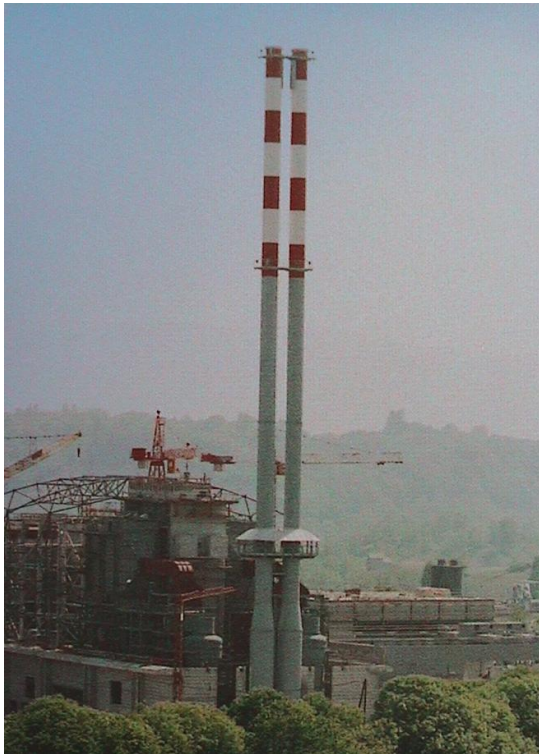


Abb. 37: MVA Genf



Abb. 36: MHKW Ulm

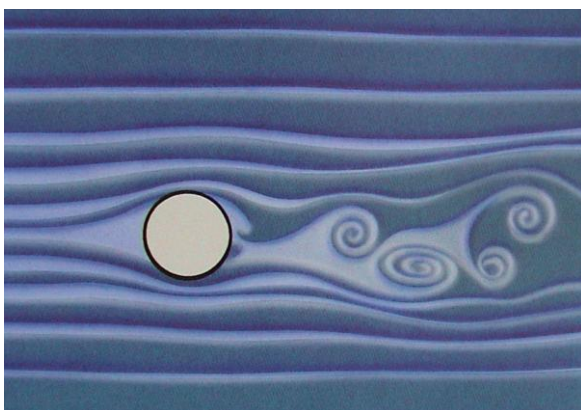


Abb. 38: Karman'sche Wirbelstrasse



Abb. 39: Pendeltilger MTMD-P-2100

5.3.3 Einsatzbeispiel für MTMD-P-62847: Alphabetic Tower in Batumi - Georgien

MTMD-P:

- a) Tilgermasse: 62.847kg
- b) Frequenz: 0,32-0,49 Hz adaptiv
- c) Dämpfung: 35.616 Ns/m adaptiv

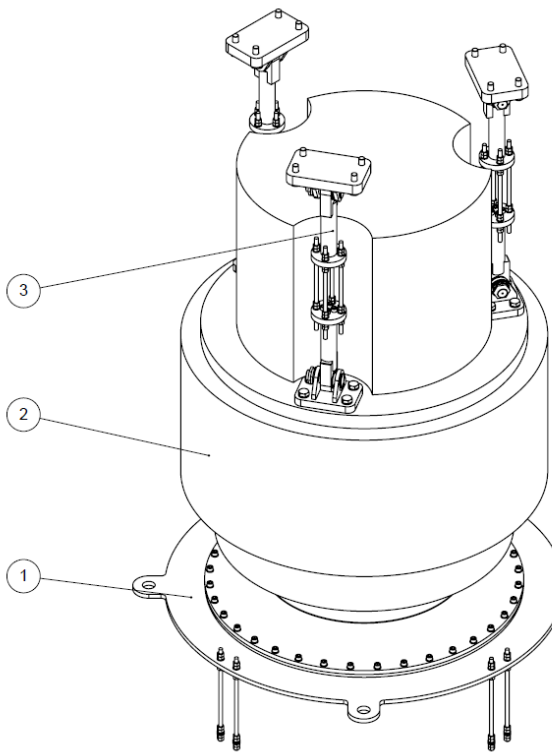


Abb. 41: Explosionszeichnung mit Pendelelemente

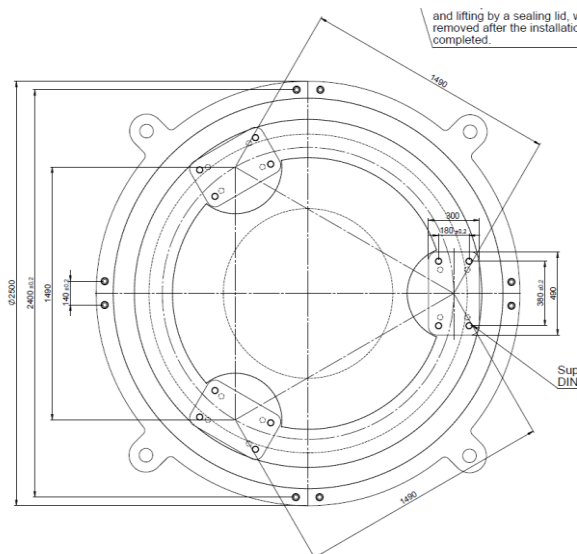


Abb. 42: Draufsicht auf Masse



Abb. 40: Alphabetic Tower



Abb. 43: Bauzustand 07/2011

5.4. Adaptive Tilgersysteme

5.4.1 Technische Beschreibung des adaptiven Tilgers

Funktionsprinzip:

Der Schwingungstilger wird mit einem adaptiven Dämpfelement ausgestattet, welches in Echtzeit (~20-30ms) stufenlos die Dämpfung variieren kann. Die Bauwerksfrequenz wird über einen Beschleunigungssensor gemessen. Mittels eines Industrie-PCs wird das Inputsignal in ein Steuer-Outputsignal umgewandelt und die Dämpfung des Dämpfelementes entsprechend angepaßt. Dabei werden nicht nur die Temperatureinflüsse komplett kompensiert, sondern es ist auch eine Frequenzbeeinflussung von bis zu +/-20% in Echtzeit gewährleistet! Mit dieser Steuerung können vertikal, horizontal und pendelnde Schwingungsdämpfer ausgerüstet werden.

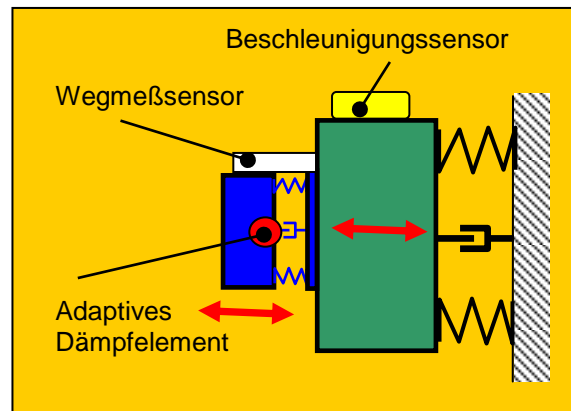


Abb. 44: Funktionsprinzip eines adaptiven TMDs

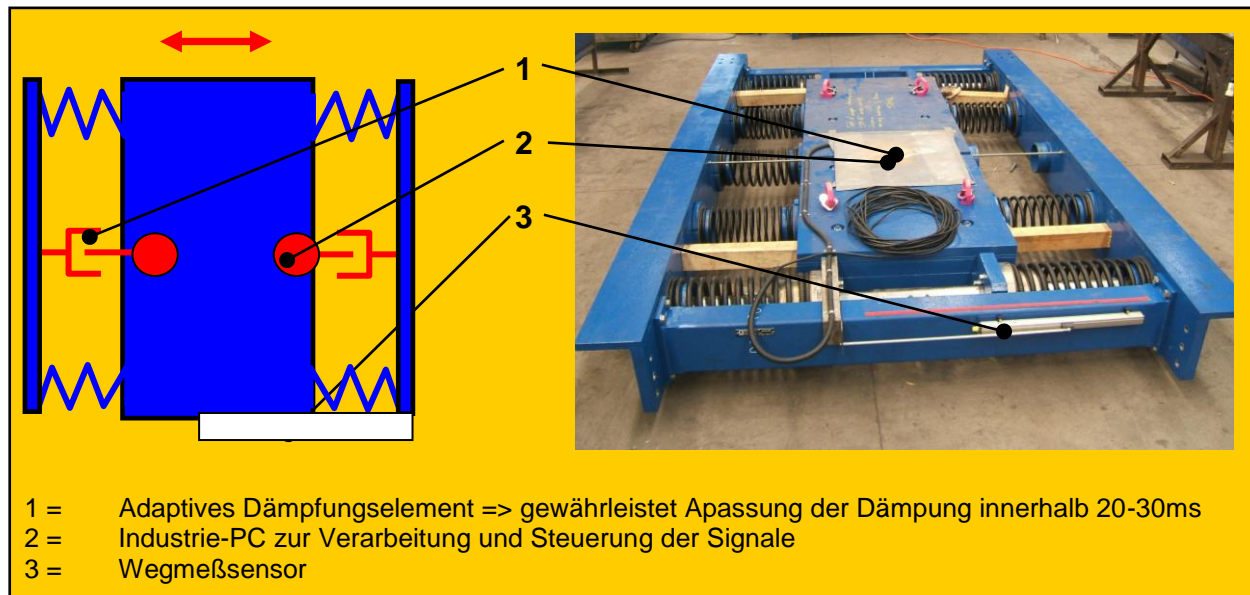


Abb. 45: Erläuterung des ATMD

Die adaptive Steuerung wird individuell mit dem Bauherrn und Planer an das Bauwerk angepasst.

Mittels dieser Anpassung kann die Wirksamkeit des Dämpfer immer näher am Optimum gehalten werden, da Temperaturen und Frequenzänderungen am Bauwerk in bestimmten Bereichen kompensiert werden können. Zudem bietet dieses System die Möglichkeit eng benachbarte Frequenzen mittels eines Schwingungstilgers zu bedämpfen, ohne, dass ein weiterer Dämpfer für eine andere Frequenz notwendig wird.

5.4.2 Einsatzbeispiel für ATMD-V-5200: Brücke Wolgograd - Rußland

MTMD-P:

- a) Tilgermasse: 12 x 5200kg
- b) Frequenz: 0,45Hz, 0,57Hz, 0,64Hz adaptiv
- c) Dämpfung: 1.620-2.260 Ns/m adaptiv



Abb. 46: Wolgograd Brücke



Abb. 47: TMD mit unterschiedlicher Frequenzabstimmung der Federn und adaptiven Dämpfelement

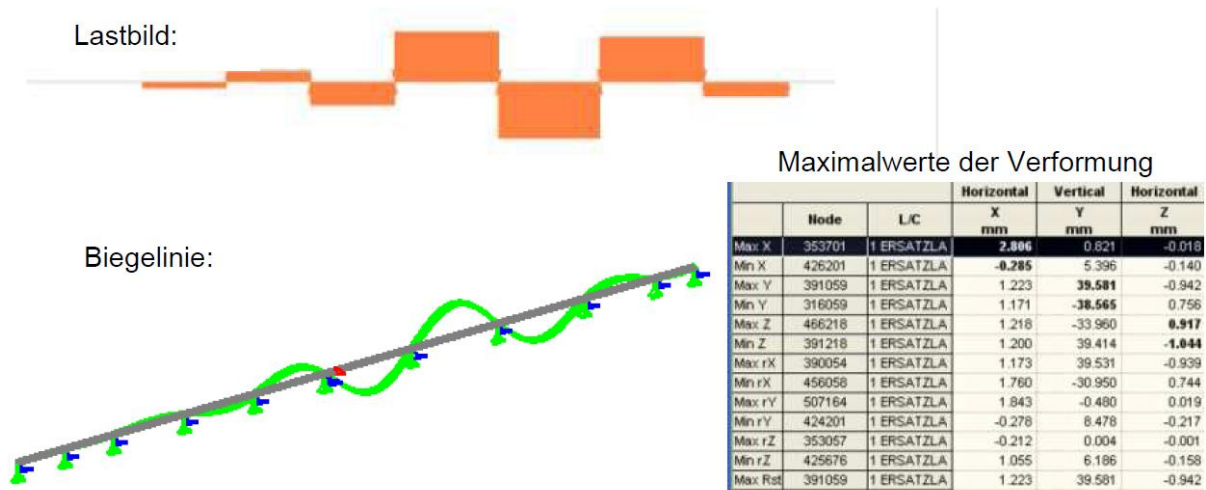


Abb. 48: Systemberechnung zur Abstimmung der elektronischen Steuerung der Tilger

6. Vorschlag für einen Ausschreibungstext eines Schwingungstilgers

LV-Position ??? Schwingungstilger System MAURER-PETERSEN (oder gleichwertig) nach statisch-konstruktiven Erfordernissen auslegen, zeichnen, herstellen und liefern. Der Hersteller muss über mindestens fünf Jahre Erfahrung im Schwingungstilgerbau verfügen und dies mit Referenzen nachweisen.

Auslegungs- und Designkriterien:

- Wirkrichtung des Schwingungstilgers bzw. zu bedämpfende Schwingung: Vertikal oder horizontal oder Torsion oder pendelnd
- Zu bedämpfende Eigenfrequenz der Brücke unter Eigengewicht: ?? Hz. Adaptive Anpassung?
- Dämpfermasse pro Schwingungstilger: ?? kg
- Massenverhältnis zwischen Tilgermasse und kinetisch äquivalenter Brückenmasse: ??
- Tilgermasse muss innerhalb +/-20% variierbar sein; die möglicherweise zusätzlich notwendigen Masse-Platten sind einzurechnen.
- Max. vorhandener Raum pro Tilger: ?? x ?? x ?? mm; Lochbildvorgabe für die Verschraubung: ???
- Befestigung erfolgt mittels Schraubverbindungen zu bauseitigen Haltern, bzw. Trägern.
- Korrosionsschutz: 100µm Zinkspray, 100µm Eisenglimmer, 40µm Deckanstrich. Gegebenenfalls sind die Gehäuseelemente zu verzinken.

Für jeden Schwingungstilger ist vom Hersteller ein Funktionstest, welcher die nachfolgenden Werte innerhalb bestimmter Toleranzbereiche aufzeigt und entsprechend dokumentiert, durchzuführen:

- Frequenz (Toleranzbereich +/-3% von der Sollvorgabe),
- Dämpfung (Toleranzbereich +/-15% von der Sollvorgabe),
- innere Reibung in den Führungen (Toleranzbereich maximal 0,4% Reibkraftanteil von der Tilgermasse für vertikale Führungen und 1,5% von der Tilgermasse für horizontale Führungen)

Der Funktionstest ist von einem unabhängigen offiziellen Sachverständigen (von dem Auftraggeber anerkannt) mit entsprechender Erfahrung (mehr als 5 Jahre) auf dem Gebiet der Schwingungstechnik von Brücken zu überwachen und die Einhaltung der Toleranzgrenzen ist von diesem entsprechend zu bestätigen.

Die Schwingungstilger sind für eine Servicelebensdauer von 30 Jahren zu bemessen und auszubilden.

Auf die einwandfreie Funktion der Schwingungstilger ist 10 Jahre Gewährleistung gefordert.

?? St

LV-Position ???

*** Eventualposition

Schwingungsmessung durch einen unabhängigen Sachverständigen mit entsprechender Erfahrung (mehr als 5 Jahre) auf dem Gebiet der Schwingungstechnik von Brücken nach der Fertigstellung der Brücke (ohne Schwingungstilger) durchführen, auswerten und Abgabe von Empfehlungen für zu bedämpfende Eigenformen. Basierend auf diesen Messergebnissen und den Entscheidungen des Bauherrn hat der Schwingungstilgerhersteller die Tilger zu bemessen und herzustellen.

1 St

LV-Position ???

*** Eventualposition

Kompletteinbau der erforderlichen Schwingungstilger.

1 St

LV-Position ???

*** Eventualposition

Einbauüberwachung des Schwingungstilgereinbaus durch einen Monteur des Schwingungstilgerherstellers. Der Einbau selbst wird durch das vorhandene Baustellenpersonal durchgeführt.

1 St

LV-Position ???

*** Eventualposition

Schwingungsmessung durch einen unabhängigen Sachverständigen mit entsprechender Erfahrung (mehr als 5 Jahre) auf dem Gebiet der Schwingungstechnik von Brücken nach dem Einbau der Schwingungstilger durchführen, auswerten und Bewertung der Wirksamkeit der Schwingungstilger.

1 St

7. Viskodämpfer (MHD) zur Vibrationsbedämpfung

7.1 Technische Beschreibung des MHD

Anstatt der Schwingungstilger oder auch zusätzlich können Viskodämpfer zur Bauwerksbedämpfung eingesetzt werden. Der MAURER-Hydraulikdämpfer vom Typ MHD gewährleistet eine höchsteffiziente Dämpfung bzw. Energiedissipation. Es ist lediglich darauf zu achten, dass die Viskodämpfer an den Bauwerksstellen eingesetzt werden, an denen Relativbewegungen zwischen den zu bedämpfenden Bauteilen von mindestens ± 10 mm auftreten.

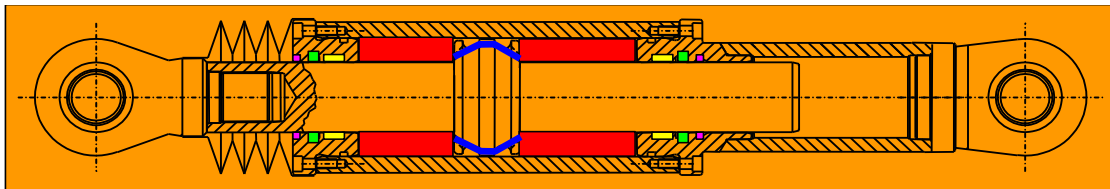


Abb. 49: Schnitt durch den MHD

MHDs sind Dämpfer (Abb. 49), welche normale Servicebewegungen aus Temperaturänderungen, Kriechen und Schwinden zulassen, wobei diese ohne signifikante Kraftantwort erfolgen. Bei auftretenden Vibrationen werden frequenzunabhängig – ab 0,7 mm/s Bewegungsgeschwindigkeit – große Energiemengen in Wärme umgewandelt und der MHD antwortet stets mit einer konstanten Antwortkraft.



Abb. 50: MHD vor dem Einbau

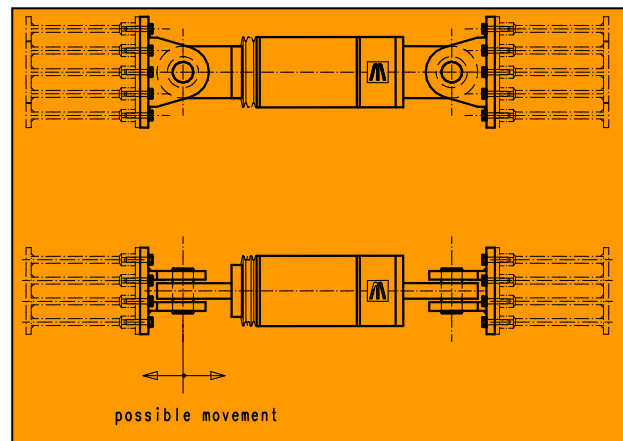


Abb. 51: MHD mit Betonzugverankerungen

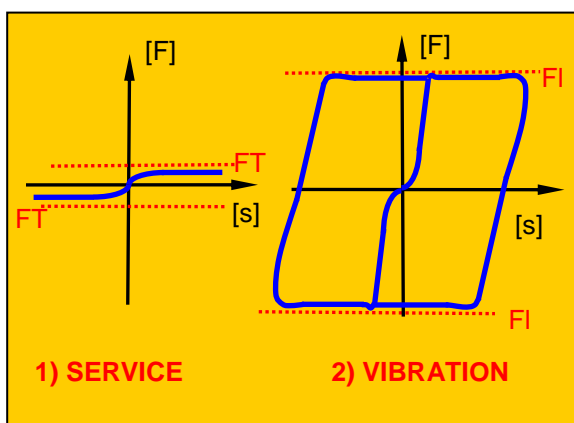


Abb. 52: Kraft [F] – Verschiebung [s] - Diagramm

Sehr langsame Bauwerksbewegungen, z.B. aus Temperaturänderungen, bewirken vernachlässigbar geringe Antwortkräfte F_T innerhalb des MHD (siehe 1 in Abb. 52 + 53). Das Fluid kann ungestört von einer Kolbenseite zur anderen strömen.

Sobald Vibrationen mit Relativverschiebungen zwischen den verbundenen Bauwerkelementen aufgrund von Fußgängern, anderen Verkehrsbelastungen, Wind oder ähnlichem auftreten, die Bewegungsgeschwindigkeiten über 0,7 mm/s induzieren, antwortet der MHD mit einer Dämpfungskraft. Die maximale Antwortkraft ist F_I (Abb. 52 + 53) und diese wird konstant beibehalten.

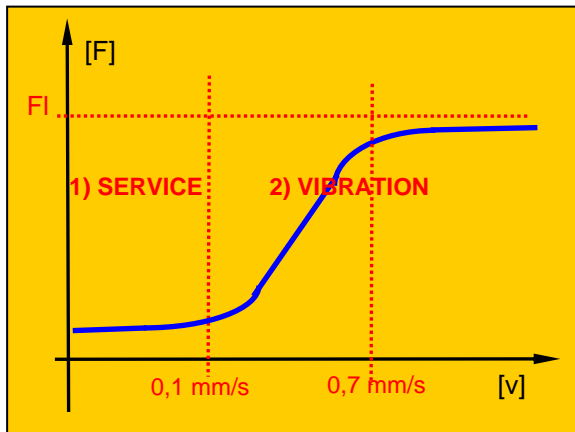


Fig. 53: Kraft [F] - Geschwindigkeit [v] – Diagramm

Während des Lastfalls VIBRATION, ermöglicht ein integrierter, "intelligenter" Kontrollmechanismus Relativbewegungen zwischen den verbundenen Bauwerkselementen, wobei die Kraftantwort stets konstant auf dem Nennniveau **FI** gehalten wird. Die Besonderheit des MHD ist es, dass **FI** immer auf einem konstanten Level gehalten wird, unabhängig von den wirkenden Bauwerksfrequenzen und dabei immer das Bauwerk bedämpft (siehe **2** in Abb. 53). Der MHD arbeitet praktisch frequenzunabhängig

Während der Dämpfungsbewegungen steuert ein spezieller Steuermechanismus das Dämpferfluid von einer Kolbenseite zur anderen, wodurch die Funktion der konstanten Antwortkraft und die größtmögliche Energiedissipation gewährleistet wird.

Einerseits kann somit der Designer sicher sein, dass ein Maximum an Vibrationsenergie dissipiert wird und andererseits, dass die maximale Antwortkraft des MHD unabhängig von der Vibrationsfrequenz bekannt ist. Zudem dämpft der MHD frequenzunabhängig, sobald Relativbewegungen mit mehr als 0,7 mm/s Bewegungsgeschwindigkeit auftreten.

Die endgültige Dämpfungskonstante und die maximale Antwortkraft des MHD können individuell an die Bauwerksanforderungen angepasst werden.

Äquivalenter Dämpfungskoeffizient ξ :

MHD: $\xi =$ bis zu 0,61

Der Dämpfungskoeffizient ξ verhält sich zum Wirkungsgrad η gemäß folgender Gleichung:

$$\xi = \frac{2}{\pi} \eta$$

Dies ergibt einen maximalen Wirkungsgrad von $\eta = 96\%$ für den MHD!

Abb. 54: Äquivalenter Dämpfungskoeffizient und Wirkungsgrad des MHD

$$F = C \times v^\alpha$$

F = MHD Antwortkraft

C = Konstante angepasst an Anforderung

v = Vibrationsgeschwindigkeit

α = Dämpfungsexponent $< 0,015 - 0,4$

=> wegen des möglichen α – Werts von 0,015 ist die Antwortkraft des MHD immer gleich groß, unabhängig von den wirkenden Bewegungsgeschwindigkeiten bzw. –frequenzen, nachdem der Term " v^α " gegen "1" strebt.

Abb. 55: MHD-Antwortkraftgleichung

Charakteristika des MHD:

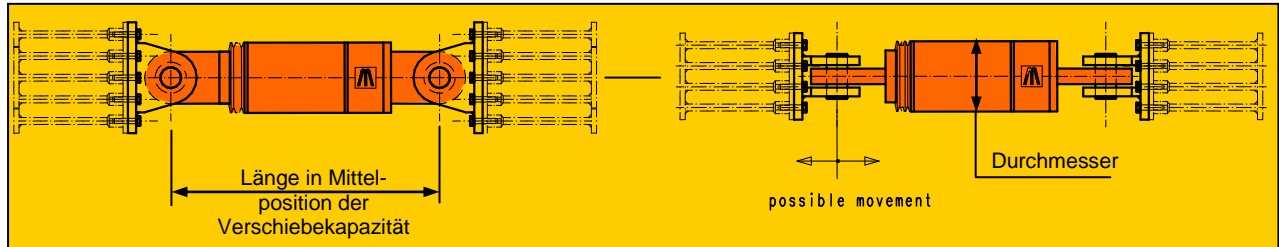
- Während des Ruhezustandes ist der MHD nicht vorgespannt und steht unter keinerlei signifikantem Druck.
- Die maximale Antwortkraft ist genau auf ein gewünschtes Maß definiert bzw. limitiert. Es kann zu keinen Bauwerksschäden aus erhöhten Dämpfungskräften kommen, auch wenn die Vibrationen stärker als erwartet eingetreten sind. Der Designer kann sehr leicht mit dieser genau definierten Antwortkraft sein Bauwerk berechnen – unabhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit bzw. Frequenz – und sich sicher sein, dass er ein Höchstmaß an Energie dissipiert. Die konstante Antwortkraft resultiert aus dem extrem niedrigen Wert für den Dämpfungsexponenten $\alpha < 0,02$ bis $0,1$ je nach Wahl (Abb. 55).
- Sehr hoher Wirkungsgrad von bis zu $\eta = 96\%$ (Abb. 54), was mit einem maximalen äquivalenten Dämpfungskoeffizienten von $0,61$ korrespondiert.
- Die Antwortkraft für Bewegungsgeschwindigkeiten unter $0,01$ mm/s ist weit geringer als 2-7% der maximalen Antwortkraft. Der genaue Wert hängt vom Dämpferdesign (Dichtung, Fluidkammern, Blenden, etc.) ab.
- Der mögliche Geschwindigkeitsbereich für den MHD ist $0,01$ mm/s bis zu 1500 mm/s oder mehr je nach Anforderung.
- Die maximale Antwortkraft wird innerhalb einiger zehntel Sekunden, ohne Verzögerung – aufgebaut, damit Bauwerksbewegungen und – Vibrationen sofort von Beginn an höchst effizient abgedämpft werden.
- Ein automatischer, integrierter Volumenakkumulator gleicht Volumenänderungen aus Temperaturschwankungen aus, um einen temperaturbedingten Druckabfall oder Anstieg im MHD zu vermeiden. Je nach Anforderung liegt der Akkumulator innen oder außen.
- Es sind keine Wartungsarbeiten notwendig. Es wird empfohlen im Zuge der normalen Brückeninspektionen eine Sichtinspektion des MHD durchzuführen. Abhängig von den aufkumulierten Bewegungen und Bewegungsgeschwindigkeiten beträgt die Betriebszeit bis zu 40 Jahre ohne jegliche Wartung.
- Der MHD ist absolut dicht und hat keine Leckage, da ein spezielles, hochfestes und verschleißsicheres Hydraulikdichtungssystem eingesetzt wird – wie dies auch für Caterpillars, für die Automobilindustrie oder ähnliche Maschinen angewendet wird. Je nach Anforderung werden entsprechende Tests durchgeführt. Der MHD hat ein 3-stufiges Dichtungssystem, welches aus einer Gleitführung (führt die Kolbenstange und trägt das Kolbengewicht => gelb in Abb. 49), einer Dichtung (dichtet die Kolbenstange effektiv ab => grün in Abb. 49) und einer Abstreifdichtung (schützt die Dichtung vor feinen Schmutzpartikeln => pink in Abb. 49).
- Der MHD besitzt eine sehr geringe Elastizität von 3-5%, je nach Anforderung. Beispielsweise wird die volle Dämpfungskraft bei 50 mm Bewegungskapazität des MHD in eine Richtung bereits nach $1-1,5$ mm bei 1-3% Fluidelastizität aufgebaut. Das verwendete Fluid ist ein spezielles synthetisches Öl, das ungiftig, nicht entflammbar und alterungsbeständig ist.
- Der Bereich der Betriebstemperaturen liegt zwischen -40°C bis $+70^{\circ}\text{C}$.
- Die Einbaumaße sind klein und die Installation ist einfach.
- In Abhängigkeit von den Anforderungen befinden sich an beiden Dämpferenden verschleißsichere Kugelgelenkaugen, um Einbautoleranzen und Bauwerksquerbewegungen aufzunehmen.

Größen des MHD für die Projektierungsphase (Skizze nicht maßstäblich)

In Abhängigkeit von der Bauwerkstruktur wird der MHD entsprechend angepasst. **Die nachfolgenden Dimensionen dienen als erste Anhaltspunkte und können sich je nach Anforderung noch ändern.**

Queransicht:

Draufsicht:



Kraft- antwort [kN]	maximale Totalbewegung [mm]									
	100		250		500		750		1000	
	D [mm]	L [mm]	D [mm]	L [mm]	D [mm]	L [mm]	D [mm]	L [mm]	D [mm]	L [mm]
250	171	815	171	1175	171	1800	171	2425	203	3100
500	203	960	203	1265	203	1890	203	2515	229	3190
700	229	1145	229	1400	229	2025	229	2650	267	3325
1000	267	1210	267	1450	267	2075	267	2700	318	3375
1500	318	1375	318	1600	318	2195	318	2820	368	3495
2000	368	1515	368	1740	368	2280	368	2905	394	3580
2500	394	1635	394	1860	394	2370	394	2995	445	3670
3000	445	1780	445	2005	445	2450	445	3075	508	3750
4000	508	2090	508	2315	508	2690	508	3305	559	3980
5000	559	2270	559	2495	559	2870	559	3420	610	4095
6000	610	2485	610	2710	610	3085	610	3570	680	4245

Abb. 56: Prinzipskizze und vorläufige Abmaße für MHD

Die Dämpferdurchmesser sind abhängig von den nominellen Betriebsdrücken in dem MHD, die in Abhängigkeit von der Lebensdauer- und den Reibanforderungen des Dichtungssystems zwischen 125 bar und 650bar festgelegt werden.

Je nach Anforderung sind auch Zwischengrößen, größere oder kleinere Kraftantworten bis zu 10.000kN, sowie Verschiebungen von +/-2500mm möglich.

Die Verbindungs- und Verankerungselemente des MHD zum Bauwerk (Stahl oder Beton) werden individuell angepasst.

7.2 Fuß- und Radwegbrücke Traunsteg in Wels - Österreich

MHD:

- a) max. Antwortkraft: 250 kN
- b) Dämpfungskonstante: 2000 kNs/m
- c) Frequenzbereich: über 0,3 Hz

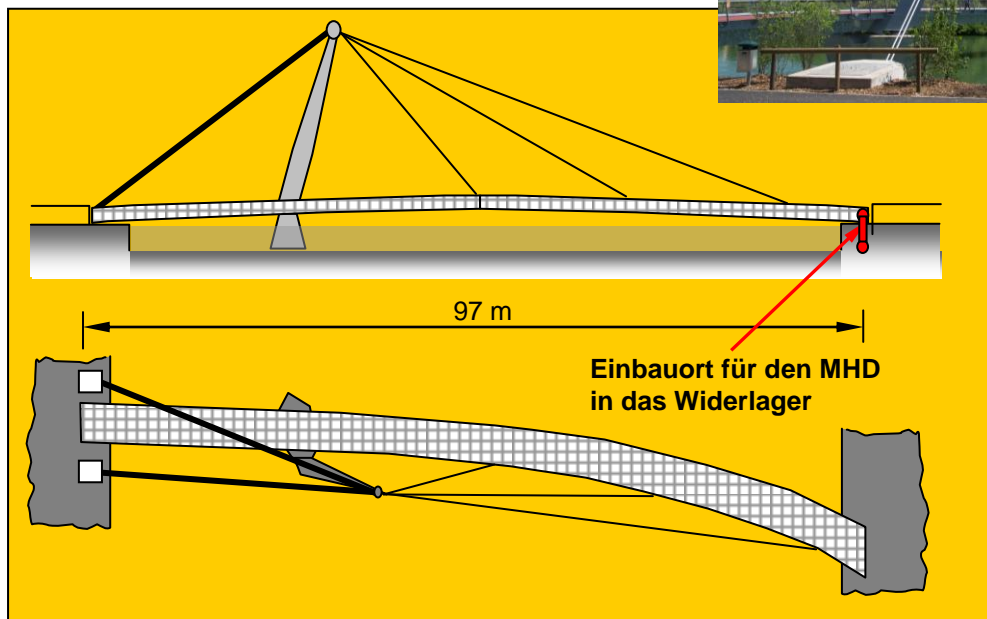


Abb. 57: Quer- und Draufsicht auf den Traunsteg-Wels

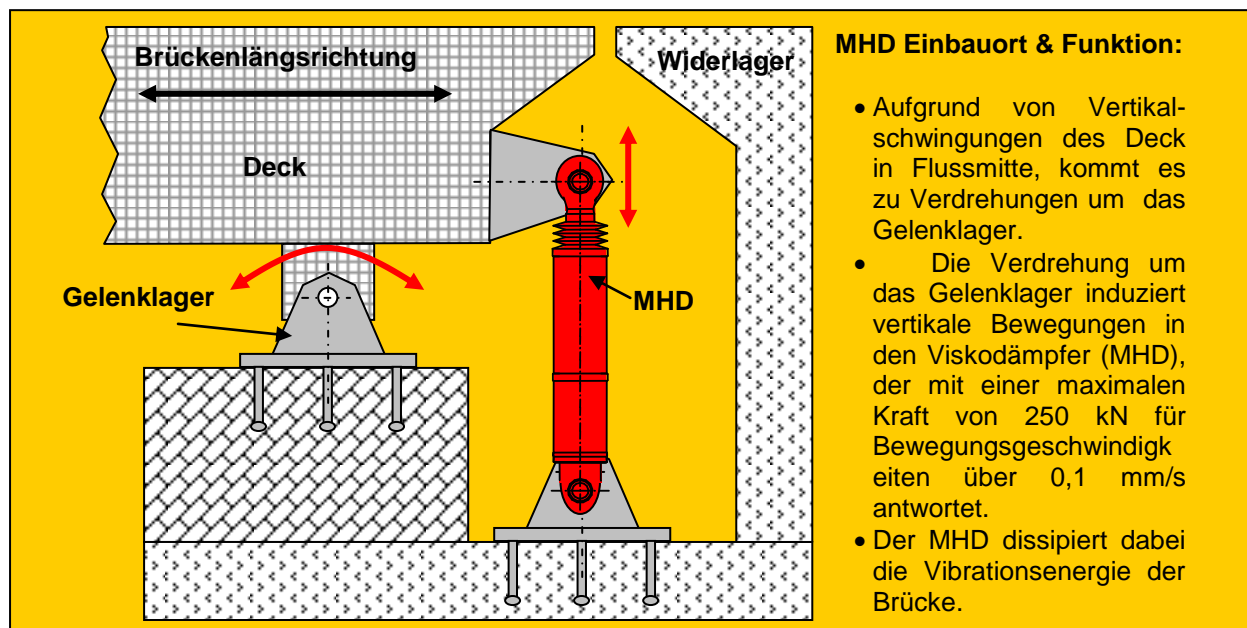


Abb. 58: Vertikale Anordnung des MHD innerhalb des Widerlagerbereichs

7.3 City Metro Brücke in Adana - Türkei

MHD:

- a) max. Antwortkraft: 700 kN
- b) Dämpfungskonstante: 3000 kNs/m
- c) Frequenzbereich: über 0,7 Hz

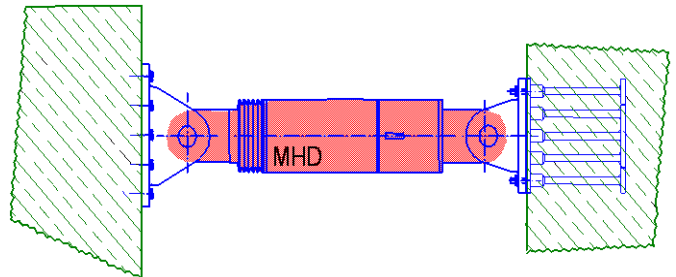


Abb. 59: Horizontale Anordnung des MHD am Widerlager

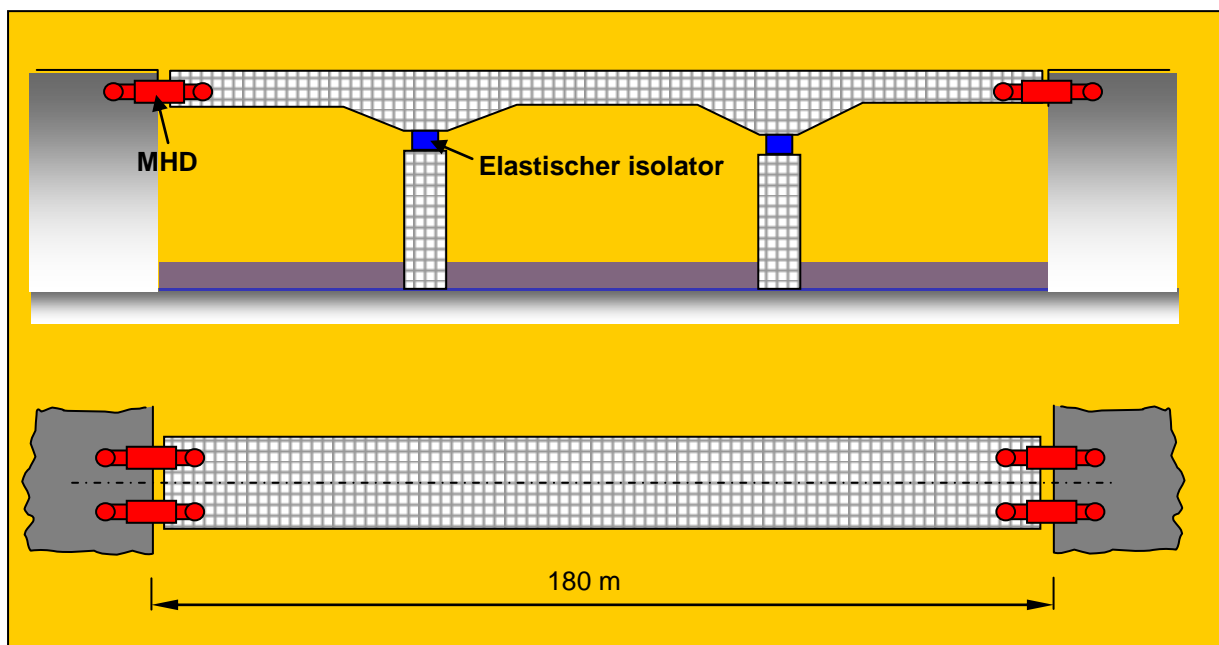


Abb. 60: Quer- und Draufsicht auf die City Metro Brücke Adana

8. Vorschlag für einen Ausschreibungstext eines Viskodämpfers

- LV-Position ??? Viskodämpfer Typ MAURER-MHD (oder gleichwertig) nach statisch-konstruktiven Erfordernissen auslegen, zeichnen, herstellen und liefern.
Der Hersteller muss über mindestens fünf Jahre Erfahrung im Viskodämpferbau verfügen und dies mit Referenzen nachweisen.
- Auslegungs- und Designkriterien:
- Maximal zulässige und notwendige Antwortkraft: ?? kN
 - Dämpfungsexponent α : unter 0,05, d.h. Antwortkräfte unabhängig von den auftretenden Frequenzen und Bewegungsamplituden
 - Zu bedämpfende Eigenfrequenz der Brücke unter Eigengewicht: ?? Hz.
 - Vibrationsamplituden des Bauwerks am Befestigungspunkt des Dämpfers für die entsprechenden Eigenfrequenzen: ??, ??, ??, ?? mm (+/-)
 - Notwendiger maximaler Energieumsatz des Viskodämpfers pro Stunde: ?? kW/h
 - Dauer des maximalen Energieumsatzes: ?? Sekunden
 - Fluidvolumenakkumulator muss in den Dämpfer integriert sein
 - Aufkumulierter Dämpfweg über die angestrebte Lebensdauer: ?? meter
 - Maximal zulässige minimale Antwortkraft des Dämpfers für Bewegungsgeschwindigkeiten unter 0,1 mm/s: unter 10% der Designantwortkraft
 - Steifigkeit des Dämpferfluides unter Last: max. 4% des Hub
 - Dämpfer muss ohne signifikanten Kraftaufwand längenjustier sein
 - Max. vorhandener Raum pro Dämpfer mit den Lagerböcken an beiden Dämpferenden: ?? x ?? x ?? mm
 - Beide Dämpferenden besitzen Kugelgelenkaugen mit Gleitpartnern
 - Befestigungs- und Verankerungsvorgabe: siehe beiliegende Skizze ??
 - Die Kolbenstange soll aus Baustahl (gute Duktilität und gutes Ermüdungsverhalten) mit Chrombeschichtung ausgeführt sein.
 - Korrosionsschutz: 100µm Zinkspray, 100µm Eisenglimmer, 40µm Deckanstrich.
- Für einen Viskodämpfer einer Bauart ist vom Hersteller ein Funktionstest, welcher die nachfolgenden Werte innerhalb bestimmter Toleranzbereiche aufzeigt und entsprechend dokumentiert, durchzuführen
=> diese Tests sind mit dem Auftraggeber und einem unabhängigen Prüflabor im Detail abzustimmen:
- Antwortkräfte bei den auftretenden unterschiedlichen Bauwerksfrequenzen (Toleranzbereich +/-10% von der Sollvorgabe für die Designkraft unabhängig von der Frequenz bzw. Geschwindigkeit),
 - kleinste Antwortkraft für Bewegungsgeschwindigkeiten unter 0,1 mm/s (maximal +20%),
 - Energieumsatz des Dämpfers (Toleranzbereich +/- 15%),
 - Steifigkeit des Dämpferfluides unter Last (Toleranzbereich +/- 15%),
 - Dichtigkeitstest mit 125% des Nenndrucks für 120s ohne Undichtigkeiten
- Der Funktionstest ist von einem unabhängigen offiziellen Sachverständigen (von dem Auftraggeber anerkannt) mit entsprechender Erfahrung (mehr als 5 Jahre) auf dem Gebiet der Hydraulik zu überwachen und die Einhaltung der Toleranzgrenzen ist von diesem entsprechend zu bestätigen.
Der Viskodämpfer ist für eine Servicelebensdauer von ?? Jahren zu bemessen und auszubilden.
Auf die einwandfreie Funktion der Viskodämpfer ist 10 Jahre Gewährleistung gefordert.
- ?? St**
- LV-Position ??? *** Eventualposition
Schwingungsmessung durch einen unabhängigen Sachverständigen mit entsprechender Erfahrung (mehr als 5 Jahre) auf dem Gebiet der Schwingungstechnik von Brücken nach der Fertigstellung der Brücke (ohne Schwingungsdämpfer) durchführen, auswerten und Abgabe von Empfehlungen für zu bedämpfende Eigenformen. Basierend auf diesen Messergebnissen und den Entscheidungen des Bauherrn bzw. des Designers hat der Hersteller die Viskodämpfer zu bemessen und herzustellen.
- 1 St**
- LV-Position ??? *** Eventualposition
Kompletteinbau der erforderlichen Viskodämpfer.
- 1 St**
- oder**
- LV-Position ??? *** Eventualposition
Einbauüberwachung des Dämpfereinbaus durch einen Monteur des Herstellers. Der Einbau selbst wird durch das vorhandene Baustellenpersonal durchgeführt.
- 1 St**
- LV-Position ??? *** Eventualposition
Schwingungsmessung durch einen unabhängigen Sachverständigen mit entsprechender Erfahrung (mehr als 5 Jahre) auf dem Gebiet der Schwingungstechnik von Brücken nach dem Einbau der Viskodämpfer durchführen, auswerten und Bewertung der Wirksamkeit der Viskodämpfer.
- 1 St**

9. Einmessen und Testen der Funktionscharakteristika

Jeder MAURER-Schwingungstilger wird vor dem Verlassen der Werkstatt eingehend getestet, d.h. die einwandfreie Funktion wird überprüft und dokumentiert.

- Es wird zuerst die Leichtgängigkeit aller Komponenten überprüft (Abb. 61+62), d.h. der Schwingungstilger muss ohne signifikante innere Eigenreibung anspringen.
- Die spezifizierte Federfrequenz wird mittels spezieller Meßsensorik und –elektronik gemessen (Abb. 62), gegebenenfalls nachjustiert und protokolliert.

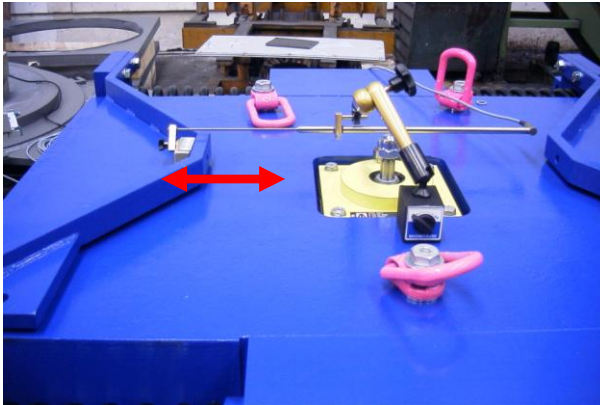


Abb. 61: Messung und gegebenenfalls Feinabstimmung der Schwingfrequenz



Abb. 62: Abnahme der Messwerte mit entsprechender Meßsensorik und gleichzeitiges Protokollieren der Ergebnisse

- Mit entsprechenden Prüfmaschinen wird das Dämpfungselement für die Tilger getestet (Abb. 63).

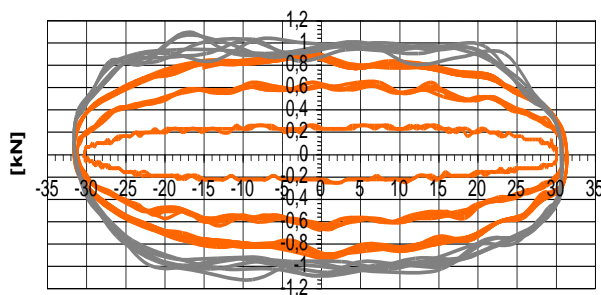


Abb. 63: Hystereseschleifen für ein adaptives Dämpfungselement

- Die Viskodämpfer (MHD) werden ebenso individuell getestet (Abb. 64).



Abb. 64: Test eines Viskodämpfers