

素材の特性および防振 技術情報

by getzner
sylomer[®]

Sylomer[®](シロマー)

Sylomer[®]はゲッツナー社製ポリウレタン防振材で、多孔性かつコンパクトな形状を特徴としており、建築、産業機械分野の幅広い用途に対応しています。基本用途として、圧縮負荷型の弾性支持要素としてSylomer[®]を使用して頂いております。弾性支持の性能は、Sylomer[®]のタイプ、弾性支持をする面積、厚さを選定することにより、負荷条件に合わせた防振効果を最適化することが可能です。

Sylomer[®]は各種ロール材としてご用意しており、各種所望の形状に切り出すことができます。さらに、Sylomer[®]を組み込んだ産業機械用途向けの部品も取り揃えております。

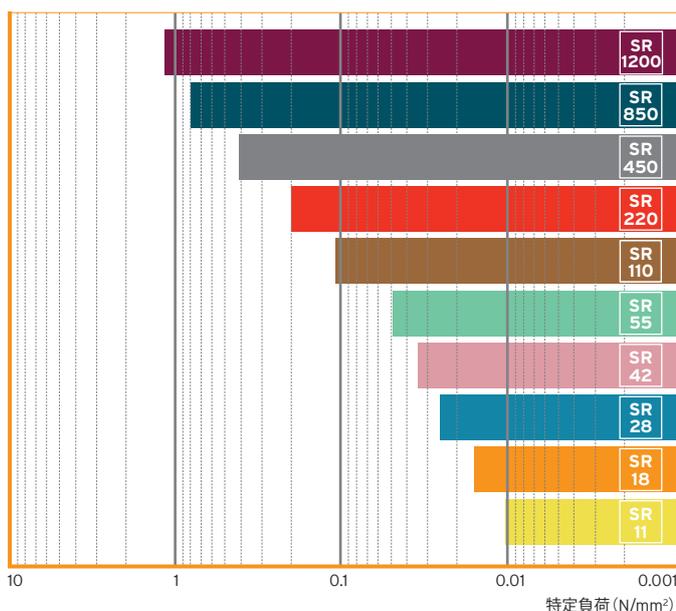


図1: Sylomer[®]製品シリーズ

特定の用途に対して、所望の剛性値をもった材料を製造することも可能です。素材のもつ精細な多孔性構造は、静的負荷および動的負荷で求められる体積変形を実現します。その結果、均等に負荷を伝播する弾性支持が可能となります。これにより、特に建築分野において工学的および経済的に大きなメリットをもたらしています。

準静的負荷の荷重たわみ曲線

図2は、圧縮負荷下におけるSylomer[®]の荷重たわみ曲線の一般的な挙動を示しています。

荷重負荷が小さい条件では、荷重とたわみ量の関係は線形となります。防振支持をする場合、定常状態における静的な負荷はこの範囲に適用されます。静的負荷範囲の許容値は、各種個別の製品データシートに記載しております。

線形の負荷領域を越えると、荷重たわみ曲線の傾きは小さくなり、素材の持つ静的および動的な剛性値は低くなり、非常に効果的な防振を可能にします。製品データシートでは、その遷移部分における領域を薄い灰色にて示しております。

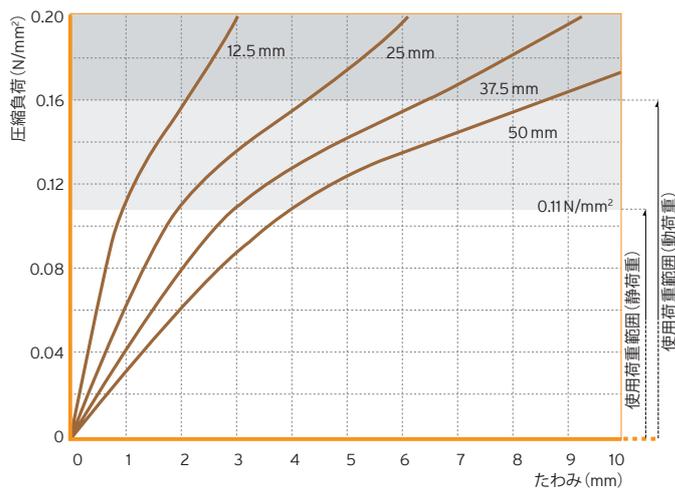


図2: Sylomer[®]の荷重たわみ曲線 (SR110)

曲線の傾きが小さくなる範囲を超えると、素材が硬くなります。(濃い灰色部分) その結果、この負荷範囲内では防振効率が低下することが予想されます。Sylomer®は、過負荷による損傷等の影響を受けません。素材が短時間内に極端な衝撃力によって大きく変形した場合でも、除荷後、ほぼ元どおりに復元します。その際、素材が損傷することはありません。また、Sylomer®のEN ISO 1856に準拠した永久圧縮ひずみは5%以内です。

動的負荷での作用

図3において、荷重条件における静的弾性率および動的弾性率(10 Hzおよび30 Hz)の関係性を表しています。一般的なエラストマーと同様に、Sylomer®は静的負荷と比べて動的負荷に対して弾性率が高くなる傾向があります。これらの比率は、Sylomer®のタイプ、負荷条件や周波数によって異なりますが、おおよそ1.4から4の間となります。準静的および動的弾性挙動において、図3の動的使用範囲において弾性率ももっとも小さくなります。Sylomer®には、この負荷範囲において特に優れた防振性能を発揮する特性があります。したがって、Sylomer®を使用することで、振動が生じるシステムを実現し、比較的少量の静的沈下でも高い防振性につなげることが可能になっています。

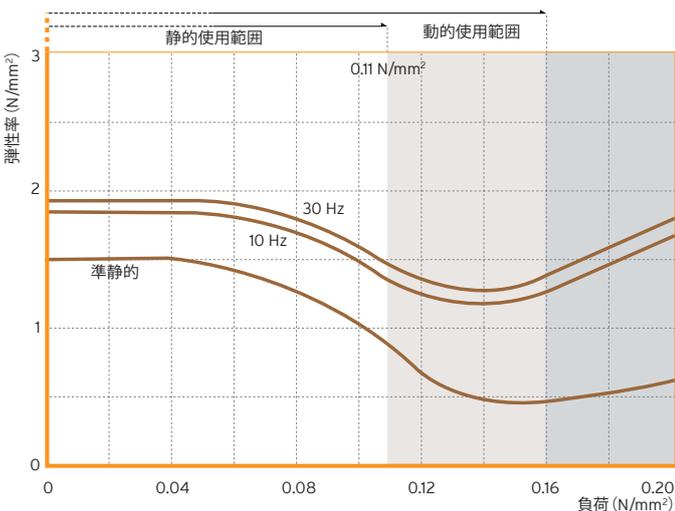


図3: Sylomer® における準静的および動的弾性率の負荷依存性 (SR110)

損失係数

Sylomer®に動的荷重が負荷される場合、素材の持つ減衰性能によって入力される力学的エネルギーが熱エネルギーに変換されます。Sylomer®が持つ減衰性能は機械的損失係数として表され、Sylomer®の場合、タイプによって、その値は0.09から0.25と定義されています。製品データシートに各種機械的損失係数を表記しております。

せん断負荷での作用

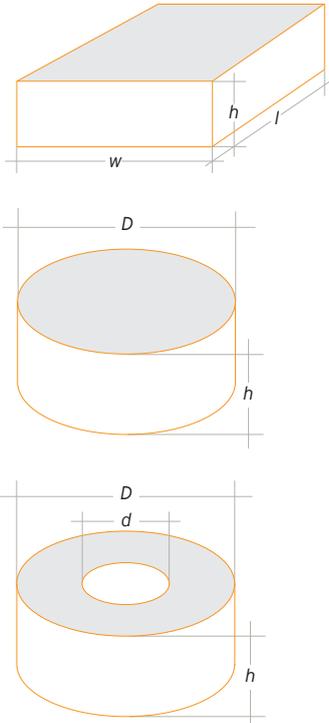
Sylomer®による弾性支持は圧縮方向の支持と比べてせん断方向の支持の場合に剛性が低くなる挙動をとります。これら剛性値の比率はおおよそ4~10の関係性をもちます。これはSylomer®の多孔性構造に起因します。また、準静的におけるせん断方向の荷重たわみ曲線はおおよそ線形挙動を示します。

形状係数の影響

低密度で多孔性のSylomer®は、体積の圧縮が可能です。つまり、さらにコンパクトなエラストマーと比べると、弾性のあるSylomer®の要素は負荷の方向に対して横にあまり伸びないことを示します。一方で、低い形状係数q(弾性支持の周面に対する負荷-弾性支持表面の比率として定義、図4参照)を持つSylomer®弾性支持は、製品データシートのたわみ曲線から生じるより大幅な沈下を示しています(2ページと3ページでは、形状係数3のたわみ曲線を示しています)。

製品データシートの4ページでは、沈下の依存、動的弾性率、形状係数での固有振動数の関係を示しています。これらの依存関係は、別の形状係数での製品データシートの2ページおよび3ページのたわみ曲線に対する補正率に使用できます。

$$\text{定義: 形状係数} = \frac{\text{負荷部分}}{\text{周面部分}}$$



ブロック

$$q = \frac{w \cdot l}{2 \cdot h \cdot (w + l)}$$

円柱

$$q = \frac{D}{4 \cdot h}$$

円筒

$$q = \frac{D - d}{4 \cdot h}$$

図4: 形状係数の定義、ブロック、円柱、円筒

静的条件での長期耐用期間

すべてのエラストマーと同じように、長期間にわたる負荷では特定のクリープ効果が発生します。クリープとは、長期間変化しない負荷条件下での変形の可逆的増加を表します。図5は、Sylomer®の典型的な作用を示しています。

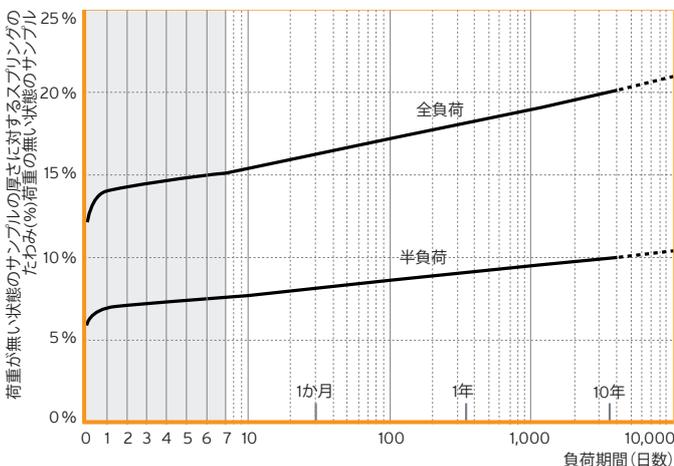


図5: 静的条件でのSylomer®の長期耐用期間

クリープによる変形増加のほとんどは、比較的短期間の後に発生します。この短いフェーズを過ぎると、長期間にわたる変形増加は非常に小規模になります。

ゲッツナーは、約50年にわたってSylomer®弾性支持を用いた数多くのプロジェクトを通じて、静的長期負荷条件下での弾性支持におけるこの作用パターンを繰り返し確認してまいりました。

長期負荷下での動的特性

長期負荷条件下での動的特性の変化が、特に防振弾性支持では重要になることがあります。静的な用途範囲で推奨されるものは、静的な用途範囲の最大負荷下で、弾性支持の固有振動数が負荷をかけている間に変化しないという意味で選択されています。図6は、これらの関係性を示しています。

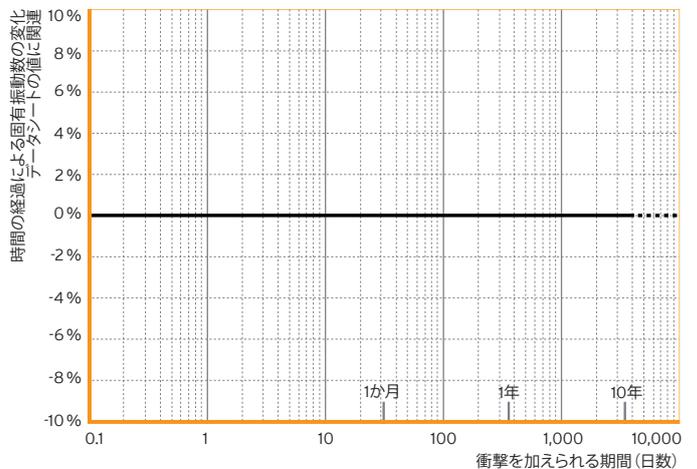


図6: 動的条件でのSylomer®の長期耐用期間

ポアソン比

ポアソン比は、線形の負荷範囲の素材に対してのみ適切な精度にて定義することができます。

一般的にSylomer®は、非線形の負荷範囲にも影響されるため、個別に「単一の値」としてポアソン比を定義することは現実的ではありません。

Sylomer®の密度が高くなり、剛性が高まれば、体積圧縮性能も低くなります（理想は圧縮不可 → ポアソン比0.5です）。

Sylomer®のポアソン比の決定は、素材タイプ（密度）および負荷（または試験方法）に応じた変動に影響されます。

Sylomer®では、0.3～0.5の値を示します。

温度の影響

Sylomer®の使用温度は、-30°C～70°Cの範囲となります。Sylomer®のガラス転移温度は-50°C前後で、融解温度は150°C～180°Cの範囲です。製品データシートに示された特性を完全に失わないSylomer®の最大適用温度は、使用対象の用途に大きく影響されます。詳細については、ゲッツナー社のサポート部門にお問い合わせください。

製品データシートの測定値は、室内温度での数値となります。温度に関する各素材タイプの依存関係は、詳細データシートにて記載しております。

周波数依存性

Sylomer®の弾性率および損失係数は変形速度に依存しており、動的負荷の場合は周波数に依存します。周波数におけるSylomer®の依存性は、詳細データシートにて記載しております。

振幅依存

Sylomer®は、振幅において低い依存性を示すため、一般的には計算上無視することができます。これは、特に建物用の取付システムや関連する振幅の分野で非常に重要な係数になります。

引火性

Sylomer®は、DIN 4102で引火性クラスB2（標準的可燃性）に分類されます。燃焼時には腐食性ガスを生成しません。発生する気体の成分は、木や毛織物の燃焼によって発生するものと同質の構成です。

環境条件および化学物質への耐性

Sylomer®素材は、水、コンクリート、油脂、希酸、塩基などの物質に耐性があります。個々の素材に対する耐性の詳細な一覧は、耐化学性に関するデータシートに記載しています。

防振

防振および固体伝播音の対策によって、力学的に伝播する振動を低減します。これは、振動の伝播経路を調整した特別な粘弾性建築要素を使用することで、力や振動の振幅を抑えることにつながっています。固体伝播音対策では、力学的な振動の低減に加えて、固体伝播音によって発生する二次的な空気伝播音も緩和します。

固体伝播音対策の場合、調整周波数が一般的に防振よりも高くなります。防振および固体伝播音対策は次のように区別されています。

放出防止

機械やその他の発生元から環境に伝わる影響力を低減する目的を持っています。

波及防止

外部環境から伝わってくる振動から、機械や設備また建物を保護します。

適切な粘弾性の建築要素を使用し、さらに質量を付加することによって、全般的にすべての用途での防振に対する最適なソリューションを実現します。

1自由度マススプリングシステム

マススプリングシステムというシンプルな物理モデルで多くの振動問題を算出することができます(図7参照)。短い外部からの力によって質量が安定しない状態では f_0 の固有振動数で振動します(図8参照)。

$$1 \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{T}$$

- T = 期間 (秒)
- f_0 = 固有振動数 (Hz)
- c = ばね定数 (N/m)
- m = 振動質量 (kg)

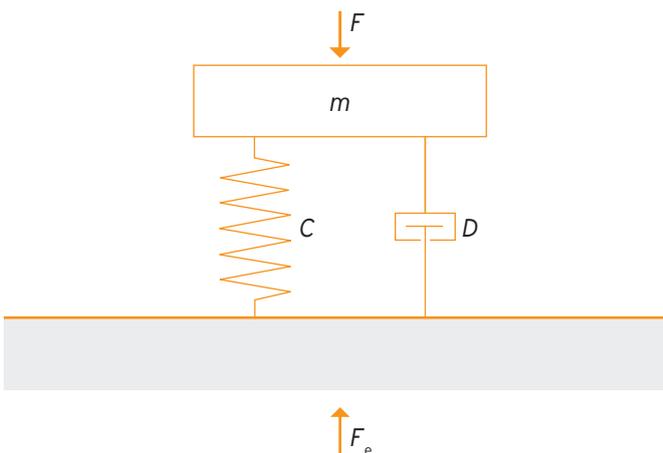


図7:1自由度マススプリングシステム

振動の振幅は時間経過とともに減衰します。

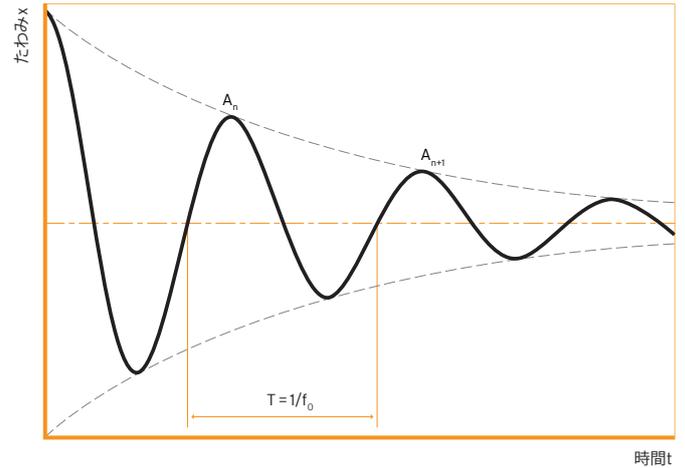


図8:自由振動の変位の減衰作用

振幅の減衰速度は、ばねの減衰性能によって異なります。Sylomer®の場合、減衰性能は機械的損失係数によって示されます。製品タイプに応じて、Sylomer®の損失係数は $\eta = 0.09 \sim 0.25$ の範囲になります。

機械的損失係数 η と減衰比 D の関係は 次のようになります。

$$2 \quad \eta = 2D$$

減衰性能と2つの連続した最大振幅の比率の関係は、次の式で示されます。

$$3 \quad \frac{A_{n+1}}{A_n} = e^{-2D\pi} = e^{-\eta\pi}$$

伝達関数

弾性支持における防振効果は、伝達関数 $V(f)$ で示されます。これは、力の励起（放出防止）の面では力の伝達関数、波及防止の面では振幅の伝達関数を示します。

$$4 \quad V(f) = \sqrt{\frac{1 + \eta^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \eta^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

伝達関数は、系のレスポンス（振動の振幅）と衝撃（励起振幅）との数学的な関係を示し、一般的に周波数比の関数 f/f_0 にて定義します。

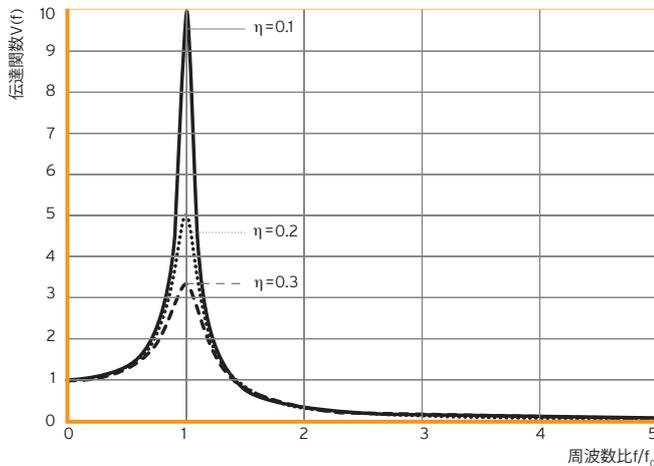


図9:伝達関数

防振効果は周波数の範囲 $f/f_0 > 2$ において発揮されます。システムの固有振動数 f_0 が力学的振動の最低周波数 f 未満の1.41前後の係数である場合、いわゆる低周波調整が発生します。

共振範囲 $f/f_0 < 2$ では、減衰性能とは無関係にすべてのケースで力学的な振幅の増幅が起こります。

伝達度/防振係数

防振効果は常にレベルの形で対数的に表されます。このケースで使用される項は伝達度 $L(f)$ で、dBで表されます。

$$5 \quad L(f) = 20 \cdot \log \left[\sqrt{\frac{1 + \eta^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \eta^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \right]$$

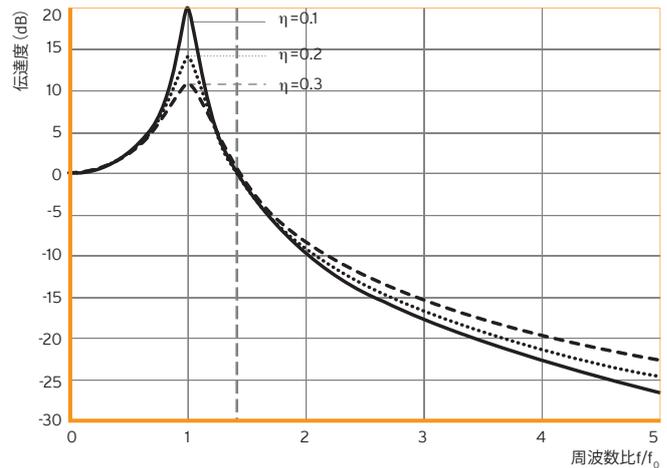


図10:伝達度

他に役立つ変数は防振係数 $I(f)$ で、伝達による励起係数の減少を%で表します。

$$6 \quad I(f) = 100 \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{1 + \eta^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \eta^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \right]$$

固有振動数の算出とSylomer®を使用するシステムでの減衰効果

一種類目のSylomer®を使用している場合、静的設計と合致する自由振動の固有振動数を製品データシートで確認できます。この点において、さまざまな素材の厚さでの表面圧力の影響を受けるシステムの固有振動数は、ポイント3で表されます。固有振動数の算出は、(1)と合致します。

防振支持の動的ばね定数は、次のように算出されます。

$$7 \quad c = \frac{E \cdot A}{d}$$

E = 動的弾性率 (N/mm²)
 A = マウント表面 (mm²)
 d = 素材の厚さ (mm)

(1)の代わりに、使用することもできる次の式

$$8 \quad f_0 = 15.76 \sqrt{\frac{E}{d\sigma}}$$

σ = 表面圧力 (N/mm²)

動的弾性率は、製品データシートの図のポイント2にある表面圧力で確認できます。すべてのケースで、無負荷状態でのSylomer®マウントの素材の厚さは、(7)に示された動的ばね定数の算出に使用されます。いくつかのタイプのSylomer®を組み合わせる場合、(1)に示された固有振動数の算出の基礎として、マウント全体の剛性を使用する必要があります。全体の剛性は、(7)の個々の剛性の合計を基にします。

せん断による力の影響も受けているマウントの場合、動的弾性率の代わりに動的せん断弾性率を使用する必要があります。弾性マウントの挿入損失と防振係数は、固有振動数に対する励起周波数の比率と損失係数に依存します。これらは(5)と(6)の式で計算できます。

さらに、両方の値は製品データシートのポイント4の固有振動数と励起周波数との依存関係で表されます。

次の式(9)に示された静的沈下からの固有振動数の推定値は、Sylomer®に使用できません。

$$9 \quad f_0 = \frac{5}{\sqrt{x}}$$

x = 静的沈下 (cm)

モデリング

実際の振動システムの計算は、力学的ダミーモデルを基準にして行われます。実際の振動問題では多くの場合、マススプリングシステムとして1次バネマスモデルを使用することで算出可能です。より厳密に振動システムを調査する場合、実際のシステムに関連して予想されるさらなる変動を考慮する必要があります。また、振動質量は、ばねやダンパーでつながれたそれぞれ異なる質量で表すことができます。システムで考えられる独立した動きの数は、自由度と呼ばれます。自由度の数は、考えられる固有振動数の数と一致します。

防振の測定には、一般的に最小固有振動数が関連します。この周波数はすべてのモデルでほぼ同じになるので、ほとんどの場合マススプリングシステムとしての1自由度モデリングにて計算可能となります。

すべての情報およびデータは、現時点での当社の知識に基づいています。このデータは計算に適用でき、ガイドラインとして典型的な製造許容値に従っておりますが、保証されるものではありません。データを修正する権利は当社にあります。

Getzner Werkstoffe GmbH

Herrenau 5
6706 Bürs
Austria
T +43-5552-201-0
F +43-5552-201-1899
info.buers@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH

Am Borsigturm 11
13507 Berlin
Germany
T +49-30-405034-00
F +49-30-405034-35
info.berlin@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH

Nördliche Münchner Str. 27a
82031 Grünwald
Germany
T +49-89-693500-0
F +49-89-693500-11
info.munich@getzner.com

Getzner Spring Solutions GmbH

Gottlob-Grotz-Str. 1
74321 Bietigheim-Bissingen
Germany
T +49-7142-91753-0
F +49-7142-91753-50
info.stuttgart@getzner.com

Getzner France S.A.S.

Bâtiment Quadrille
19 Rue Jacqueline Auriol
69008 Lyon
France
T +33-4 72 62 00 16
info.lyon@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH

Middle East Regional Office
Abdul - Hameed Sharaf Str. 114
Rimawi Center - Shmeisani
P. O. Box 961294
Amman 11196, Jordan
T +9626-560-7341
F +9626-569-7352
info.amman@getzner.com

Getzner India Pvt. Ltd.

1st Floor, Kaivalya
24 Tejas Society, Kothrud
Pune 411038, India
T +91-20-25385195
F +91-20-25385199
info.pune@getzner.com

Nihon Getzner K.K.

6-8 Nihonbashi Odenma-cho
Chuo-ku, Tokyo
103-0011, Japan
T +81-3-6842-7072
F +81-3-6842-7062
info.tokyo@getzner.com

Getzner Materials (Beijing) Co., Ltd.

No. 905, Tower D, the Vantone Center
No. Jia 6, Chaowai Street, Chaoyang District
10020, Beijing, the P.R.C.
T +86-10-5907-1618
F +86-10-5907-1628
info.beijing@getzner.com

Getzner USA, Inc.

8720 Red Oak Boulevard, Suite 400
Charlotte, NC 28217, USA
T +1-704-966-2132
info.charlotte@getzner.com

www.getzner.com

