

Schwingungsisolierung von Maschinen- fundamenten

Aktiv- und
Passiv-
isolierungen



Schwingungsisolierung von Maschinenfundamenten

Unerwünschte Schwingungen und Stoßeinwirkungen treten bei fast allen technischen Geräten auf – elastische Lagerungen mit den bekannten Werkstoffen **Regupol®** und **Regufoam®** verhindern zuverlässig die Ausbreitung von Schwingungskräften.

Bereits seit über 20 Jahren produziert, dimensioniert und liefert BSW Material zur Schwingungsisolierung von Maschinenfundamenten.

Der Werkstoff **Regupol®** setzt sich zusammen aus Gummifasern, Gummigranulaten (SBR, NBR) und Polyurethanen, **Regufoam®** ist ein gemischzelliger Polyurethanschaum.

Die wohl wichtigste Maßnahme zur Reduzierung der Schwingungseintragung von Maschinen in die Gebäudestruktur bzw. Umgebung ist die elastische Entkopplung der Maschinenfundamente.

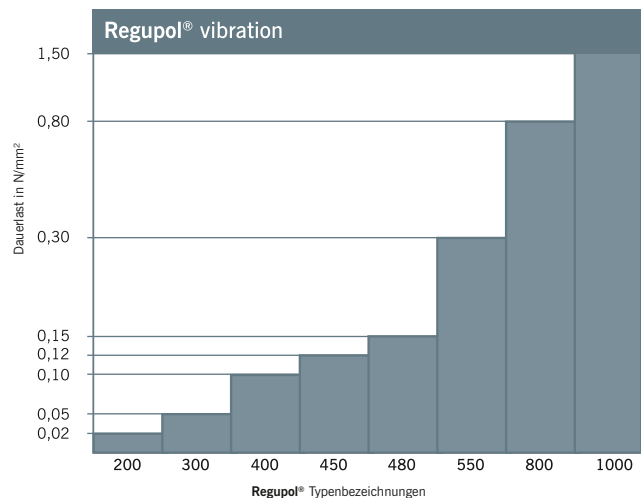
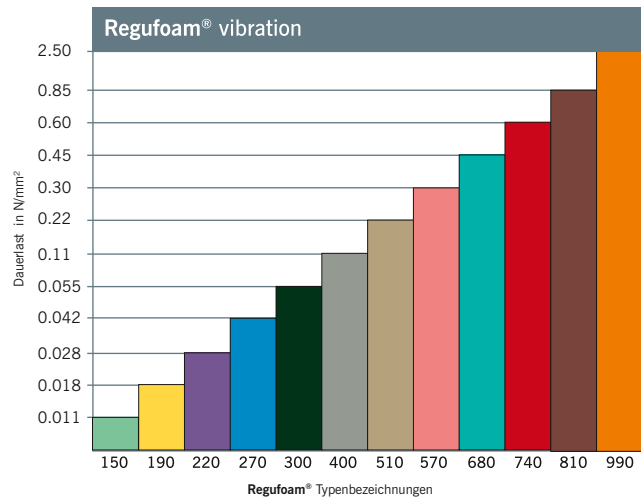
Man unterscheidet dabei zwischen einer „aktiven“ und einer „passiven“ Isolierung. Bei einer Aktivisolierung wird die Abstrahlung von Schwingungen reduziert, bei einer Passivisolierung werden sensible Geräte vor in der Umgebung auftretenden Schwingungen geschützt.

Grundsätzlich ist eine Aktivisolierung der Quelle zu bevorzugen, da durch diese Maßnahme größere Einwirkbereiche und somit mehrere Objekte geschützt werden können.

Regupol® und **Regufoam®** sind in acht bzw. zwölf Lastbereiche abgestuft, womit sich ein breites Spektrum an schwingungstechnischen Anwendungen abdecken lässt. Die Steifigkeiten der Materialien sind so gewählt, dass das Setzungsverhalten bei annähernd allen Typen gleich verläuft.

Damit stehen den Fachplanern für schwingungstechnische Fragestellungen zwei Produktgruppen zur Verfügung, mit denen sie eine wirtschaftlich und technisch optimale Lösung erarbeiten können.

Die Lastbereiche:



Ausführliche technische Daten inkl. Lieferformate, statische und dynamische Kennwerte, Langzeitverhalten und weitere Materialwerte finden Sie im technischen Katalog **Schwingungstechnik**, oder auf www.bsw-schwingungstechnik.de

Der Ein-Massen-Schwinger

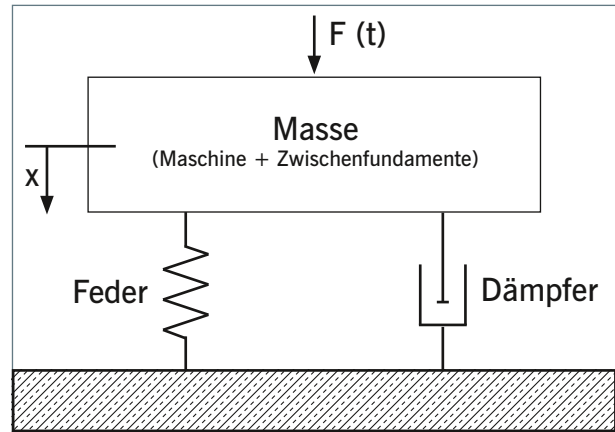
Der einfachste Fall zur Beschreibung eines schwingungsfähigen Systems ist der Ein-Massen-Schwinger. Eine träge Masse befindet sich auf einem starren Untergrund, getrennt durch ein elastisches Element.

Die Maschine (= Masse) ist durch eine Feder und einen Dämpfer von der Umgebung entkoppelt. Es wird nur ein Freiheitsgrad angesetzt und in der Regel nur die Vertikalbewegung betrachtet.

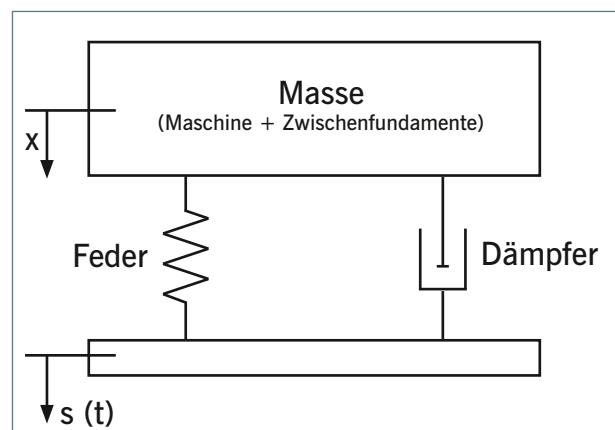
Die Spezial-Elastomere **Regupol®** und **Regufoam®** dienen dabei gleichzeitig als Feder und Dämpfer.

Das Modell eignet sich gut für die Klärung prinzipieller Fragen der Schwingungsisolierung und hilft bei der Auswahl geeigneter Elastomere.

Das Modell kann sowohl für Aktiv- als auch für Passivisolierungen angewendet werden. Man unterscheidet dabei zwischen der zeitabhängigen Kraft- und der Wegerregung (Stützerregung) des Schwingers.



Krafterregung für die Schwingungsisolierung von Maschinen – Aktivisolierung.



Weg- bzw. Stützerregung für die Schwingungsisolierung von Geräten – Passivisolierung.

Bewegungsgleichung des krafterregten Schwingers

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F(t)$$

Bewegungsgleichung des stützerregten Schwingers

$$m\ddot{x} + b(\dot{x} - \dot{s}) + c(x - s) = 0$$

$F(t)$ ist die zeitabhängige Krafterregung, $s(t)$ die zeitabhängige Wegerregung/Stützerregung. Die Koordinate x beschreibt die Bewegung des Schwingers, dessen Parameter Masse, Dämpfung und Steife sind mit m , b und c bezeichnet.

Die Eigenfrequenz

Wird ein schwingfähiges System zu Schwingungen angeregt und anschließend sich selbst überlassen, dann schwingt es in der so genannten Eigenfrequenz aus.

Bei Maschinenfundamentisierungen lassen sich, durch Variation von Steifigkeits- und Trägheitseigenschaften, die Eigenfrequenzen dieses Systems gezielt beeinflussen.

Die Eigenfrequenz errechnet sich aus:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{s}{m}}$$

s – dynamische Steifigkeit; m – schwingende Masse

Die Trägheitseigenschaften hängen von der Geometrie und den Massenverhältnissen der Maschine und des Zwischenfundamentes ab.

Die Steifigkeitseigenschaften lassen sich gezielt mittels der **Regupol®**- und **Regufoam®**-Elastomere einstellen. Um in einem Lastbereich tiefere Lagerungsfrequenzen zu erzielen, muss die Elastomerdicke erhöht werden.

Fest steht, dass die Eigenfrequenzverläufe von unterschiedlichen **Regupol®**- und **Regufoam®**-Typen im jeweiligen Lastbereich ähnlich verlaufen. Das hat v. a. folgende Gründe:

Zur Erzielung von Tragfähigkeiten werden Mindeststeifigkeiten des Elastomers benötigt. Unter Berücksichtigung der höheren Masse und der damit benötigten Tragfähigkeit (und der daraus resultierenden höheren Steifigkeit) wird aus der obigen Formel ersichtlich, dass wieder ähnliche Lagerungsfrequenzen erzielt werden können.

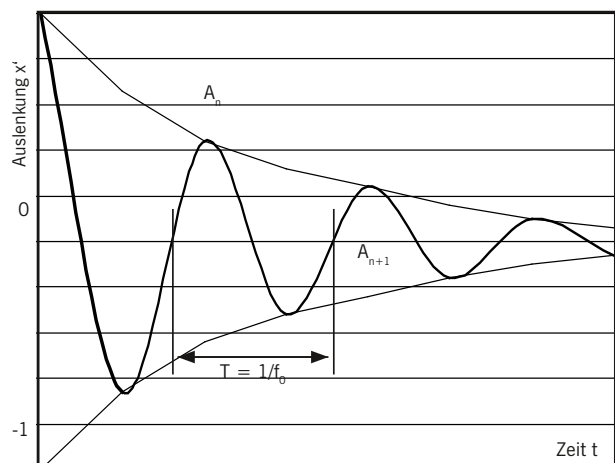
Tiefere Lagerungsfrequenzen lassen sich somit durch eine Erhöhung der dynamisch wirksamen Masse und durch die Reduzierung der Steifigkeit des Elastomers erzielen.

Die Dämpfung im Elastomer

Von Dämpfung spricht man, wenn einem Schall Energie entzogen wird. Das geschieht meist über Dissipation indem die Schallenergie durch Reibung in Wärme umgesetzt wird.

Bei Elastomeren wird die mechanische Dämpfung (Verlustfaktor) betrachtet. Der Verlustfaktor ist ein Maß dafür, wie schnell die Amplituden bei freien Schwingungen abklingen.

Je höher die Dämpfung ist, desto geringer fällt auch die Überhöhung im Resonanzbereich aus. Gleichzeitig führt eine sehr hohe Dämpfung im Material zu schlechteren Isolierwirkungen, bezogen auf Störfrequenzen im Abstand $>\sqrt{2}$ zur Lagerungsfrequenz.



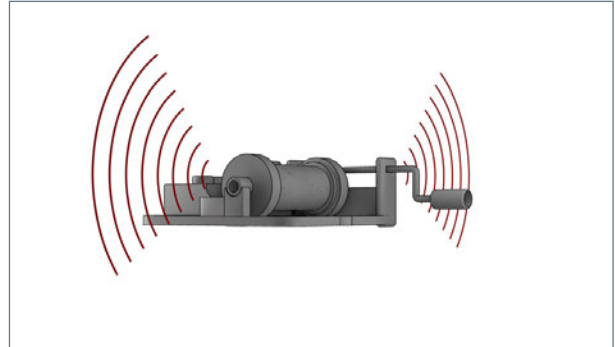
Das Diagramm zeigt die Abnahme einer Schwingungsamplitude, die durch mechanische Dämpfung hervorgerufen wird. Sie definiert sich durch den mechanischen Verlustfaktor η . Die Periodendauer T bleibt dabei unverändert.

Luftschalldämmung/Körperschalldämmung

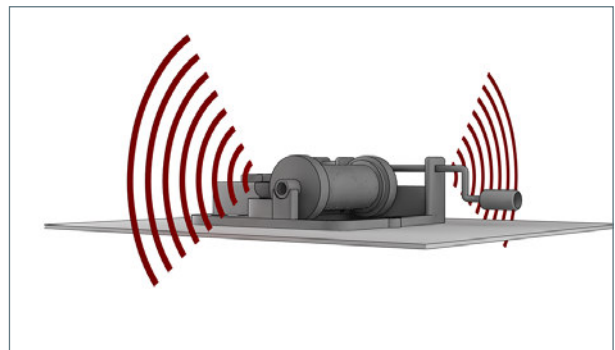
Bei Maschinen ist eine Betrachtung der Luftschalldämmung häufig nicht ausreichend. Das verdeutlicht auch das folgende Beispiel:

Die Spieluhr auf dem Bild oben stellt unsere Maschine dar. Durch Aufziehen des Uhrwerkes beginnt sich die Walze zu drehen und die 18 Zungen erzeugen eine leise Melodie.

Aufgrund der kleinen geometrischen Abmessung werden die Schwingungen nur zu einem kleinen Teil in Luftschall umgewandelt.

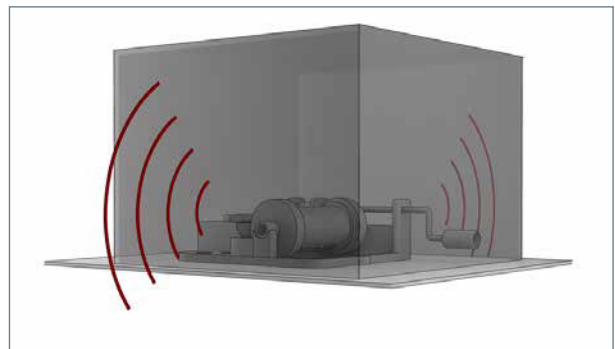


Die Melodie wird erst lauter, wenn sich die Abstrahlfläche vergrößert. Das geschieht, sobald man die Spieluhr auf eine Tischplatte stellt. Die Schwingungen aus der Spieluhr wandern in die Tischplatte. Diesen Anteil nennt man Körperschall.



Stellen Sie sich vor, diese Maschine steht in Ihrem Betrieb und verursacht unzulässigen Lärm. Oftmals wird als erste Maßnahme eine Schallschutzhaube vorgeschlagen, dies führt jedoch meist zu keinerlei Wirkung.

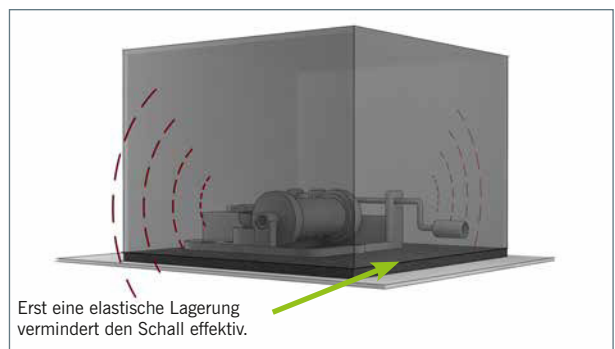
Schuld daran ist der große Unterschied zwischen dem leisen „Luftschall“ und dem lauten „Körperschall“. Daher ist es notwendig, primär Maßnahmen zu treffen, die den lauten Körperschall vermindern.



Eine elastische Lagerung mit **Regupol®** und **Regufoam®**, abgestimmt auf die jeweilige Maschine, vermindert die Einleitung des Körperschalls.

Wird nun zusätzlich eine Schallschutzhaube berührungsfrei über der Maschine angebracht, ist das Lärmproblem behoben.

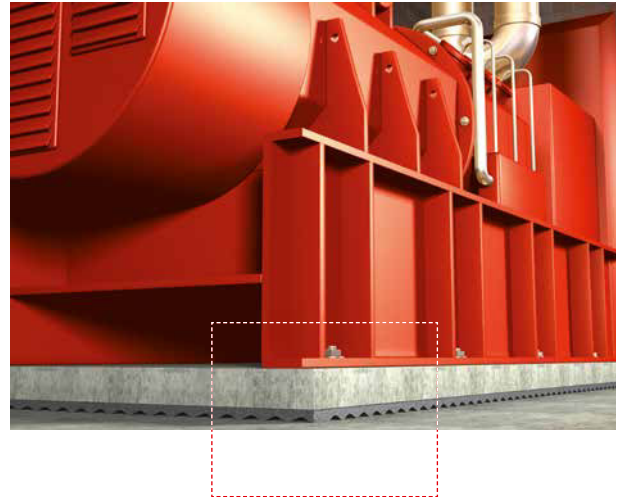
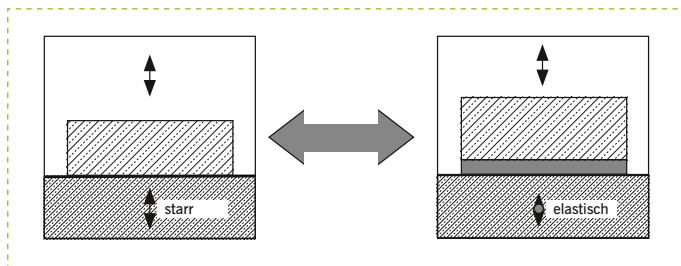
Falls Sie noch weitere Fragen zu diesem Thema haben oder Kontakt zu einem Fachplaner wünschen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.



Einfügedämmung/Isolierwirkungsgrad

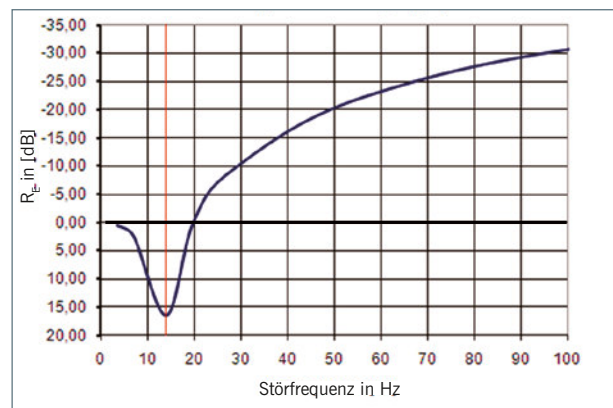
Der Erfolg einer elastischen Maßnahme lässt sich mit der Einfügedämmung oder dem Isolierwirkungsgrad beschreiben.

Die Einfügedämmung beschreibt die Differenz der Kräfteinleitung in die Umgebung bei „starrer“ und bei „elastischer“ Aufstellung.



Die Isolierwirkung ist abhängig vom Frequenzverhältnis der Lagerungsfrequenz ω_0 und der Störfrequenz ω . Die Lagerungsfrequenz sollte unterhalb der niedrigsten Störfrequenz liegen (tiefe Abstimmung). Je weicher das Elastomer und somit je tiefer die Lagerungsfrequenz gewählt wird, desto besser ist die Isolierwirkung.

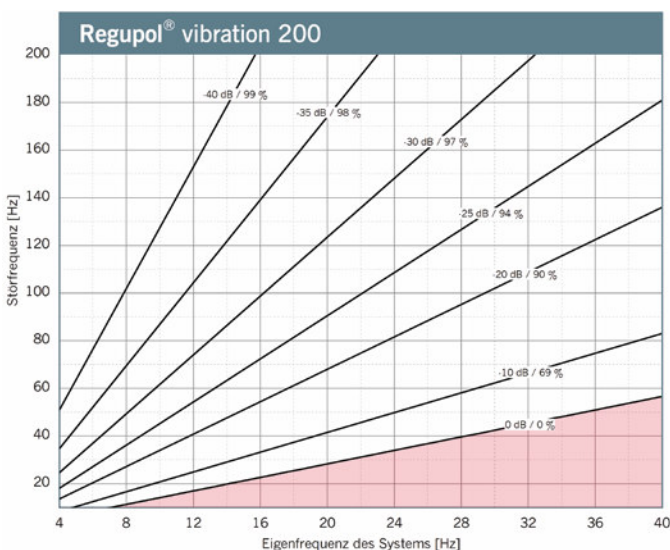
Das unten abgebildete Diagramm stellt den Isolierwirkungsgrad und die Einfügedämmung für **Regupol® vibration 200** dar. Die gesamte Dokumentation der Materialkennwerte finden Sie in unserem technischen Katalog zur Schwingungsisolierung.



Beispielhaft gerechnete Einfügedämmung von $f_0 = 14$ Hz für einen Ein-Massen-Schwinger auf starrem Untergrund.

Zusätzlich ist die Isolierwirkung von der mechanischen Dämpfung (Verlustfaktor) des Elastomers abhängig. Es ist daher zwingend erforderlich, dass genaue Materialkennwerte für die schwingungstechnische Bemessung vorhanden sind.

Die Materialkennwerte für **Regupol®** und **Regufoam®** wurden unter anderem an der Technischen Universität Dresden ermittelt und unterliegen einer ständigen Qualitätskontrolle.



Dargestellt ist die Isolierwirkung für einen Ein-Massen-Schwinger auf starrem Untergrund mit **Regupol® vibration 200**.
Parameter: Kraftübertragungsmaß in dB, Isolierwirkungsgrad in %

Dimensionierung einer Maschinenfundamentisolierung

Die Dimensionierung von schwingungsisolierenden Maßnahmen ist Aufgabe des Fachplaners. Nur dieser kann die komplexe, baudynamische Gesamtsituation beurteilen. Bei der Planung von elastischen Maschinenfundamentisolierungen gilt besondere Aufmerksamkeit der Vermeidung von Bauteilresonanzen. Auch der Aufstellort sollte hier explizite Berücksichtigung finden.

Die vereinfachte Betrachtung als Ein-Massen-Schwinger geht von einer ideal starren Auflagerung des Elastomers aus. Bei Erregermassen, die im Verhältnis zur Fundamentmasse nicht sehr klein sind, ist es unter Umständen notwendig, die Fundamentimpedanz zu berücksichtigen.

Damit eine Isolierung wirksam ist, müssen die folgenden, wichtigen Planungsparameter berücksichtigt werden:

1. Bei Maschinen mit harmonischer Anregung, wie zum Beispiel haustechnische Anlagen, ergibt sich die Isolierwirkung aus dem Abstand von Störfrequenz ω zur Eigenfrequenz der elastischen Lagerung (Lagerungsfrequenz) ω_0 .
2. Die Höhe des Isolierwirkungsgrades ist vom Dämpfungsverhalten des Elastomers abhängig.
3. Polyurethan-Schäume und Composite-Produkte aus Gummifasern, Gummigranulaten (SBR, NBR) und Polyurethanen haben ein ausgeprägtes nicht lineares Materialverhalten, so dass genaue Prüfungen der Materialien notwendig sind.

Üblicherweise wird versucht, Maschinen überkritisch zu lagern. Das bedeutet, dass die Lagerungsfrequenz ω_0 kleiner ist als die Störfrequenz ω . Damit physikalisch eine Dämmwirkung erzielt werden kann, muss der Abstand zwingend $\sqrt{2}$ betragen. Faktisch sollte das Abstimmungsverhältnis bei mindestens 2 bis 3 liegen. Je höher das Abstimmungsverhältnis gewählt wird, desto höher liegt die zu erzielende Isolierwirkung.



Idealtypisch erfolgt die Planung von Maßnahmen zur Schwingungsisolierung von Maschinen mit **Regupol®** oder **Regufoam®** nach folgendem Schema:

1. Berechnung der charakteristischen Pressung (ohne Teilsicherheitsbeiwerte) unter dem Maschinenfundament aus dem Eigengewicht des Fundamentblockes und dem Eigengewicht der Maschine.
2. Auswahl des geeigneten **Regupol®**- oder **Regufoam®**-Typen, unter Beachtung der maximalen statischen Dauerlast.
3. Betrachtung der maßgebenden Störfrequenzen der Maschine (bei Aktivisolierung), oder Betrachtung der maßgebenden Störfrequenzen der Umgebung (bei Passivisolierung).
4. Wahl der Lagerungsfrequenz unter Berücksichtigung der erzielbaren Einfügedämmung/Isolierwirkung und Abstand zur Störfrequenz. Zwingende Anforderung: Abstand Eigenfrequenz zur Störfrequenz $> \sqrt{2}$.
5. Ausführung der schwimmenden Maschinenfundamentlagerung unter Berücksichtigung der Punkte 1–4.

Vermittlung und Koordination von
Fachplanern zur Gebäudeakustik.

Auf Seite 79 erfahren Sie mehr.

BSW
Fachplaner
Service

Maschinenfundamentisolierung mit Regupol® vibration

Schritt 1:

Auslegung der **Regupol®**-Schwingungsdämmung



Schritt 2:

Exakter Zuschnitt auf Fundamentmaße



Schritt 3:

Einschalung des Maschinenfundamentes



Schritt 4:

Auslegen einer mindestens 0,2 mm dicken PE-Folie



Schritt 5:

Auffüllen mit Beton

**Schritt 6:**

Einlegen der Fundamentbewehrung

**Schritt 7:**

Restliches Auffüllen mit Beton und abschließendes Glätten

**Schritt 8:**

Aushärten lassen, anschließend die Einschalung entfernen



Ihr Kontakt zur BSW GmbH

BSW
Berleburger Schaumstoffwerk GmbH
Am Hilgenacker 24
57319 Bad Berleburg

Tel. +49 2751 803-0
info@berleburger.de
www.berleburger.com

www.bsw-schwingungstechnik.de



Franner HandelsgesmbH
Römergasse 76, 1170 Wien, Austria
Tel.: +43 1 486 16 47-0, Fax: DW 4
info@franner.at www.franner.at



Die in den Unterlagen enthaltenen technischen Informationen sind als Richtwerte zu verstehen. Sie unterliegen produktionstechnischen Toleranzen, die je nach Art der zugrundeliegenden Eigenschaften unterschiedlich hoch sein können. Maßgeblich für die Aktualität des Inhalts sind die Informationen auf unseren Internetseiten. Für Druck- und Rechtschreibfehler übernehmen wir keine Haftung.

