



Spezialist und Generalist

für:

Elastomertechnologie
Schwingungstechnik
Gummi/Metall-Verbindungen
Gummi/Kunststoff-Verbindungen
Zell Elastomere

Baugruppen aus:

Gummi, Kunststoff, Schaumstoff und anderen Werkstoffen

Elastomere und Gummi/Metall-Verbindungen

Die vielfältigen Möglichkeiten Elastomere und Gummi/Metall-Verbindungen optimal nutzbar zu machen setzt eine hohe technologische Befähigung im Wissen über Gummi, Metall, Kunststoff, Konstruktionsform, Herstellung und elastische Lagerung voraus.

Elastomer Einsatz wann:

Elastomere sind ein Bestandteil nahezu aller technischer Konstruktionen, wenn die Eigenschaften des Werkstoffes - weich, elastisch, dämmend, dämpfend – für Aufgaben wie dichten, federn, elastisches Lagern, für mechanische und akustische Schwingungsprobleme benötigt werden.

Elastomer Einsatz für:

Maschinenbau, Apparatebau, Gerätebau, Fahrzeugbau, Aufzugsbau, Gebäudebau, Brückenbau.

Produktangebote:

Standard Produkte für Schwingungstechnik

Mit unseren vielfältigen Standardprodukten lösen wir schwingungstechnische Aufgaben nach Ihren Ansprüchen, effizient und entsprechend kostengünstig. Wir beraten Sie gerne und stellen Ihnen die Einsatzmöglichkeiten unserer Produkte im Detail vor.

Unsere Programme sind:

Vibraplast – Programm
 Schwingmetall – Programm
 Contitech Luftfeder – Programm
 PHOENIX-Megi - Programm
 Freudenberg – Programm
 Bategu – Programm
 PU – Programm

Kundenspezifische Produkte

Von der ersten Idee zum Prototyp bis zur Serie entwickeln und produzieren wir Gummiform-, Stanz- und Zuschnitteile ganz nach Ihren Wünschen. Wir legen Wert auf eine angepasste Qualität und beurteilen zwischen den Möglichkeiten einer wirtschaftlichen Produktion und den gewünschten Lösungen.

Unsere Materialien sind:

Verschiedene Gummiqualitäten
 auch
 zusammenvulkanisiert mit verschiedenen Metallen oder Kunststoffen.

Ebenso:

Polyurethan gegossen, gepresst, kompakt oder zellig
 auch
 verbunden mit verschiedenen Metallen.

Verschiedene Kunststoffqualitäten gespritzt oder gedreht.

Verschiedene Schaumstoffqualitäten zugeschnitten.



Vibrplast Elastotec AG

Elastomertechnologie, Schwingungstechnik, Gummi/Metall sowie Gummi/Kunststoff-Verbindungen und das Prinzip die Aspekte der Kundensysteme optimal zu verstehen und zu beraten:

Das ist Vibrplast Elastotec AG.

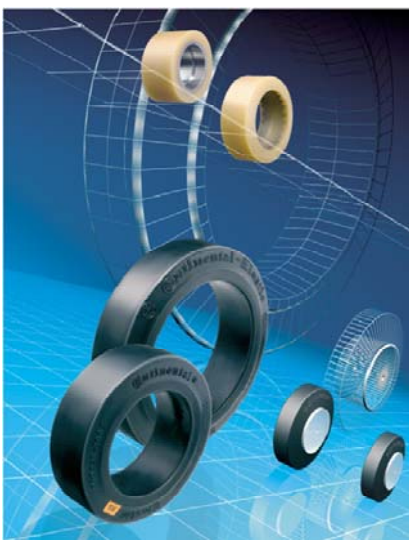
Wir sind Entwicklungspartner bei individueller Aufgabenstellung von Formartikel aus Elastomeren, massgeschneidert, in optimaler Geometrie und Werkstoffqualität.

Wir bündeln unsere Fähigkeiten mit dem Wissen über Federung, Kinematik sowie Akustik, mit der Erfahrung über die Elastomerproduktion und mit den Liefermöglichkeiten von Baugruppen aus Gummi, Kunststoff, Schaumstoff sowie anderen Werkstoffen.



Grundlagen

Diese Grundlagen für vorwiegend gebundene Elastomerfedern sind ein stetiges Arbeitsmittel zur Lösung von praktischen Aufgaben und informieren über:



Spezialist und Generalist	S.1
Vibrplast Elastotec AG	S.2
Elastomertechnologie	S.3
Elastomereigenschaften	S.4
Elastomernormen und Charakteristiken	S.5
Toleranzen	S.6
Konstruktion von gebundenen Gummifedern	S.7
Fabrikation von Gummi/Metallteilen	S.8
Statische Beanspruchung	S.9
Isolierung der Körperschallwellen	S.10 / 11
Berechnung	S.12

Elastomertechnologie

Vom Kautschuk zum Elastomer

Für die Herstellung von Elastomeren ist das unvernetzte Ausgangsmaterial Kautschuk.

Naturkautschuk

Der Naturkautschuk gewonnen vom Kautschukbaum in Form von Kautschukmilch, genannt Latex, stellt eine wässrige Suspension mit kompliziertem Aufbau dar. Zur Gewinnung des Kautschuks wird der Latex durch Zugabe von Essig- oder Ameisensäure zur Gerinnung gebracht und sodann ausgequetscht, getrocknet und geräuchert.

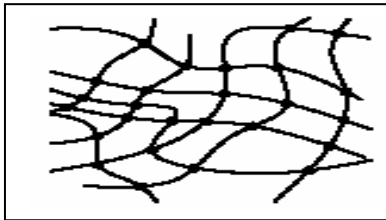
Synthesekautschuk

Der Synthesekautschuk basiert auf Erdgas- oder Erdölausgangsprodukten. Durch das Spalt- oder Crackverfahren entstehen u.a. Äthylen, Propylen und Butadien. Diese Ausgangsmaterialien werden in Wasser emulgiert, durch einen Emulgator in feinste Tröpfchen verteilt, so dass der Kautschuk zuerst als Kautschukmilch, genannt Latex, erhalten und durch Gerinnung wieder zum Festkautschuk wird.

Mischung

Für die Herstellung von technischen Mischungen braucht es neben dem Basiskautschuk Zusatzstoffe oder Chemikalien wie Füllstoffe, Weichmacher, Vernetzer, Beschleuniger, Alterungsschutzmittel usw. Die Chemikalien geben nämlich dem Gummi erst diejenigen teils extremen Eigenschaften, die wir an ihm schätzen oder im Einzelfall spezifisch benötigen, wenn auch die Grundcharakteristik des Kautschuks immer eigenschaftsbestimmend bleibt.

Vernetzung



Bei der Vulkanisation werden die Kautschukmolekülketten an verschiedenen Orten durch einen chemischen Vorgang miteinander verknüpft, so dass bei Kraffteinwirkung die Molekülketten nicht mehr aneinander vorbei gleiten können, sondern nach dem Nachlassen der Kraft nahezu vollständig in ihre Ausgangslage zurückkehren.

Dieses Rückfederungsvermögen bzw. diese Elastizität ist das Besondere am Gummi. Kein anderes Material zeigt eine solche Elastizität. Aus diesem Grunde werden Gummiwerkstoffe als **Elastomere** bezeichnet.

Elastomerauswahl

Bei der Auswahl eines Elastomers muss die Elastizität während der gesamten Einsatzdauer erhalten bleiben; sie darf sich nicht durch Umgebungseinflüsse wie Wärme und Kälte, Licht und Ozon oder durch Einwirkung von Kontaktmedien wesentlich verändern. Der Konstrukteur hat die Aufgabe, alle Einzelheiten über Einsatzbedingungen und Beanspruchungsart der herzustellenden Gummitteile aufzustellen.

Natur- oder Synthesekautschuk

Zur groben Festlegung Naturkautschuk oder Synthesekautschuk ist der Naturkautschuk (NR) ein von Natur hergestellter Werkstoff, allen synthetisch hergestellten elastomeren Werkstoffen, von seiner Struktur her ein Vorbild. NR weist eine sehr hohe Zugfestigkeit, besonders bei weichen Elastomerqualitäten eine hohe Elastizität, Kälteflexibilität und hervorragende dynamische Eigenschaften auf, die in dieser Kombination kaum von synthetischen Elastomeren erreicht werden und deshalb den NR auch heute noch für einige Anwendungsfälle, besonders für Schwingungsisolationssysteme, unentbehrlich machen.

Bei der Auslegung von Elastomerfedern ist auch die dynamische Verhärtung zu beachten. Bei niedrig dämpfenden Elastomerwerkstoffen wie NR kann sie im Allgemeinen vernachlässigt werden. Bei hochdämpfenden Mischungen kann die dynamische Federsteifigkeit ein Mehrfaches der statischen betragen.

Werden jedoch an ein Produkt extreme Ansprüche bezüglich gewissen Beständigkeiten u.a. Oxydation und Dämpfungseigenschaften gestellt, ist es unumgänglich, auf einen Synthesekautschuk überzugehen.

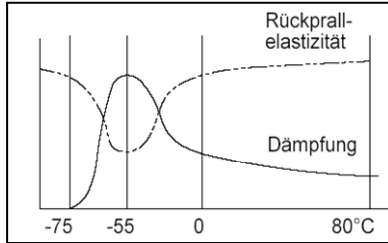
Eigenschaften einiger ausgewählter Elastomer-mischungen	Natur-Kautschuk	Styrol-Butadien-Kautschuk	Nitril-Kautschuk	Chloropren-Kautschuk	Äthylen-Propylen-Dien-Kautschuk	Butyl-Kautschuk	Silikon-Kautschuk	Fluor-Kautschuk	Polyurethan-Kautschuk
Internationales Kurzzeichen	NR	SBR	NBR	CR	EPDM	IIR	VMQ	FKM	EU
Handelnamen, z.B.		Buna	Perbunan	Neoprene	Keltan	Butyl	Silastic	Viton	Adiprene
Härtebereich Shore A	35-90	35-90	35-90	35-90	35-90	35-80	40-80	60-90	55-95
Thermisches Verhalten									
Kälteflexibilität bis °C	-40	-30	-30	-30	-40	-35	-60	-25	-30
Wärmebeständigkeit dauernd bis Temp. °C	+80	+100	+120	+120	+130	+110	+170	+210	+100
Wärmebeständigkeit kurz bis Temp. °C	+90	+120	+140	+130	+150	+140	+210	+270	+130
Mech. Eigenschaften bei Raumtemperatur									
Zugfestigkeit	●	◐	◑	◒	◓	◔	◕	◖	◗
Bruchdehnung hoch	●	◐	◑	◒	◓	◔	◕	◖	◗
Rückprallelastizität hoch	●	◐	◑	◒	◓	○	◕	○	◗
Weiterreisswiderstand	◐	◑	◒	◓	◔	◕	◖	◗	●
Abriebwiderstand	◐	◑	◒	◓	◔	◕	◖	◗	●
Bleibende Verformung bei hohen Temperaturen	◐	◑	◒	◓	◔	◕	●	●	○
Bleibende Verformung bei tiefen Temperaturen	◐	◑	◒	◓	◔	◕	●	◐	◑
Beständigkeit gegen									
Benzin	○	◐	◑	◒	○	◐	◑	●	◐
Mineralöl bei 100 °C	○	◐	●	◒	◓	○	◐	●	◐
Säuren 25%ige H2SO4 bei 50 °C	◐	◑	◒	◓	●	●	◐	●	◐
Laugen 50%ige NaOH bei 50 °C	◐	◑	○	◒	●	●	○	●	○
Wasser bei 100 °C	◐	◑	◒	◓	●	◐	◑	◒	○
Witterung und Ozon	◐	◑	◒	◓	●	◐	●	●	◐
Licht	◐	◑	◒	◓	◔	◕	●	●	◐
Gasundurchlässigkeit	◐	◑	◒	◓	◔	●	○	●	◐
Beurteilung									
Das Eigenschaftsbild der einzelnen Kautschuke wird nur richtungweisend wiedergeben. Durch die Optimierung einer bestimmten Eigenschaft können andere Merkmale beeinflusst werden.									

Elastomernormen und Charakteristiken

Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Spannungswert (DIN 53 504)

Härte nach Shore A (DIN 53 505)

Härte wird gebräuchlich mit der Bezeichnung Shore A ausgedrückt. Dabei wird der Widerstand gegen das Eindringen eines Kegels gemessen. Fertigteile, deren Prüffläche von mindestens 30mm Durchmesser und einer Prüfdicke von mindestens 6mm abweichen, sind nur als Vergleichswerte für unter gleichen Bedingungen gemessene Werte, nicht als Stoffkonstanten anzusehen.



Rückprall-Elastizität (DIN 53 512)

Rückprall-Elastizität ist die zurückgebende Energie in Prozenten und dient zur Beurteilung des Elastizitätsverhaltens, das angibt, wie weit sich der Werkstoff elastisch Verhält und wie weit viskos. Die Elastizität ist umso grösser, je weniger Verformungsenergie in Wärme umgewandelt wird. Insbesondere ist dieser Versuch geeignet, mit einfachen Mitteln erste Anhaltspunkte über das dynamische Verhalten eines Elastomers zu vermitteln. Die Rückprall-Elastizität ist stark von der Temperatur abhängig.

Abrieb (DIN 53 516)

Dichte (DIN 53 479)

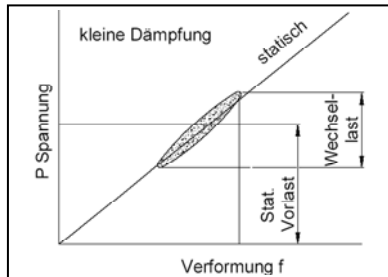
Dichte wird in g/ccm gemessen zur bedingten Identifizierung des Elastomers.

Druck-Verformungsrest (DIN 53 517)

Druck-Verformungsrest oder Compression Set ist die nicht mehr zurückgebildete Strecke in Prozenten der zusammengedrückten Strecke. Sie soll darüber Aufschluss geben, wie sich Elastomere bei lang andauernder und konstanter Druck-Verformung bei Raumtemperatur und bei höheren Temperaturen viskoelastisch verhalten. Ausserdem eignet sich das Prüfverfahren zum Beurteilen des Vulkanisationszustandes.

Alterung (DIN 53 508)

Alterung ist die allmähliche Zerstörung von Elastomeren durch Sauerstoff, Ozon, Licht, Wärme, Feuchtigkeit und energiereiche Strahlen, die einzeln oder zusammen eine fortschreitende irreversible Schädigung bewirken können.

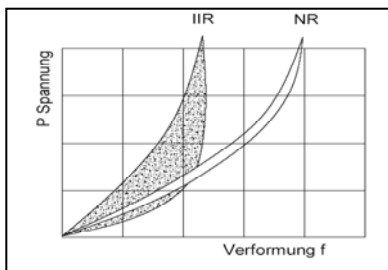


Verhalten gegen Flüssigkeit, Dämpfe und Gase (DIN 53 521)

Die Aufnahme der Medien und das Herauslösen von Mischungsbestandteilen aus dem Gummi führen zu einer Quellung, welche die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigen.

Viscose Dämpfung (DIN 53 513)

Visco-elastische Eigenschaften bei erzwungenen Schwingungen sind von Bedeutung bei periodisch dynamisch beanspruchten Elastomeren. In einem Spannungs-Verformungs-Diagramm aufgezeichnet, erhält man die Form einer Ellipse. Die Fläche der Ellipse zeigt die Dämpfung, d.h. den Betrag mechanischer Energie, der bei jedem Verformungszyklus im Elastomer in Wärme umgesetzt wird. Die Wärmemenge die nicht nach aussen abgegeben werden kann, heizt das Gummiteil auf. Kritische Werte können erreicht werden bei hohen Lastwechsel-frequenzen und grossen Amplituden.



Hysterese Dämpfung

Alle Elastomerwerkstoffe haben eine hysteresis Dämpfung. Die Dämpfung ist abhängig von der Gummiqualität, Temperatur, Verformungsgeschwindigkeit, Verformungsbeschleunigung, Formgebung und Spannungsart.

Toleranzen

Für Formartikel ohne besondere Toleranzangaben

sind die zulässige Massabweichung nach
DIN 7715 ISO 3302-1 Klasse M 3

Nennmassbereich (mm)	Zulässige Massabweichung	
	F ± mm	C ± mm
bis 6.3	0.25	0.4
über 6.3 bis 10	0.30	0.5
über 10 bis 16	0.40	0.6
über 16 bis 25	0.50	0.8
über 25 bis 40	0.60	1.0
über 40 bis 63	0.80	1.3
über 63 bis 100	1.00	1.6
über 100 bis 160	1.30	2.0

F = formgebundenes Mass

C = nicht formgebundenes Mass

Für Metalle

Masse die an die Form bzw. Vulkanisierwerkzeug gebunden sind müssen toleranzhaltig sein.

Die Vorteile von masshaltigen Metallteilen sind:

- Eine fehlerfreie sowie produktive Beschickung der Form.
- Eine einwandfreie Gummi/Metall-Haftung.
- Ein toleranzhaltiges Gummi/Metall-Teil.
- Eine geringere Verputzarbeit des Endproduktes.

Für Standardmetalle sind deren Schweisstteile bestehend aus Teller Mutter und Tellerschraube toleriert nach DIN 267 T1/522 sowie die Passivierung nach DIN 267 T.9 Zn 5 c-C.



Elastomer/Metall-Bindung

Ständige Qualitätsprüfungen in allen Verarbeitungsstufen sichern einen hohen und gleich bleibenden Standard für die Bindung. Die Endprüfung ist eine Prüfung nach einem Stichprobenplan der Haftfestigkeit durch Sichtkontrolle an der Randzone bei 1.5 - 3 N/mm² Zugkraft oder sogar durch Zerreißen bis zur Zerstörung. Allgemein kann gesagt werden, dass Elastomer/Metall-Verbindungen nach der Vernetzung des Elastomers bei gleichzeitiger verbindender Reaktion des Haftmittelsystems, statisch geprüft, sich ausschliesslich ein Bruch im Elastomer zeigt.

Federkennlinie

Unter der Federkennlinie versteht man die Beziehung zwischen der aufgebracht Kraft und der unter ihrer Einwirkung entstehenden Formänderung bzw. Weg.

Die Federeigenschaften hängen vom E-Modul des Elastomers und den geometrischen Abmessungen ab. Deshalb ist die verbindliche Identifizierung einer gebundenen Gummifeder nicht die gemessene Elastomerhärte in Shore A sondern die Federkennlinie.

Eine Federsteife von ±12% bedeutet ca. ± 3 Shore A. Bei Standardteilen ohne Sondermassnahmen ist die Federsteifetoleranz ± 20%.



Fliesen (Kriechen) und Setzen

Das Fliesen ist die zeitabhängige Zunahme des elastischen Federweges einer unter konstanter Last stehender Feder. Es ist eine Folgeerscheinung des Nachlassens der Rückstellkraft. Die Federwegzunahme, die bereits nach 24h Belastungszeit den halben Wert erreicht hat, kann in der Praxis meist vernachlässigt werden und beeinflusst das Schwingverhalten nicht. Der bleibende Verformungsrest, inklusive dem Setzen das von der Lastwechselzahl und der Amplitude abhängig und mit dem Fliesen vergleichbar ist, liegt bei elastisch guten Elastomerqualitäten unter 10% des elastischen Federweges.

Konstruktion von gebundenen Gummifedern

Die vielfältigen Möglichkeiten Gummi/Metall-Verbindungen optimal nutzbar zu machen, setzt eine hohe technologische Befähigung im Wissen über Gummi, Metall, Konstruktionsform, Herstellung und elastische Lagerung voraus.

Beanspruchungsarten

Konstruktionshinweise

Bei der Gestaltung von gebundenen Gummifedern ist grundsätzlich zu beachten, dass bei gleicher Kraftereinwirkung das Mass der Verformung je nach der Beanspruchungsart verschieden ist. Der Konstrukteur hat es in der Hand, durch Auswahl der Krafrichtung den Gummi auf Druck, Zug, Schub oder Biegung beanspruchen zu lassen.

Schubbeanspruchungen ergeben die grössten Verformungen, Druckbeanspruchungen die kleinsten.

Zugbeanspruchungen sind zu vermeiden, infolge der nichtlinearen Federkennlinie, infolge der Fliegsneigung und infolge schlechterer Kraftereinwirkung.

Federnde Wirkung

Eine federnde Wirkung ist beim Gummi nur zu erreichen, wenn er unter dem Einfluss einer Kraft seine Form ändern kann. Ein allseitig eingeschlossener Gummikörper federt nicht. Man muss deshalb dem Gummi Gelegenheit geben, frei ausweichen zu können oder in eine zu bestimmende Richtung Ausweichmöglichkeiten bieten.

Verminderung der Spannungen entscheidet über die Lebensdauer

Elastomerform

Elastomerteile möglichst so ausbilden, dass bei ihrer Verformung das Elastomer gleichmässig spannt, d.h. lokale Überdehnungen vermieden werden. Die äussere Phase kann schnell eine lebensvermindernde Dehnung des Elastomeres erreichen. Aus diesem Grunde sind auf jeden Fall scharfe Kanten und Ecken nach Möglichkeit zu umgehen. Eine besondere Bedeutung erhält die Forderung nach möglichst gleichmässiger Spannungsverteilung im Elastomerteil von Verbundteilen dadurch, dass nicht nur die physikalische Festigkeit des Verbundes, sondern auch die chemische Beständigkeit, insbesondere die Korrosionsbeständigkeit von Gummi/Metallverbindungen umso höher ist, je niedriger die Spannung an der Bindaht angreift.

Einfluss auf die Haftfestigkeit

Metallform

Die Form eines Metallteils hat einen entscheidenden Einfluss auf die Haftfestigkeit. Bei konvex geformten oder kegelartigen Teilen reduziert sich die Haftkraft, ebenso das Bruchbild bei einer Zerreiessprüfung in der Zugrichtung. Der Winkel der angreifenden Kraft beeinflusst den Zerreiesswert.

Planparallele Metallkörper ergeben hohe Festigkeit mit akzeptablem Bruchbild, d.h. allgemein Bruch im Elastomer.

Verminderung von Zugspannungen

Weitere Hinweise

Die Kombination von Schub- und Druckbeanspruchungen vermindert die Zugspannung. Durch die vorhandene Druckspannung kann die Schubbelastung erhöht werden.

Standfestigkeit

Sind Kombinationen von Schub- und Druckbeanspruchungen mit einer Metallbrücke verbunden, so bringt diese Art einer elastischen Lagerung gute Standfestigkeit bei entsprechender Weichheit in vertikaler Richtung mit sich. Die Standfestigkeit zu berücksichtigen ist besonders wichtig bei Auftreten horizontaler Massenkräfte.

Steigerung der Druckfestigkeit

Durch das Zwischenlegen von Stahlblechen kann man die Druckfestigkeit durch Verhinderung der Querdehnung sehr stark steigern, ohne die Schubfestigkeit zu beeinflussen.

Standruhe

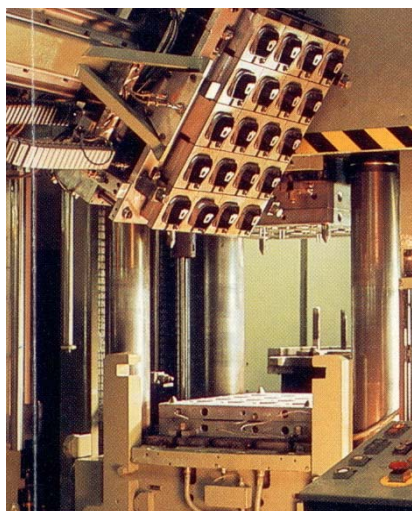
Durch eine Zusatzmasse, die schwimmend gelagert ist, kann die Schwingweite reduziert und die Standruhe verbessert werden.

Fabrikation von Gummi / Metallteilen

Vulkanisation und Verbindung

Das Zusammenvulkanisieren von Gummi mit Metall und Kunststoffen ergibt nicht ohne weiteres eine gute Bindung. Es muss durch ein geeignetes Zwischenglied und entsprechend sorgfältige Metall- bzw. Kunststoffvorbehandlung eine Schicht mit chemischer Verwandtschaft, sowohl zwischen der frischen und reaktiven Gummioberfläche wie auch dem Metall oder Kunststoff, geschaffen werden.

Herstellungsablauf



Mischung

Mischen der Rohstoffe im plastischen Zustand wie Kautschuk, Russ, Weichmacher, Verarbeitungshilfsmittel, Alterungsschutzmittel, Vernetzungsmittel, Beschleuniger, Dispergator, Vernetzungsaktivator auf dem Innenmischer.

Formgebung der Mischung

Abhängig vom Verarbeitungsverfahren werden im plastischen Zustand volumengenaue, frische und möglichst luftlose Mischungsrohlinge auf dem Walzwerk, Rohlingsautomat bzw. Extruder, der Stanzmaschine oder mit Handkonfektion vorgeformt.

Metallvorbehandlung

Sinn einer sorgfältigen Metallvorbehandlung ist die Schaffung einer definierten neuen Metalloberfläche, der Abtragung der Oxydschicht und nicht, wie oft angenommen wird, die Vergrößerung der Haftfläche. Untersuchungen haben gezeigt, dass mechanische Verfahren bei richtiger Auswahl zu optimalen Oberflächenergebnissen führen.

Haftmittelauftrag

Die Verarbeitung mit dem Zweischichtensystem, durch Mitverwendung von Primer nebst dem geeigneten Haftmittel, bietet eine äusserste Sicherheit in der betrieblichen Fertigung, ein Verbundteil von extremer Beständigkeit gegen harte Umweltbedingungen und in vielen Fällen eine stark verbesserte Haftung. Entscheidend ist das unmittelbare Auftragen nach der Metall- oder Kunststoffvorbehandlung, die Schichtstärke und die genügende Trocknung.

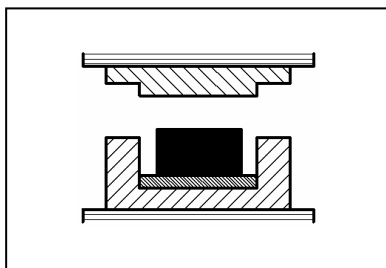
Zusammenvulkanisation

Die wichtigsten Parameter bei der Zusammenvulkanisation vom plastischen zum elastischen Zustand sind die Temperatur, der Druck, der Wärmefluss und die Zeit. Die Parameter müssen so aufeinander abgestimmt werden, dass der zu fertigende Artikel optimal vernetzen und verbinden kann.

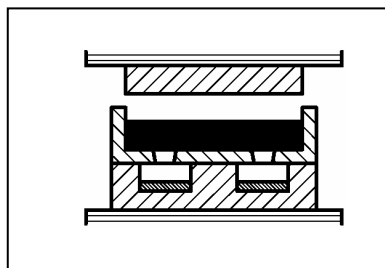
Verarbeitungsverfahren

Das benötigte Vulkanisierwerkzeug bzw. Form enthält ein oder mehrere Nester je nach Grösse, Empfindlichkeit und Ausstossleistung des Gummi/Metallteils.

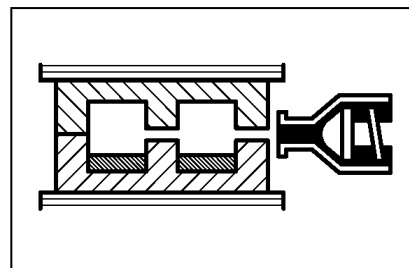
Die Form wird im geöffneten Zustand zuerst mit dem vorbereiteten Metall und nachher je nach Verfahren im geöffneten oder geschlossenen Formzustand mit volumengenaue Mischung beschickt.



Compression moulding



Transfer moulding



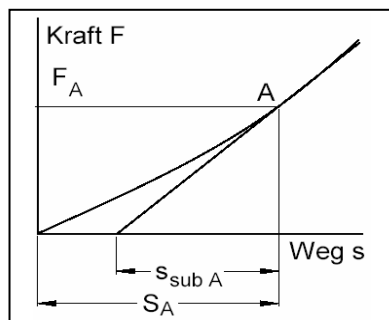
Injection moulding

Statische Beanspruchung an gebundene Elastomerfedern

Federkennlinie

Die wichtigste Aufgabe bei der Federberechnung besteht darin, die Federkennlinie zu ermitteln. Zeichnet man die Kraft in Abhängigkeit vom Weg auf, so erhält man die Federkennlinie. Für die im Gebrauch befindlichen Ausdrücke Federkonstante, Federwert oder Federsteife kennzeichnet man das Verhältnis von Kraft zu Weg.

Bei Gummifedern ist die Kennlinie ab einer gewissen Verformung gekrümmt, meistens progressiv, bei kleinerer Verformung ist sie angenähert eine Gerade.



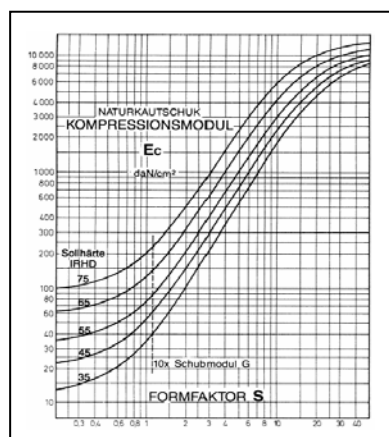
Federsteife bei gekrümmter Kennlinie

Gekrümmte Kennlinien muss man aufzeichnen, da sie sich nur Punktweise berechnen lassen und deshalb eine Tangente an einen bestimmten Punkt der Kurve legen muss, um die jeweilige Federsteife zu ermitteln.

Druckbeanspruchung, 15% Verformung

Bei Druckbeanspruchung liegt die Grenze der Linearität bei 15% Verformung, bezogen auf die Gummischichtdicke. Bei jeder Auslegung einer Gummifeder für den Druckbereich ist der Einfluss des Formfaktors zu berücksichtigen. Unter dem **Formfaktor** versteht man das Verhältnis von Aktionsdruckfläche zur freien Ausdruckfläche der Gummifeder. Dies rührt von der verhinderten Querdehnung und somit dem variablen Elastizitätsmodul c des inkompressiblen Werkstoffes Gummi her.

Elastizitätsmodul E_c



$$f_D = \frac{PD \cdot h}{A \cdot E_c}$$

f in cm = Verformung
P in kp = Druckkraft
h in cm = Gummihöhe
A in cm² = Aktionsdruckfläche

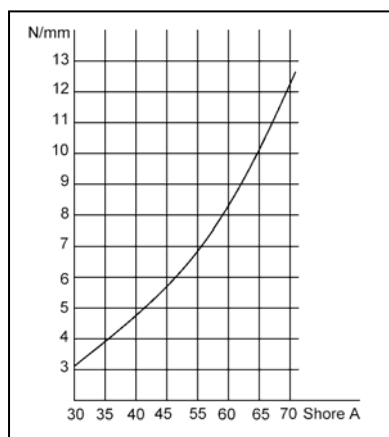
Schubbeanspruchung, 35% Verformung

Bei Schubbeanspruchung liegt die Linearitätsgrenze bei 35% Verformung, bezogen auf die Gummischichtdicke. Der Schubmodul G stellt die einzige Materialkonstante von Elastomeren dar und liegt in Abhängigkeit von der Shorehärte für jede Mischung fest.

$$f_s = \frac{P_s \cdot h}{A \cdot G}$$

f in cm = Verformung
P in kp = Schubkraft
h in cm = Gummihöhe
A in cm² = Aktionsdruckfläche

Schubmodul G



Dauerhaltbarkeit

Die Dauerhaltbarkeit und der ideale Einsatz von Gummifedern liegen unterhalb der genannten Verformungsgrenzen.

Berechnungsgrundlagen:

Für die Berechnungen der Federsteife kann das Schubmodul bzw. Elastizitätsmodul für alle Elastomerwerkstoffe, ausser Polyurethan, gleich angenommen werden. Es werden folgende Krafrichtungen berechnet:

- Parallelschub, Drehschub, Torsion, Druck, Zug und Schub/Druck bei gebundenen Gummifedern.
- Druck bei Rollen inklusive dem Werkstoff Polyurethan.

Isolierung der Körperschallwellen

Verursachung von mechanischen Schwingungen und Körperschallwellen

Bewegte Teile an Maschinen, Geräten, Apparaten und Fahrzeugen erzeugen Vibrationen und Geräusche. Sie werden durch ungleichförmige oder drehende Bewegungen unausgeglichener Massen verursacht. Schwingungen und Stösse wirken als Erschütterungen und Lärm störend auf die Umgebung.

Aufgabenstellung

Grundsätzlich ergeben sich zwei Aufgabenstellungen: Sollen Vibrationen von der unmittelbaren Umgebung der Entstehung ferngehalten werden, so wird eine so genannte aktive Schwingungsisolierung angestrebt. Müssen dagegen schwingungsempfindliche Anlagen wie Messeinrichtungen gegen Störungen von aussen abgeschirmt werden, so wird von passiver Schwingungsisolierung gesprochen.

Ausserdem ist noch zwischen Körperschall und Luftschall zu unterscheiden, die durchaus aus demselben Ursprung stammen können. Die Schwingungen des Körperschalls pflanzen sich durch feste, starre Körper fort. Betondecken, Stahlkonstruktionen, Mauerwerk, jedoch auch Maschinenanlagen, Fahrzeuge und Rohrleitungen sind typische Übertragungsmedien für den Körperschall, die diesen nicht selten über relativ weite Entfernungen leiten. Abgesehen von der Störung des menschlichen Empfindens kann er auch den Betrieb von Maschinenanlagen beeinträchtigen und zu Beschädigungen führen.

Isolierung des Körperschalls

Aus den bekannten Auswirkungen des Körperschalls entsteht der nicht zu umgehende Zwang effektive Schwingungsisolierungen zu schaffen. Eine technologisch verhältnismässig einfache Art einer Körperschallisolation wird durch den Einbau einer Zwischenschicht möglichst nahe der Störquelle erreicht, die den Weg der Schallschwingungen unterbricht. So werden zum Beispiel Motoren auf besonders ausgebildete Schwingungsisolationskörper gesetzt, die damit ein von der Umgebung oder Auflage nahezu unabhängiges Schwingungssystem werden. Ähnliches gilt für Gebäudeböden die periodisch gleichzeitig kraftvollen horizontalen und vertikalen Impulsen unterworfen sind, die dann schwingungsmässig durch Isolationen sowohl horizontal wie vertikal frei gemacht werden.

Körperschalldämmung

Während die Konstruktionsmaterialien der Maschinen und Bauten wie Gusseisen, Stahl und Beton gute Schalleiter sind und damit analog zur Materialkonsistenz als schallhart bezeichnet werden, leitet dagegen Gummi den Schall schlecht und ist als schallweicher Werkstoff für die Körperschalldämmung sehr gut geeignet. Die Dämmwirkung für die Körperschallwellen kommt durch deren teilweise Reflexion an der Grenzfläche der Materialien zustande und nur ein Teil von ihnen dringt in die Zwischenschicht ein.

Haupterregfrequenz

Es genügt nicht für die Isolierung irgend ein Stück Gummi oder einen beliebigen Schwingungsdämpfer anzubringen. Nur in der sorgfältigen Beachtung der physikalischen Gesetze bei der Auslegung der Schwingungsisolierung kann diese erfolgreiche Lösungen bieten.

Wesentlich ist die richtige Erfassung der in jedem Schwingungssystem dominierenden Haupterregfrequenz. Die Mehrheit der schwingungserregenden Systeme, die elastische Lagerungen erfordern, sind Kombinationen von Antriebsmotoren und Arbeitsmaschinen. Meistens werden bei Arbeitsmaschinen und Aggregaten der Grundschiwingung noch andere Schwingungen mit höheren Frequenzen überlagert, die aus den unausgeglichene Bewegungen von Massen entstehen und die Vibrationen verursachen, die auch ungleichförmig oder periodisch auftreten können. So können einmal die Erregerfrequenzen wie bei Motoren aus den Drehzahlen ziemlich genau bestimmt werden. In vielen anderen Fällen wie bei Textilmaschinen und Werkzeugmaschinen sind sie rechnerisch fast nicht zu ermitteln und es sollten Schwingungsmessungen durchgeführt werden.

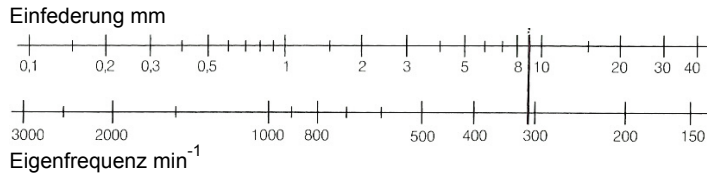
(Fortsetzung: Isolierung der Körperschallwellen)

Gewicht

Neben der Ermittlung der Haupterregfrequenz ist das totale Gewicht der Arbeitsmaschine genau festzustellen und die Einzelbelastung der Schwingungselemente ist zu errechnen.

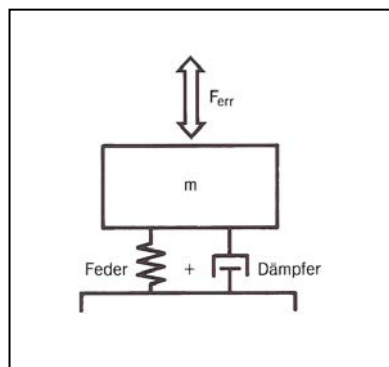
Eigenfrequenz

Nach der Wahl des geeigneten Schwingungsisolationskörpers ist die statische Einfederung zu berechnen oder aus dem Belastungs-Einfederungsdiagramm abzulesen. Die Eigenfrequenz die abhängig von der Einfederung ist kann aus dem Nomogramm Einfederung - Eigenfrequenz abgelesen werden.



Ein auf Isolierelementen gelagerte Masse wird bei einer Stossanregung eine sinusförmige Schwingung, mit einer ihr spezifischen Eigenfrequenz, ausführen. Für einfache Auslegung genügt die Berechnung der Vertikalschwingung. Dagegen ist für komplexe technologische Verhältnisse, wie bei grossen Anlagen mit aufwendigen baulichen Massnahmen oder Kolbenmaschinen mit variablen Drehzahlen, freien Massenkräften und Drehmomenten, eine sorgfältige Überprüfung der Eigenschwingungszahlen in allen Achsen erforderlich. Es werden jeweils 6 Freiheitsgrade berücksichtigt: Vertikalschwingung, Längsschwingung, Querschwingung, Vertikal-drehschwingung, Längsdrehschwingung und Querdrehschwingung.

Schwingungstechnik

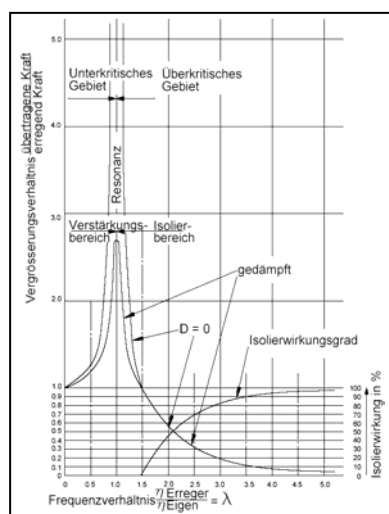


Die Technik der Schwingungsisolierung besteht darin, das störende Objekt (aktive Isolation) oder das zu schützende Objekt (passive Isolation) von der Umgebung zu trennen und durch Zwischenschaltung von Federn zu einem selbständigen, schwingungsfähigen System auszubilden.

Der Mechanismus der Entstörung besteht darin, dass durch entsprechende Frequenzabstimmung (Erregerfrequenz zu Eigenfrequenz) die zyklischen Bewegungen des Systems nicht mehr synchron zur Störung erfolgen, sondern sich in Gegenphase zu ihr befinden.

Wenn also eine nach unten gerichtete Erregerkraft ihren Höchstwert erreicht hat, befindet sich das schwingende Objekt in der obersten Stellung, das heisst, es bewegt sich entgegen der Erregerkraft. Eine wirkungsvolle Isolierung von Schwingungen wird somit durch ein hohes Frequenzverhältnis erreicht.

Isolierungswirkungsgrad



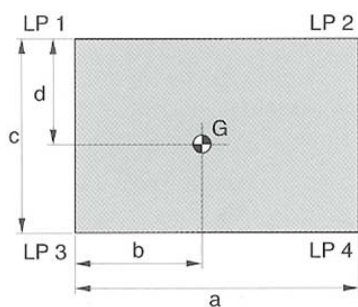
Wird nun ein zu isolierendes Objekt künstlich vom Untergrund getrennt, so ist die Eigenfrequenz der elastischen Lagerung auf Werte zu bringen, die um den Faktor $\sqrt{2}$ tiefer liegen (Beginn des Isolierbereichs) als die Erregerfrequenz. Dieses Frequenzverhältnis bewirkt, dass die Trägheitskraft des elastisch gelagerten Systems der erregenden Kraft phasenverschoben entgegenwirkt. Die so eintretende Isolierungswirkung wird als Isolierungswirkungsgrad bezeichnet.

Prinzipiell sind bei der Auslegung einer elastischen Lagerung Werte der Eigenfrequenz zu wählen, die ausserhalb des **Resonanzfeldes** liegen. Überall dort, wo eine Übereinstimmung zwischen Erregerfrequenz und Eigenfrequenz zutrifft, ist mit einer unliebsamen Aufschaukelung zu rechnen.

Eine grosse **Dämpfung** ist ein hinderlicher Einfluss, indem sie die Isolationswirkung herabsetzt. Eine gewisse Dämpfung ist jedoch erwünscht um Aufschaukelungen im Resonanzgebiet zu mindern oder rasches Ausschwingen bei Stössen zu bewirken.

Berechnung

Lagerlastverteilung



$$LP 1 = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \left(1 - \frac{d}{c}\right) \cdot G$$

$$LP 2 = \frac{b}{a} \cdot \left(1 - \frac{d}{c}\right) \cdot G$$

$$LP 3 = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \frac{d}{c} \cdot G$$

$$LP 4 = \frac{b}{a} \cdot \frac{d}{c} \cdot G$$

Elastische Lagerung

Kunde

Muster

Objekt

Hr. Mustermeier

Gewicht

Kompressor

Erregerschwingungszahlen

6'000 N

Motor

1'500 min⁻¹

Kompressor

1'000 min⁻¹

Anzahl Lager

4 Stk.

Belastung Lager gleichmässig

1'500 N

LP1 / LP2

LP3 / LP4

Gewünschter Isoliergrad

> 80 %

Besonderes

Keine freien Massenkräfte

Artikellösung

Rundlager Typ A

Erforderliche stat. Einfederung

5 mm

Erforderliche Artikel

Ø70 x 45 hoch, 43 Sh A

Zusammenhang zwischen Erregerfrequenz, statischer Einfederung und Isolationsgrad

Erregerfrequenz [min⁻¹]

