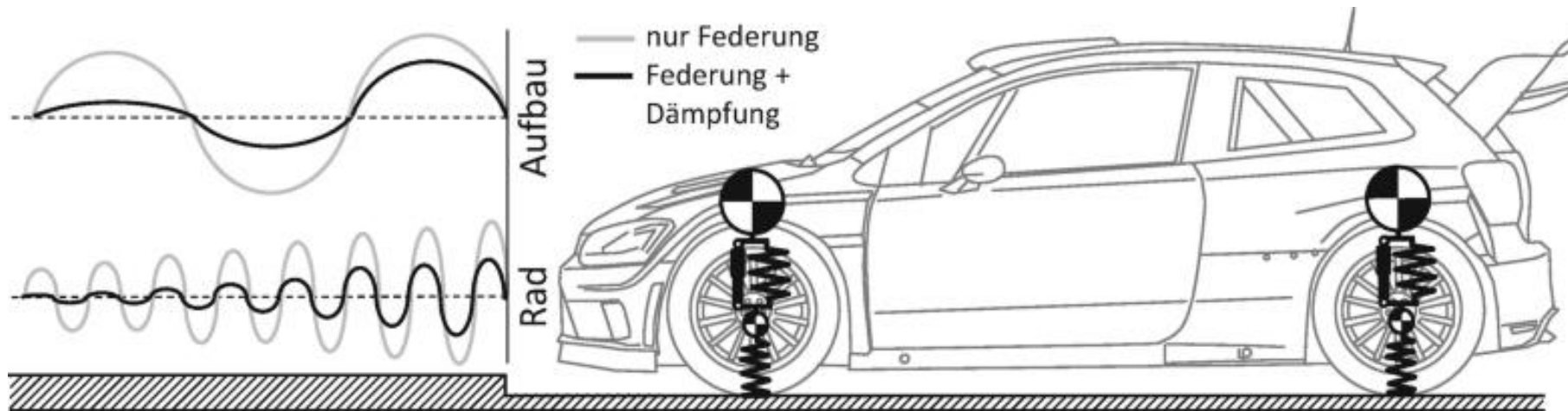


Vorlesung: Fahrzeugkonzepte und Labor

Teil 3 - Federung und Dämpfung



Dieter Scharpe

12.November 2021

Federung und Dämpfung

Agenda

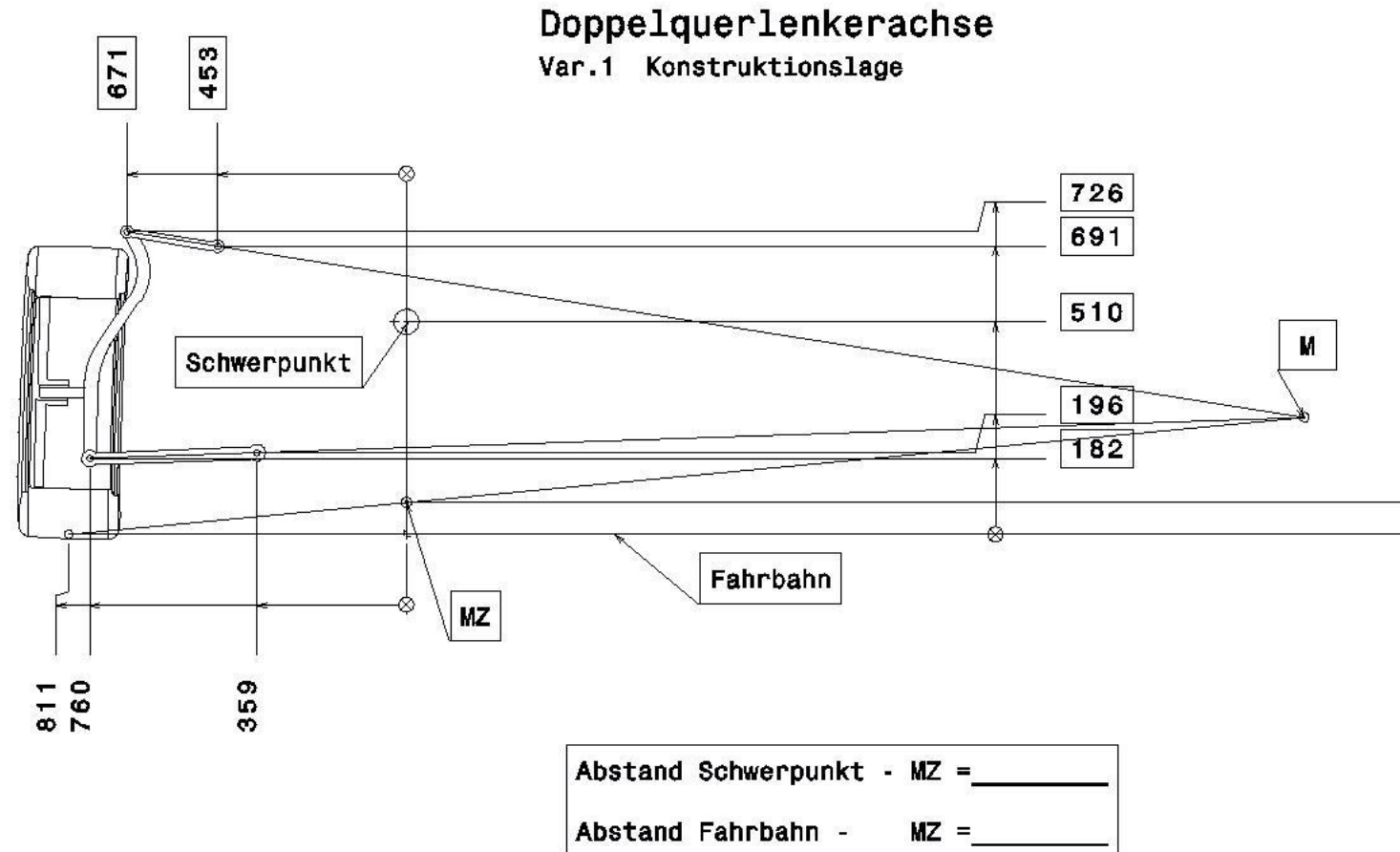
- Fahrwerksgrundlagen
- Reifen / Räder
- Lenkung / Querdynamik
- Radaufhängung
- Achskonzepte
- Lösung der Zeichnerischen Ermittlung Mz
- **Federung und Dämpfung**
 - Aufgaben von Federung und Dämpfung
 - Federungssysteme
 - Aufgaben von Dämpfung
 - Dämpfungssysteme
- Auswirkung auf die Fahrzeugeigenschaften



Aufgabe: Zeichnerische Bestimmung des Momentan Zentrum einer Achse

<https://www.geogebra.org/download>

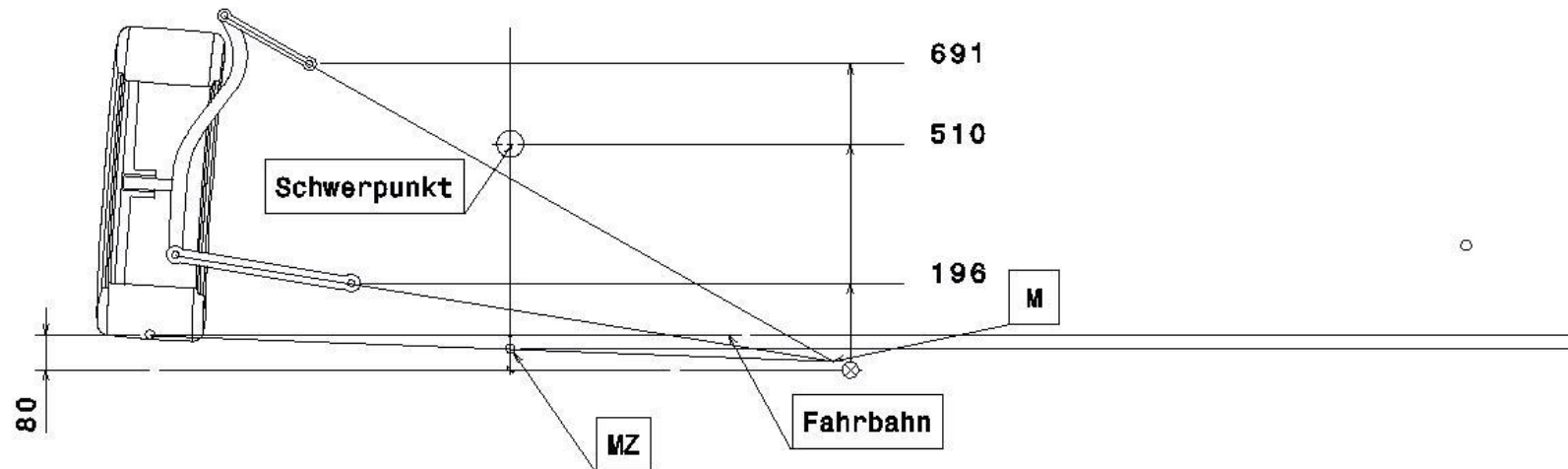
Aufgabe: Ermittlung des Momentan Zentrum Var. 1



Aufgabe: Ermittlung des Momentan Zentrums Var. 1

Doppelquerlenkerachse

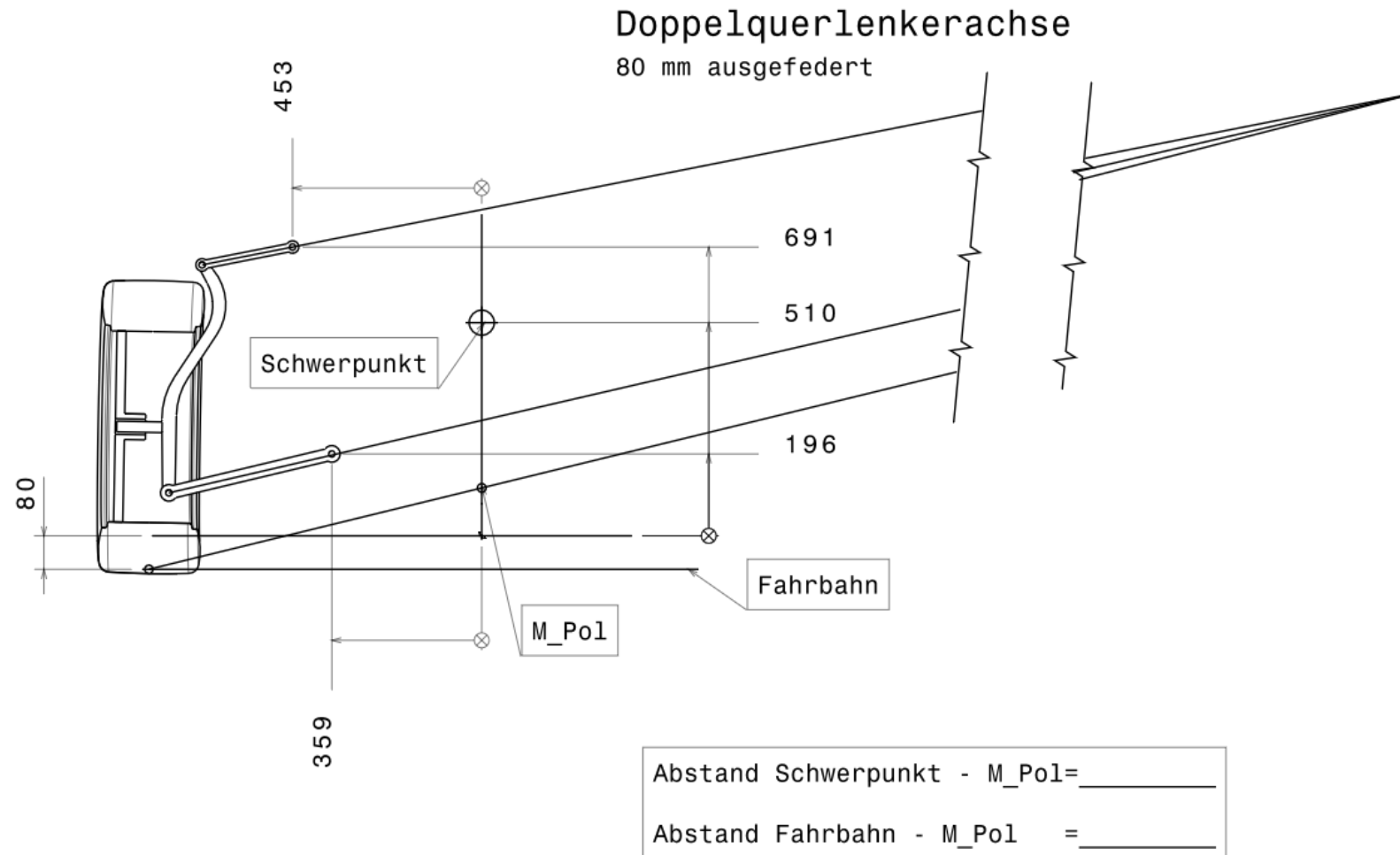
Var. 1 80 mm eingefedert



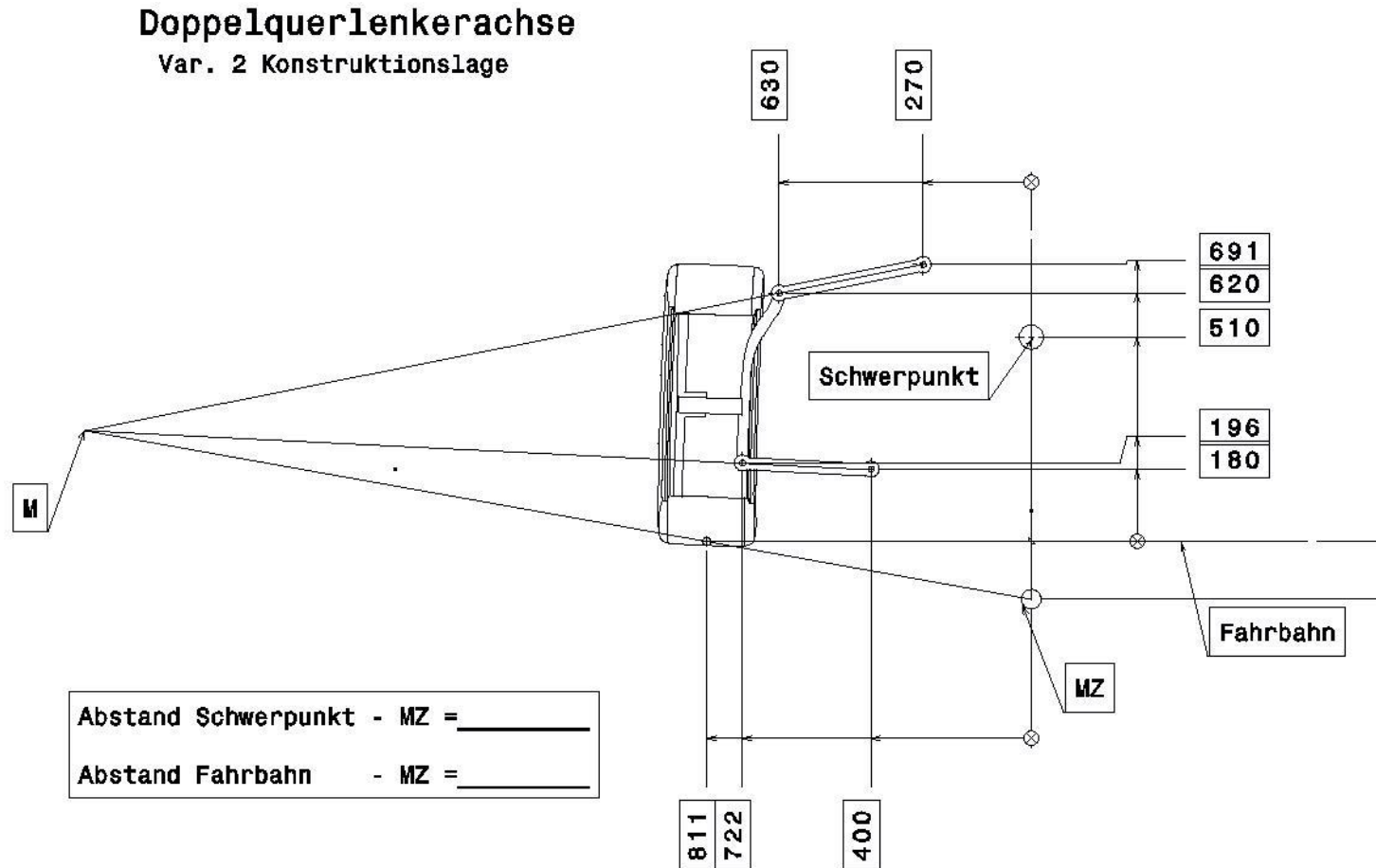
Abstand Schwerpunkt - MZ = _____

Abstand Fahrbahn - MZ = _____

Aufgabe: Ermittlung Momentan Zentrum Var. 1

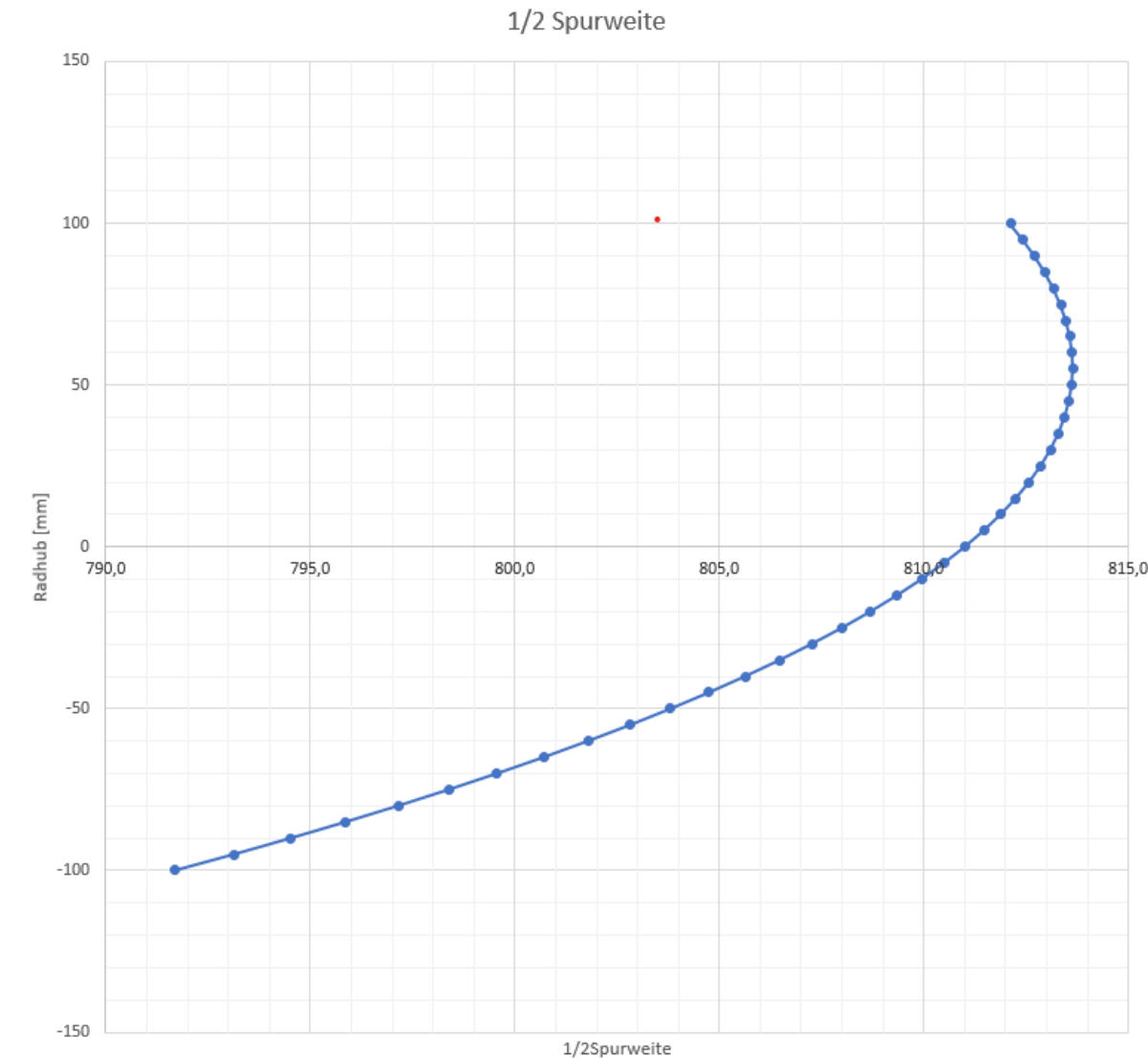


Aufgabe: Ermittlung des Momentan Zentrum Var. 2



Spurweitenänderungskurve Var. 1

Radhub [mm]	1/2Spurweite	Abstand zu Fahrbahn	Abstand zu SWP			
-100	791,7					
-95	793,1	224,9	380,1			
-90	794,5	217,0	383,0			
-85	795,9	209,1	385,9			
-80	797,1	201,2	388,8			
-75	798,4	193,4	391,6			
-70	799,6	185,6	394,4			
-65	800,7	177,7	397,3			
-60	801,8	169,9	400,1	Ausfedern		
-55	802,8	162,2	402,8			
-50	803,8	154,3	405,7			
-45	804,7	146,6	408,4			
-40	805,6	139,0	411,0			
-35	806,5	131,2	413,8			
-30	807,3	123,6	416,4			
-25	808,0	116,0	419,0			
-20	808,7	108,4	421,6			
-15	809,3	100,9	424,1			
-10	809,9	93,5	426,5			
-5	810,5	86,0	429,0			
0	811,0	78,6	431,4			
5	811,5	71,2	433,8			
10	811,9	64,0	436,0			
15	812,3	56,7	438,3			
20	812,6	49,5	440,5			
25	812,9	42,3	442,7			
30	813,1	35,3	444,7			
35	813,3	28,3	446,7			
40	813,4	21,3	448,7	Einfedern		
45	813,6	14,4	450,6			
50	813,6	7,6	452,4			
55	813,6	1,0	454,0			
60	813,6	-5,7	455,7			
65	813,6	-12,3	457,3			
70	813,5	-18,7	458,7			
75	813,3	-25,0	460,0			
80	813,2	-31,2	461,2			
85	813,0	-37,3	462,3			
90	812,7	-43,3	463,3			
95	812,4	-49,2	464,2			
100	812,1					

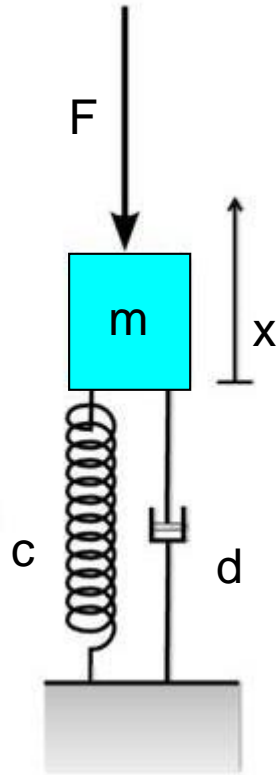


Lösungen

	Doppelquerlenkerachse Var.1			Doppelquerlenkerachse Var.2
	80mm eingefedert	Konstruktionslage	80mm ausgefedert	Konstruktionslage
Abstand Schwerpunkt MZ	461,3	431,4	389,1	654,8
Abstand Fahrbahn MZ	-31,3	78,6	200,9	-144,8



Feder-Masse-Dämpfer System



- Jedes Fahrzeug lässt sich vereinfacht als Feder-Masse-Dämpfer-System darstellen
- Das System wird durch folgende Gleichung bestimmt:
$$c * \dot{x} + d * \ddot{x} + m * \ddot{x} = 0$$
- Die veränderlichen Parameter sind dabei die Masse m , die Federsteifigkeit c und die Dämpferkonstante d .

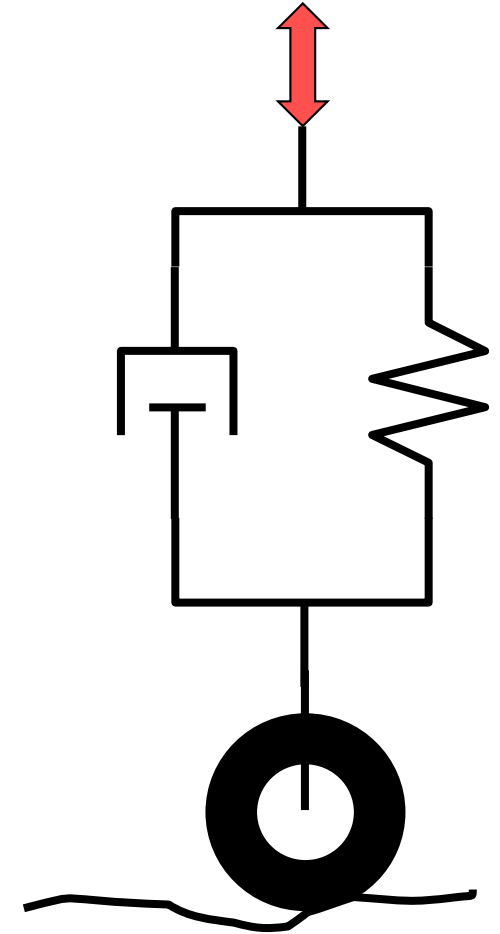
Aufgaben des Feder- Dämpfer-Systems

Die Federung und Dämpfung hat maßgeblichen Einfluss auf:

- die Fahrsicherheit (dyn. Radlastschwankungen)
- den Fahrkomfort (Beschleunigungen am Fahrzeug)
- die Beanspruchung von Fahrzeugbauteilen (Bauteilfestigkeit)
- Hierbei stehen Fahrsicherheit und Fahrkomfort im direkten Zielkonflikt zueinander.

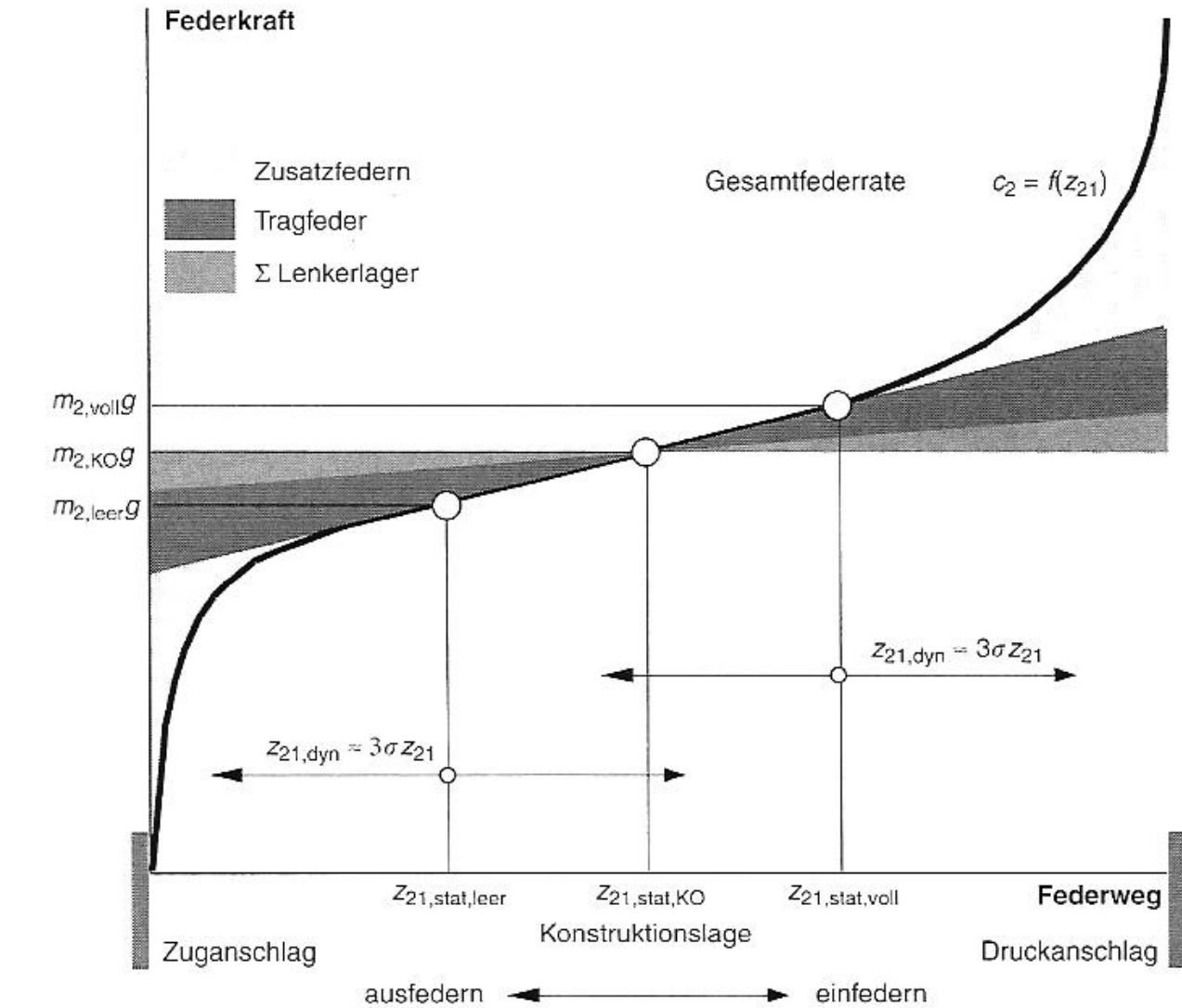
Die Anforderungen an Federung und Dämpfung eines Fahrzeuges sind insbesondere:

- niedrige Eigenfrequenz (1...2 Hz, Vertikalschwingung des Aufbaus) durch weiche Federung
- kleine ungefederte Massen
- gleiche Federungseigenschaften bei unterschiedlicher Beladung



Aufgaben von Federung und Dämpfung

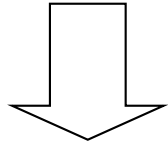
Federkennlinie



Aufgaben von Federung und Dämpfung

Aufgaben des Feder- Dämpfer-Systems

- möglichst **reibungsfreie** Federung (Ansprechverhalten, Komfort)
- **zusätzliche Dämpfung** notwendig (Radlastschwankungen minimieren)



- In Kraftfahrzeugen ist deshalb immer eine Kombination aus federnden und dämpfenden Funktionselementen vorhanden

Ausführungen von Federn:

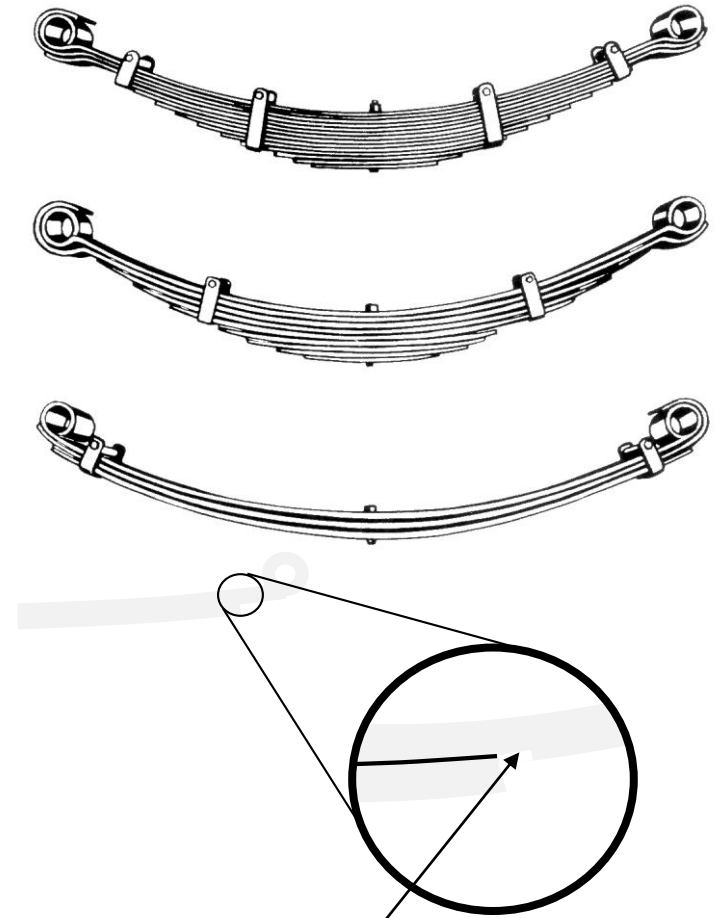
- Metallfedern
- Kunststofffedern (GFK, Elastomere)
- Luftfedern
- Hydropneumatische Federung

Federungssysteme

Varianten der Federung

Ausführungen geschichteter Blattfedern

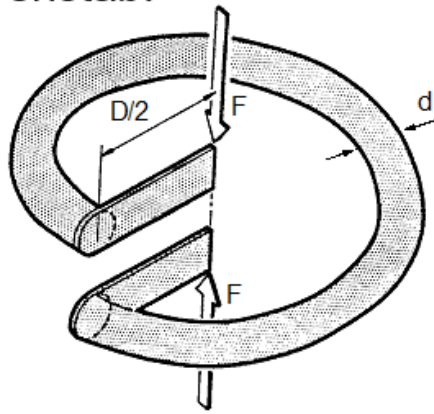
- Blattfedern eignen sich als Radführungselement zum Verbinden von Aufbau und Fahrwerk
- geschichtete (mehrlagige) Blattfedern besitzen eine Eigendämpfung aufgrund der Reibung zwischen den einzelnen Federlagen
- Blattfedern werden im Pkw-Bereich als Sonderlösung eingesetzt (Transporter, Geländewagen)
- Im Nfz-Bereich sind Blattfedern weit verbreitet



Grundlagen Fahrwerk

Schraubenfeder Theorie

Schraubenfeder ist im Prinzip aufgewickelter Dehstab:



Deshalb:
vertikale Federsteifigkeit:

$$c = \frac{1}{r^2} \cdot c_{\text{tor}} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{G \cdot \pi \cdot d^4}{32 \cdot l}$$

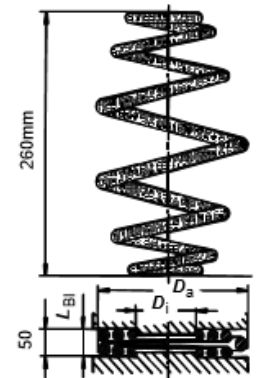
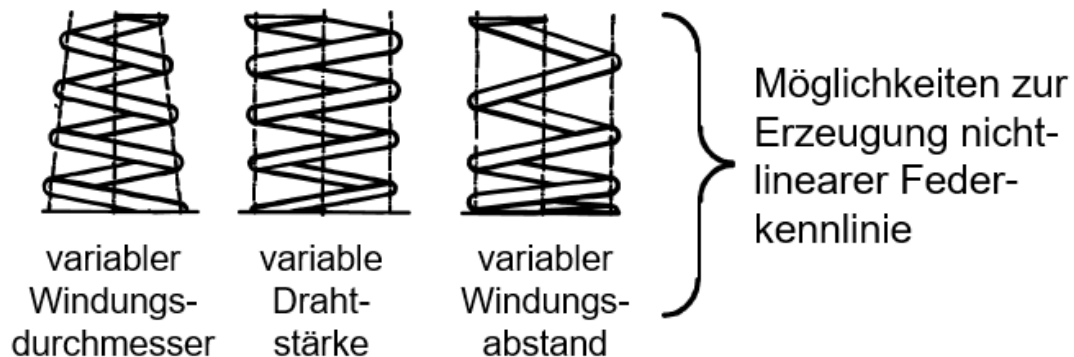
$$r = \frac{D}{2} \quad l = \text{Stablänge}$$

$$l = i \cdot \pi \cdot D \quad i = \text{Windungszahl}$$

$$\Rightarrow c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i \cdot D^3} \quad \text{linear !}$$

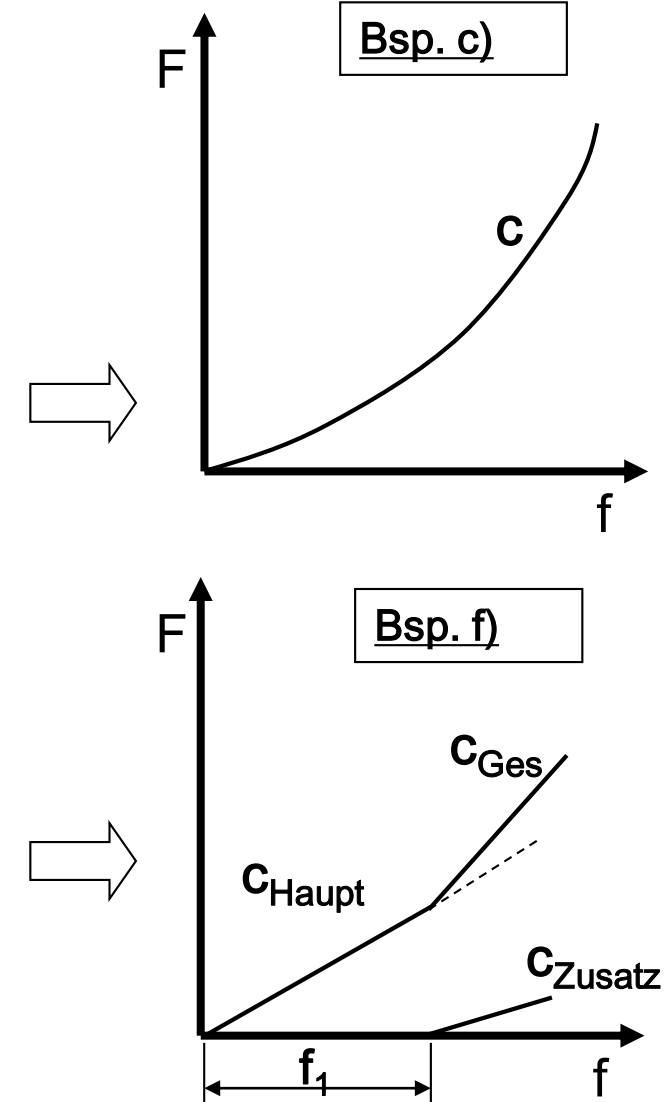
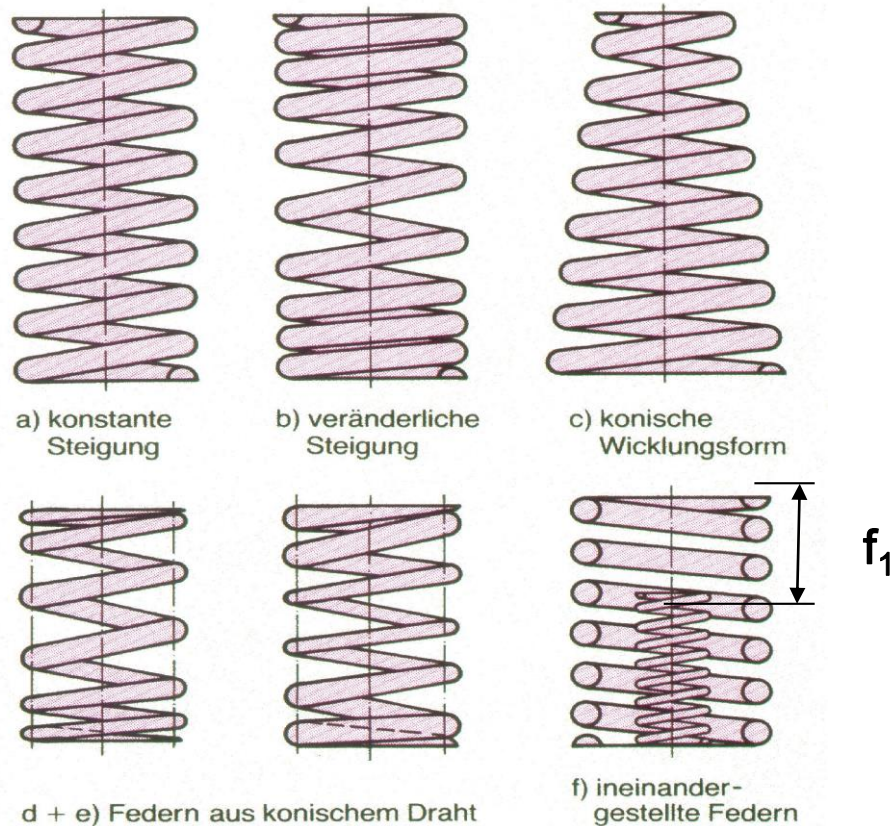
aus Kombination
von Maßnahmen

⇒ Miniblockfeder



Federungssysteme

Varianten der Federung – Progression bei Schraubenfedern



Federungssysteme

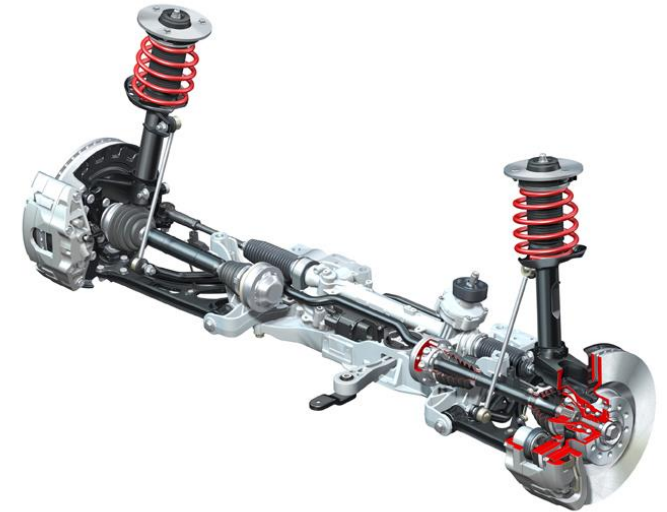
Varianten der Federung

Grundsätzliches:

- Eine Schraubenfeder entspricht im wesentlichen einer auf Torsion beanspruchten Drehstabfeder (in gewickelter Form). Die Beanspruchung auf Biegung ist vernachlässigbar gering. Demzufolge ist das Arbeitsaufnahmevermögen sehr günstig (Leichtbau).

weitere Merkmale:

- keine Rad- und Achsführungseigenschaften
- bei **Druckbeanspruchung** sind Schraubenfedern grundsätzlich gegen **Ausknicken** auszulegen bzw. zu führen



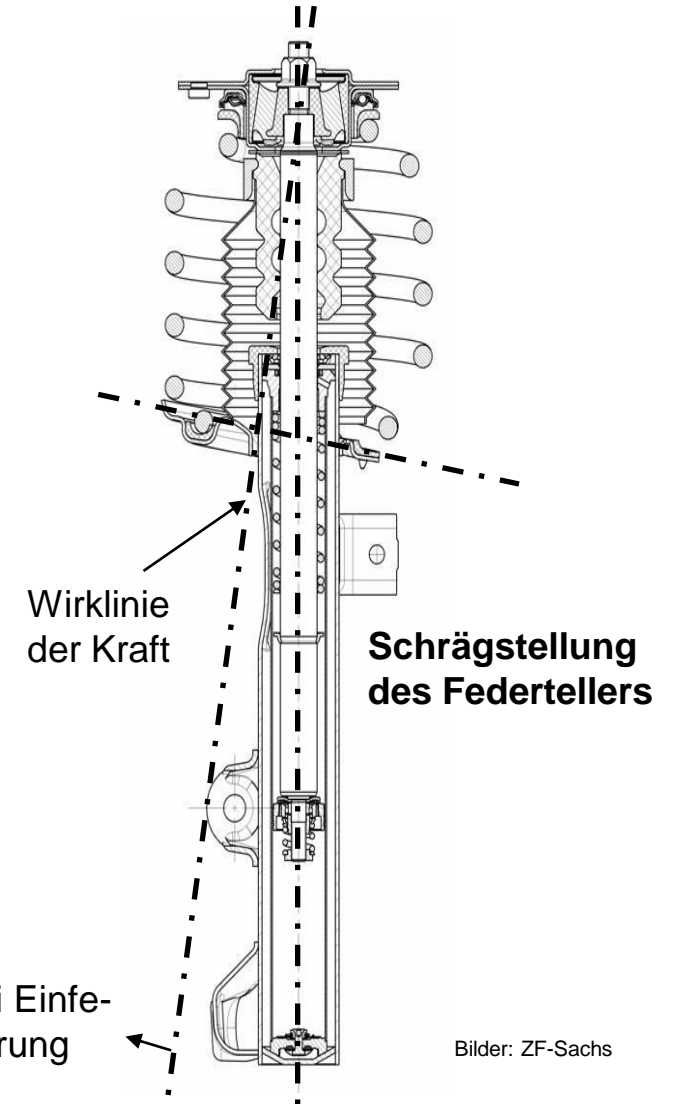
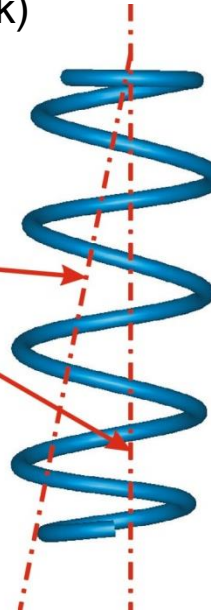
Federungssysteme

Varianten der Federung

- **Beeinflussung der Wirklinien von Schraubenfedern** durch Schrägstellung/Versatz der Federteller oder Deaxierung der Feder
- veränderliche Wirkungslinie beim Ein-/Ausfedern
- positive Beeinflussung der Querkraft am Stoßdämpfer
- Änderung der wirksamen Übersetzung (Hebelverhältnisse)
- evtl. gezielte Veränderung der Radstellungsgrößen (Elastokinetik)

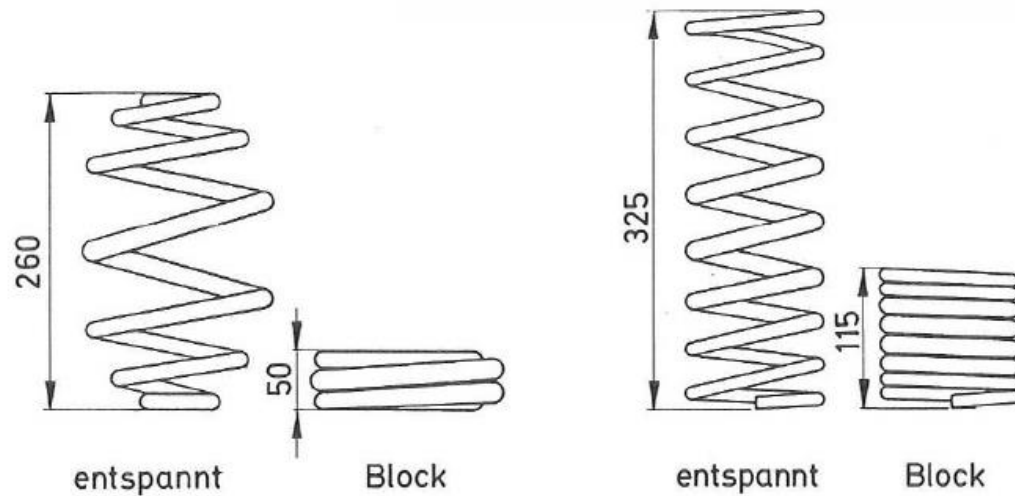
Deaxierte Feder

Wirklinie der Kraft
Dämpfer-
achse



Aufgaben von Federung und Dämpfung

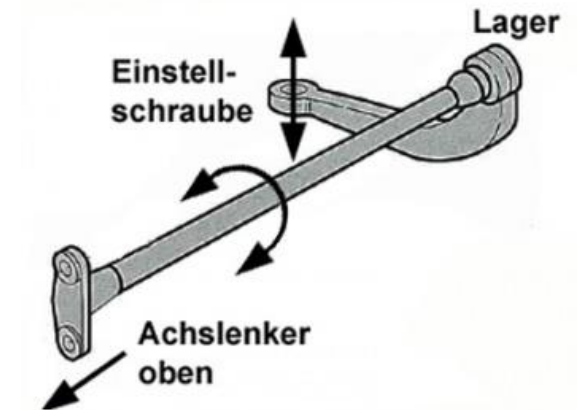
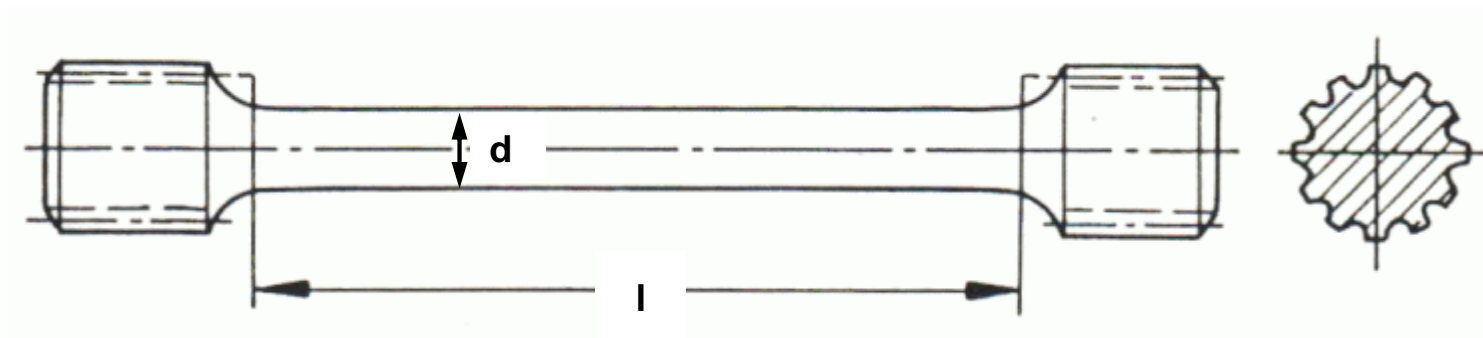
Schraubenfedern - Blockmaß



Federungssysteme

Varianten der Federung

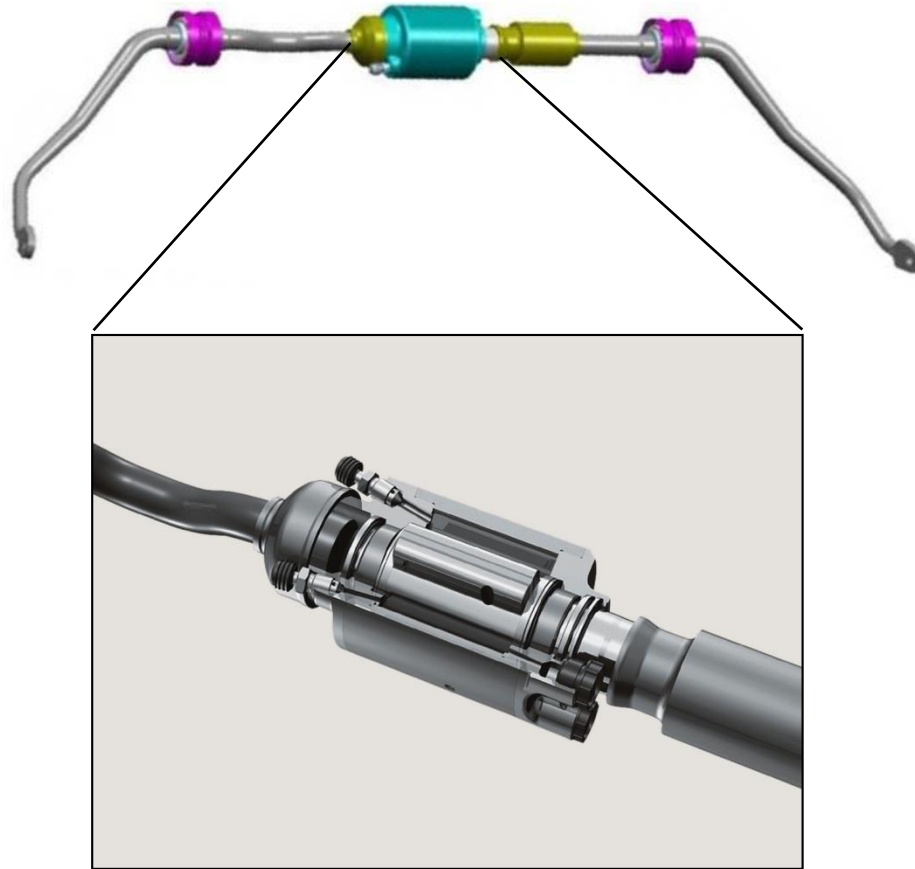
- Einsatz in Pkw und Leicht-Lkw (geringer Bauraum)
- einseitige Einspannung karosserieseitig
- Erzeugung des Verdrehmomentes durch einen Fahrwerkslenker als Verdrehhebel (Kurbel) mit resultierender Hubbewegung
- Lenker sind Elemente der Rad- bzw. Achsaufhängung



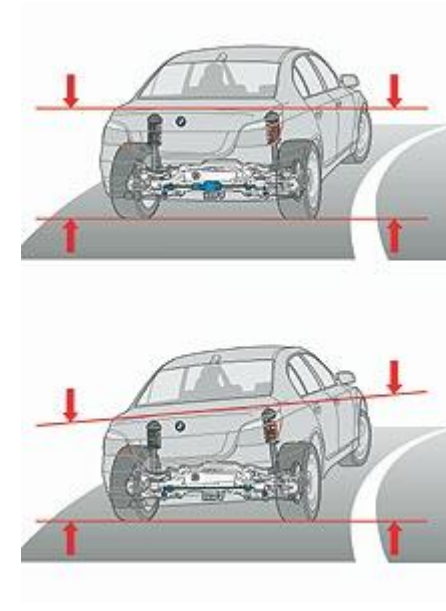
Federungssysteme

Varianten der Federung

Aktive Stabilisatoren

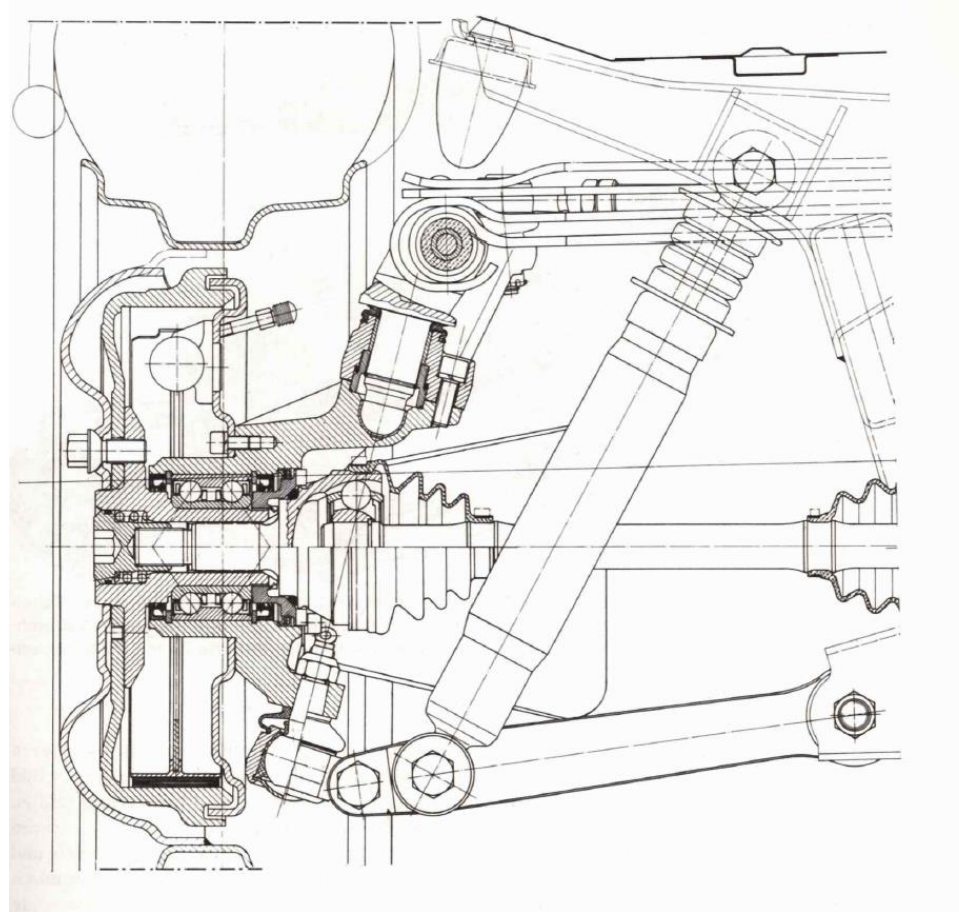


BMW ARS-System



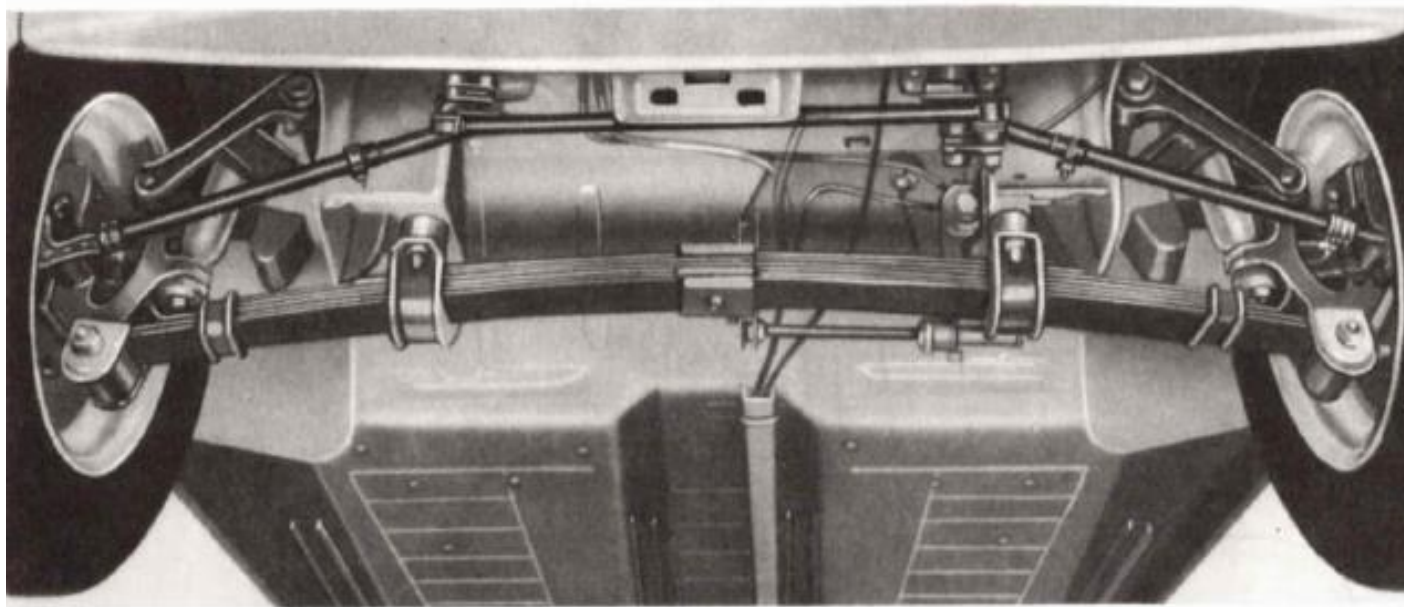
Querliegende Blattfeder

Fiat 132



Querliegende Blattfeder

Fiat 850



Federungssysteme

Varianten der Federung

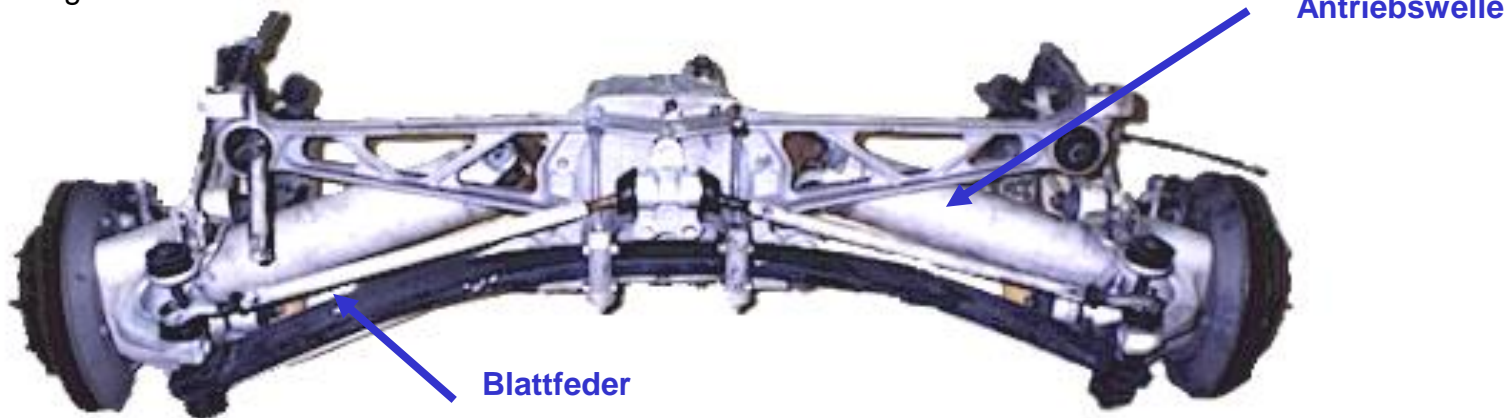
- Glaserfaserverstärkter Kunststoff (GFK)
- Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK)
- Aramidfaserverstärkter Kunststoff (Kevlar)

Vorteile:

- Beanspruchungsgerechte Gestaltung (Geometrie) ist z.T. einfacher möglich als bei metallischen Werkstoffen (z.B. Parabelfeder)
- geringe Masse
- gute Steifigkeit und Festigkeit



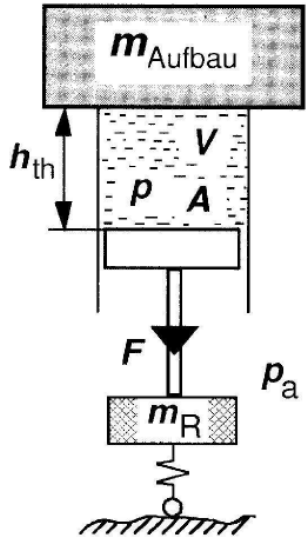
Quelle: ZF



Hinterachse Corvette mit einlagiger Blattfeder aus Faserverbundwerkstoff

Aufgaben von Federung und Dämpfung

Gasfeder



theoretische Federlänge $h_{th} = \frac{V}{A}$

Federsteifigkeit

$$c(f) = A \cdot n \cdot p(f) \cdot \frac{1}{h_{th}}; h_{th} = \frac{V(f)}{A}$$

mit

f = Federweg

n = Polytropenexponent

Federungssysteme

Varianten der Federung

Prinzipien: Metall- u. Elastomerfedern → Formänderungsenergie

Luftfedern

→ Kompression/Volumenänderungsenergie
des gasförmigen Mediums

Historie:

- erste Patente 1847 (USA), 1900 (D)
- Serieneinführung: 1953 (USA), 1957 (D), 1960 (Borgward), 1964 (MB W100)

Vorteile:

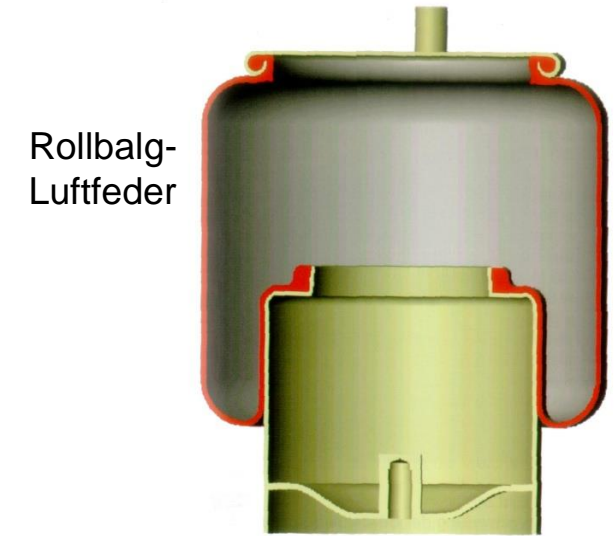
- niedrige, fast konstante Eigenfrequenz
- gute Annäherung an ideale Federkennlinie
- schnelles Ansprechen durch geringe Eigenreibung
- Niveauregulierung möglich
- hohe Lebensdauer

Nachteile:

- keine Rad- u. Achsführungseigenschaften
- aufwändige Konstruktion

Haupteinsatzgebiete:

- Lkw, Bus
- schwere Pkw



Bilder: Continental



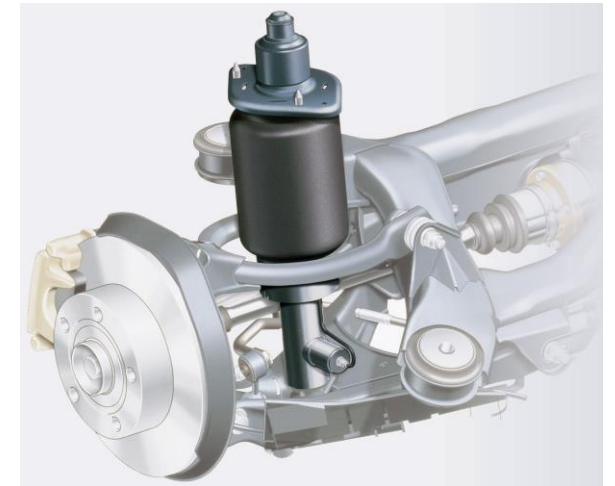
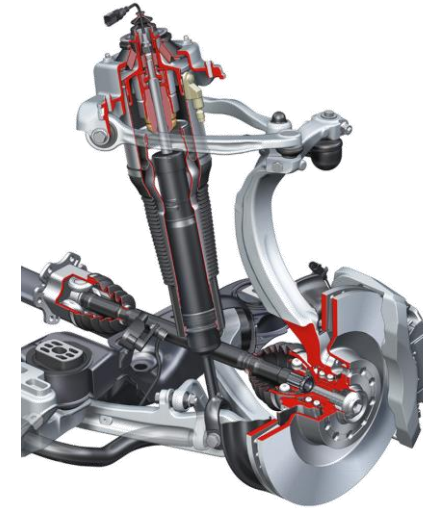
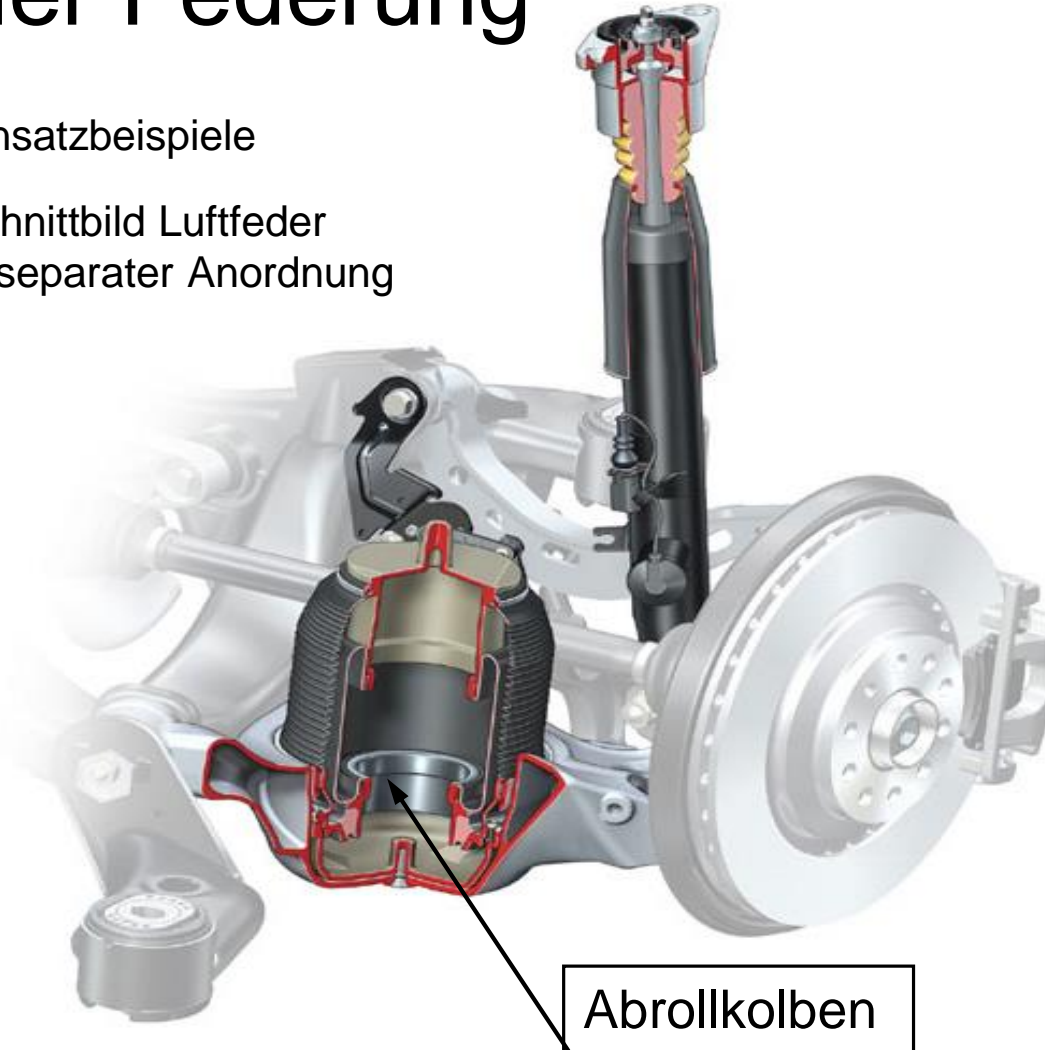
Faltenbalg-
Luftfeder

Federungssysteme

Varianten der Federung

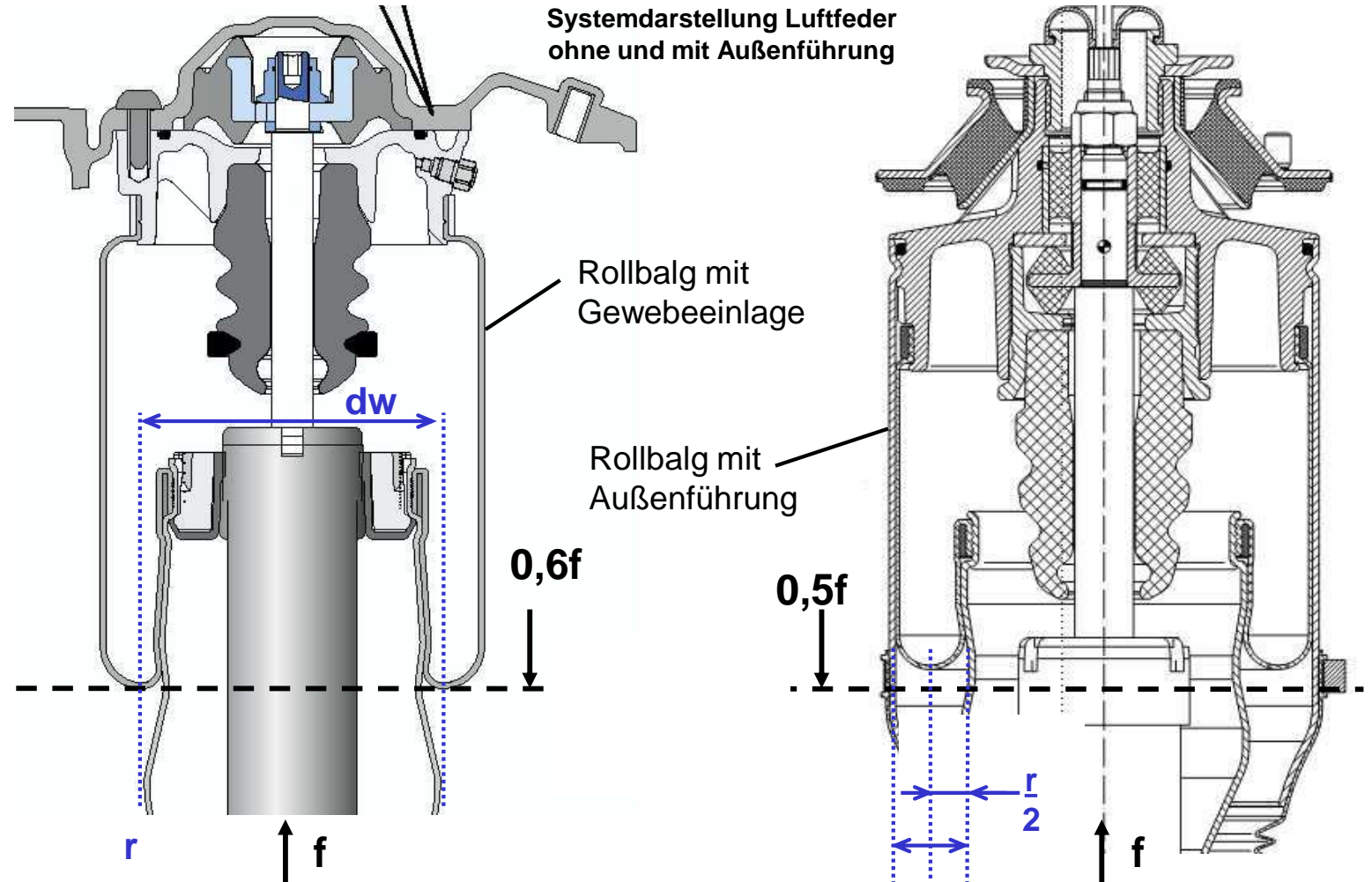
Einsatzbeispiele

Schnittbild Luftfeder
in separater Anordnung



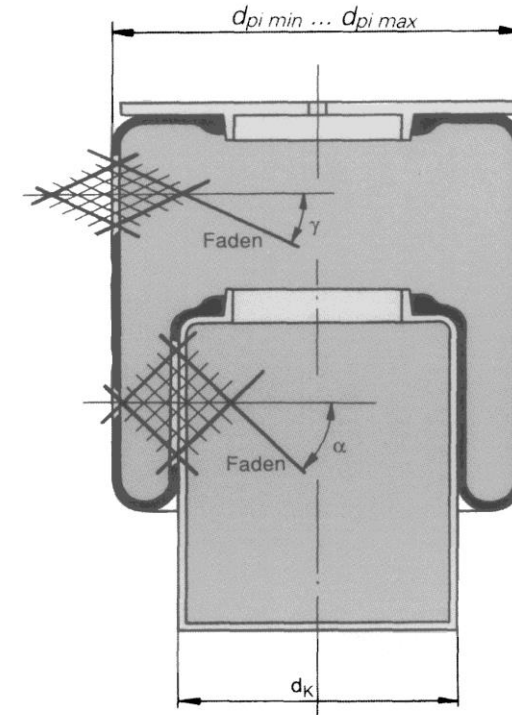
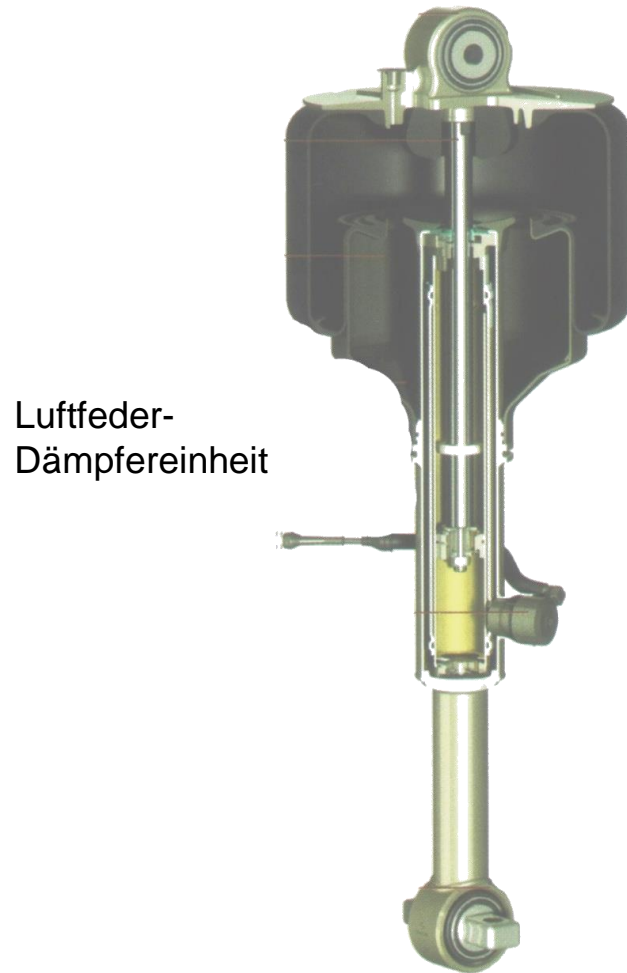
Federungssysteme

Varianten der Federung



Federungssysteme

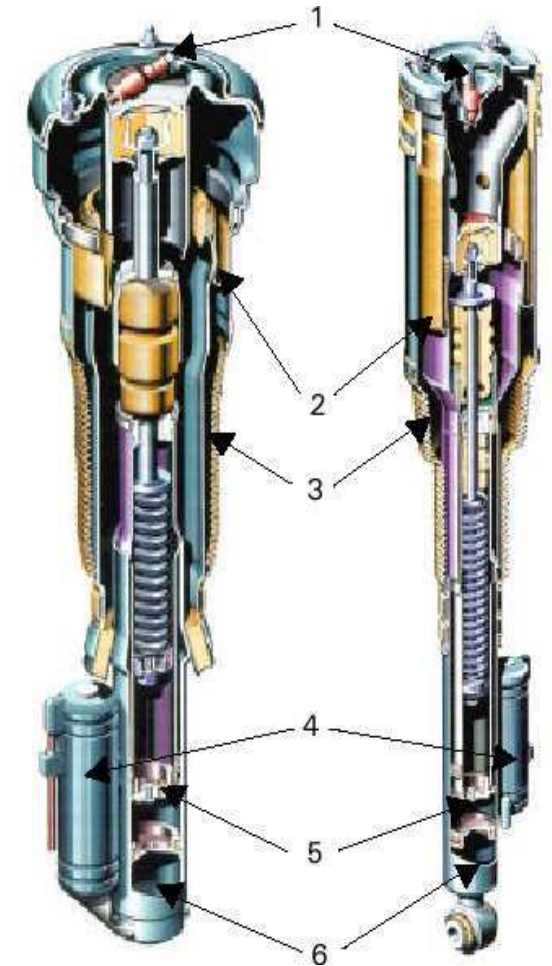
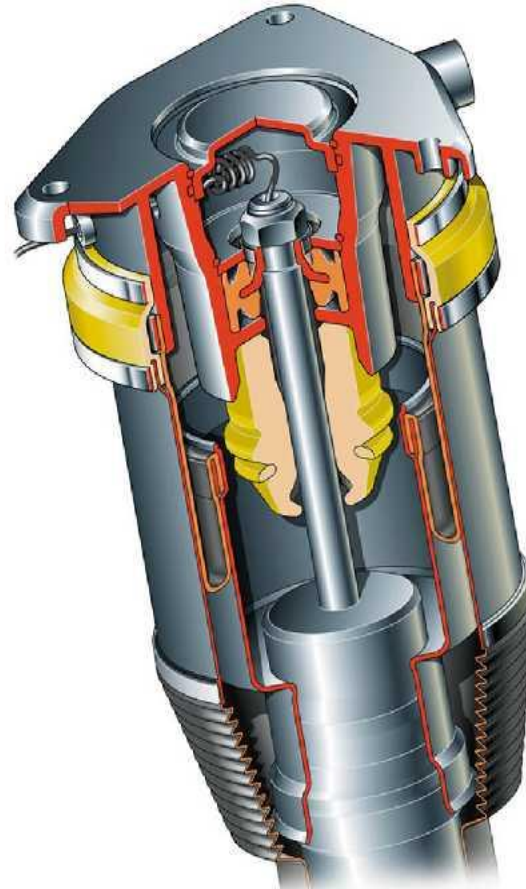
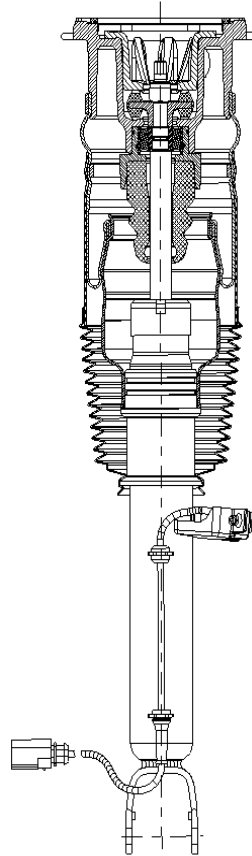
Varianten der Federung



Das Ansprechverhalten der Rollbalg-Luftfeder wird wesentlich durch die Orientierung des Rollbalg-Fadenwinkels bestimmt.

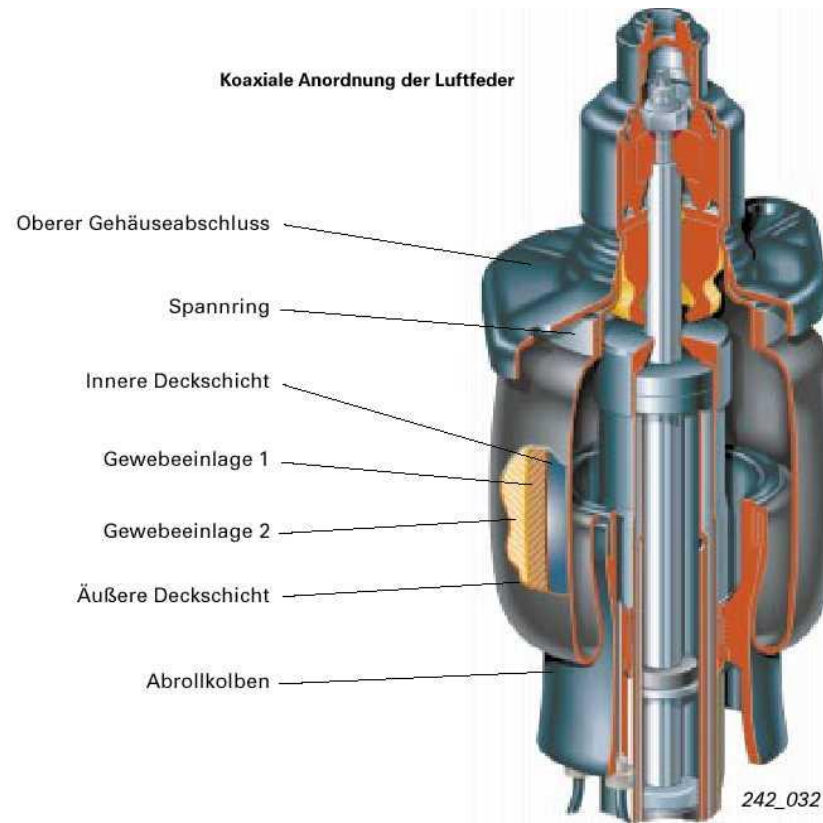
Ausführungen von Luftfedersystemen

Hinterachsluftfedern

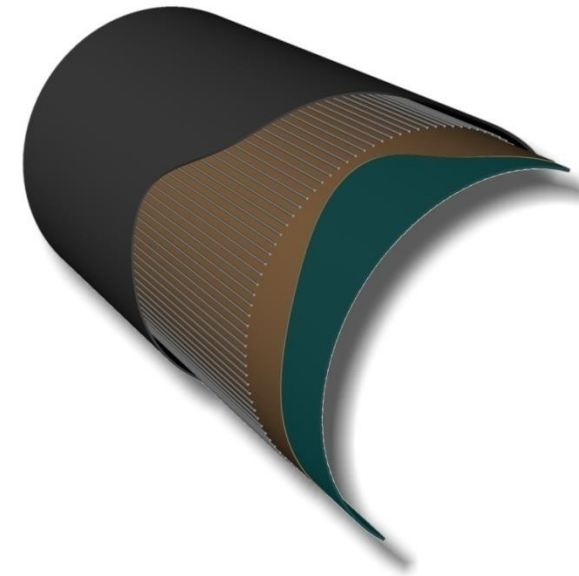


Federungssysteme

Schnittbild Luftfederbein ohne Außenführung



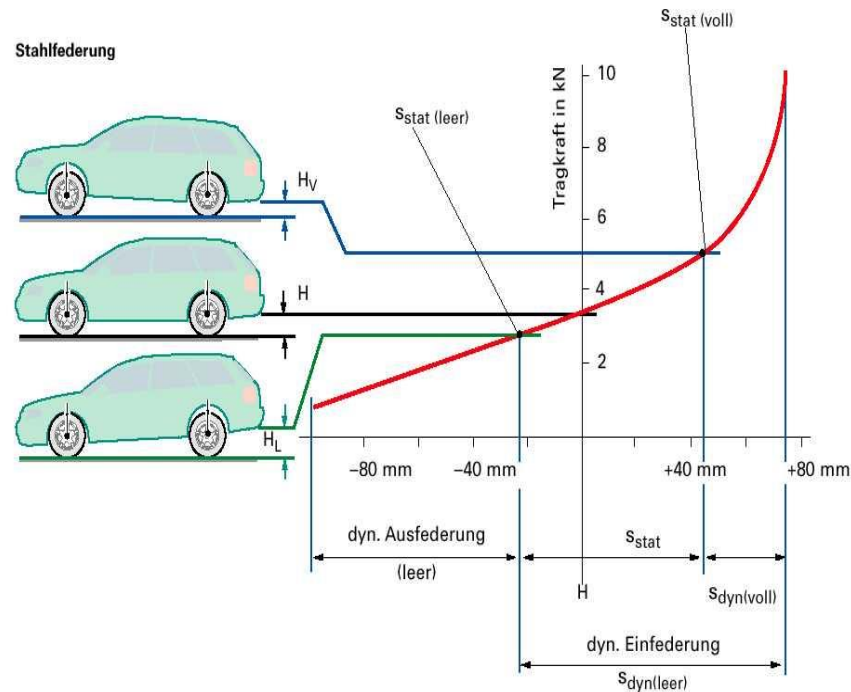
Luftschlauch mit Längsgewebe
für System mit Außenführung



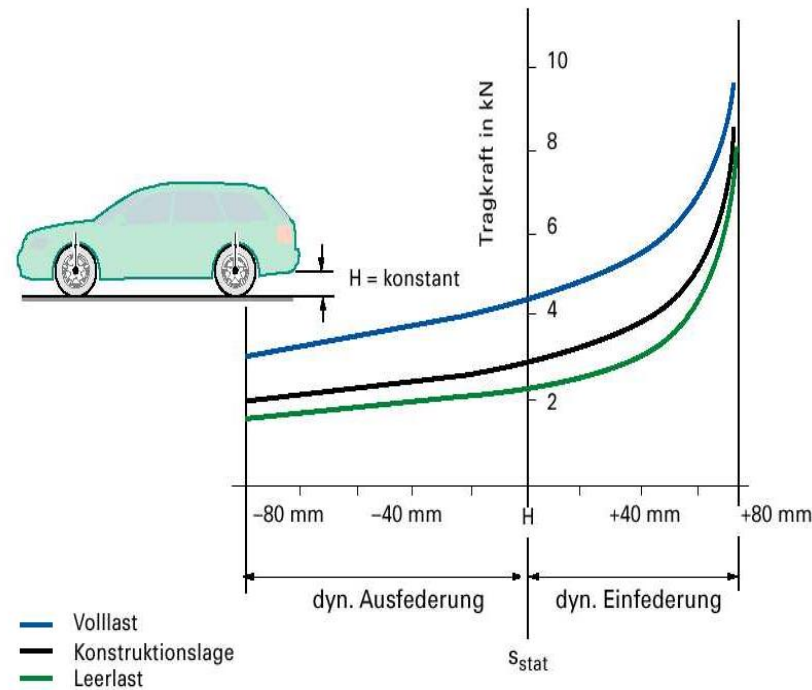
Federungssysteme

Federwege u. Höhenstand ohne und mit Niveauregulierung

Stahlfeder (progressiv)



Luftfeder



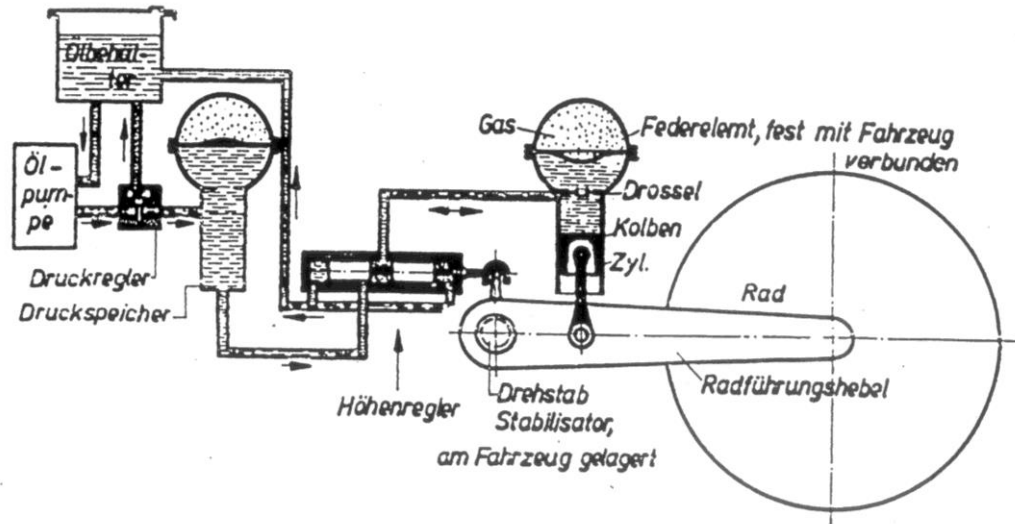
Federungssysteme

Varianten der Federung

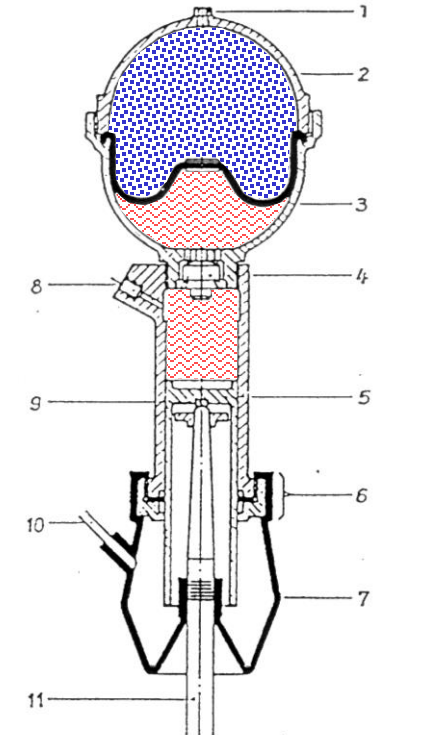
	Stahlfeder	Luftfeder mit Niveauregulierung
Fahrkomfort	veränderlich $\omega \sim \frac{c}{F}$	Nahezu konstant $\omega \sim \frac{p}{p_{\ddot{U}}}$
Gesamtfederweg	$f_{ges} = f_{stat} + f_{dyn}$	Luftfeder kann weicher ausgelegt werden $f_{ges} = f_{dyn}$
Niveaulage	Abhängig vom Beladungszustand	Konst.
Raumbedarf	Bei modernen Schraubenfedern sehr gering (Miniblockfeder)	i.A. deutlich größer (Summe aller Bauelemente)

Federungssysteme

Hydropneumatische Federung



- Bekannte Anwendung bei Citroën
- Zusammenwirken einer Gasfeder (N_2) und einer Hydraulikeinheit
- Durch Anpassung des hydr. Volumens erfolgt eine Niveauregulierung ($m_{\text{Gas}} = \text{konst.}$)
- Dämpfung erfolgt in einem Ventil zwischen Kugelvolumen und Hydraulikzylinder



Gas

Öl

- 1 Gas-Einfüllöffnung
- 2 Stickstofffüllung
- 3 Membrane
- 4 Stoßdämpfer
- 5 Kolben
- 6 Dichtsystem

- 7 Dichtmanschette
- 8 Zuleitung für Drucköl
- 9 Druckstück für Stoßelabstützung
- 10 Rücklauf
- 11 Stößel

Federungssysteme

Varianten der Federung



Allgemein

Einsatz von Elastomerfedern nur in untergeordneten Fällen als lasttragende Elemente (meist als Zusatzfedern)

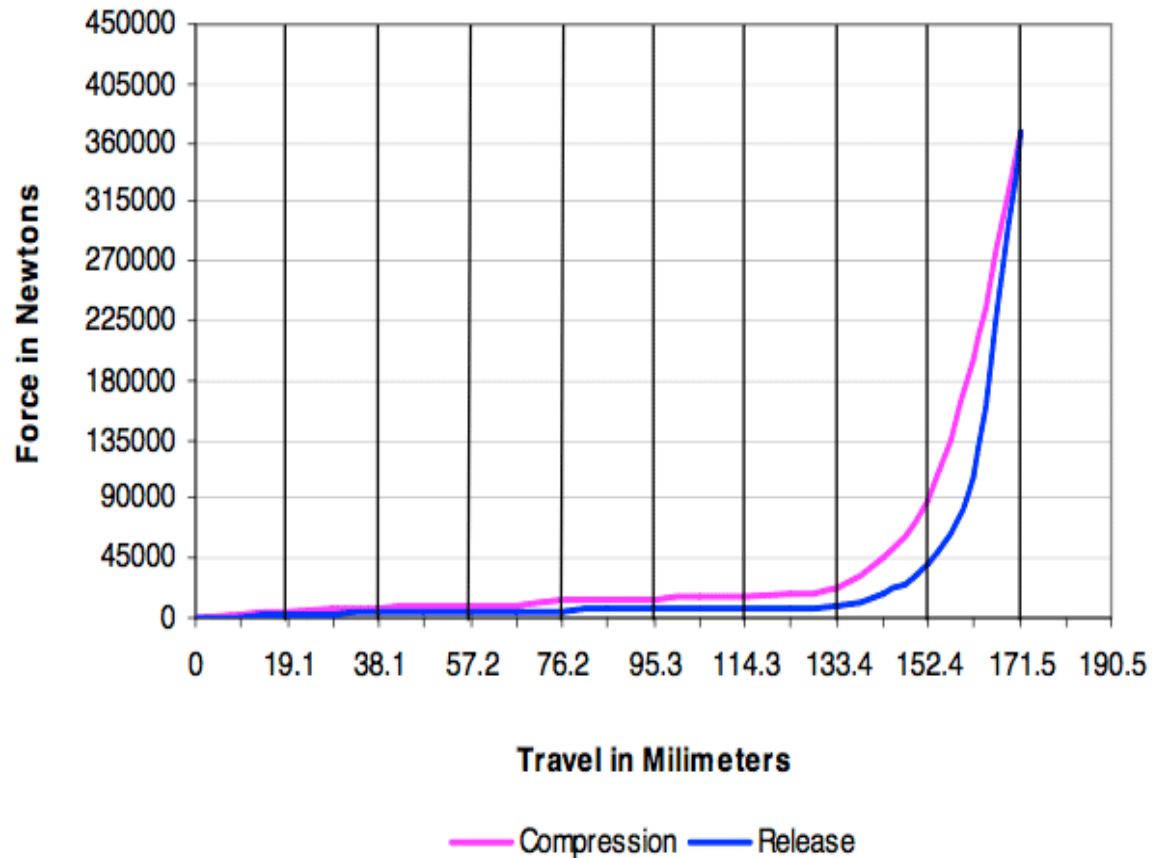
Gründe:

- Gummi kriecht (Setzverhalten bei langer Vorlast)
- Hysterese frequenzabhängig (hohe Frequenz = hohe unerwünschte Dämpfung)
- Eigenschaften stark temperaturabhängig

Materialien

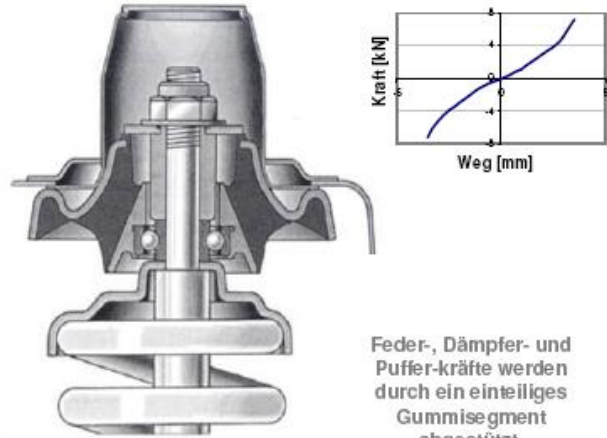
- Gummi (Naturkautschuk)
 - EPDM (-50...120°C)
 - NR (-60...80°C)
 - SBR (-50...100°C)
 - Thermoplastische Polyurethane - TPU
 - Thermoplastische Polyester - TPE
 - Thermoplastische Olefine - TPO
 - Polyurethanelastomere - PUR (-25...80°C)
- } 60...120°C

Der Einferrungsbegrenzer – eine Zusatzfeder



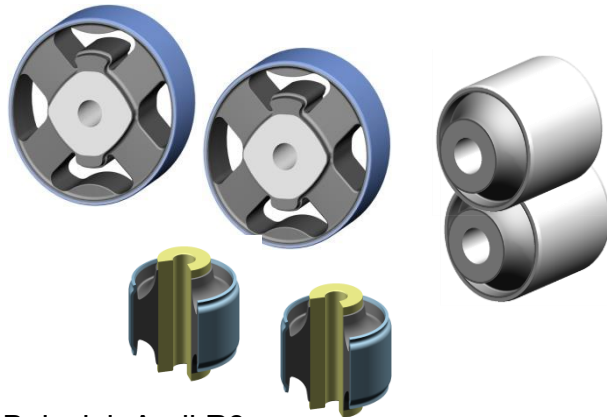
Federungssysteme

Varianten der Federung

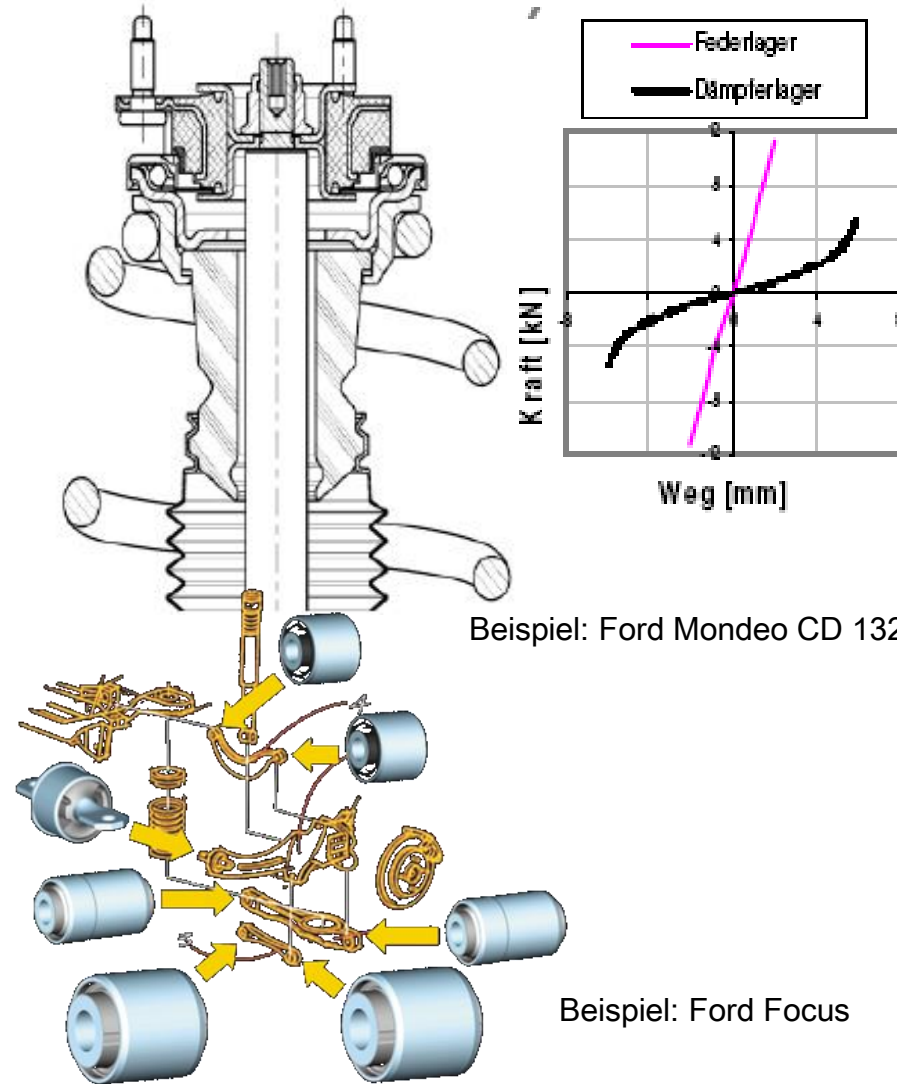


Feder-, Dämpfer- und Pufferkräfte werden durch ein einteiliges Gummisegment abgestützt.

Beispiel: Fiat Punto /Bravo / Brava Y10



Beispiel: Audi R8

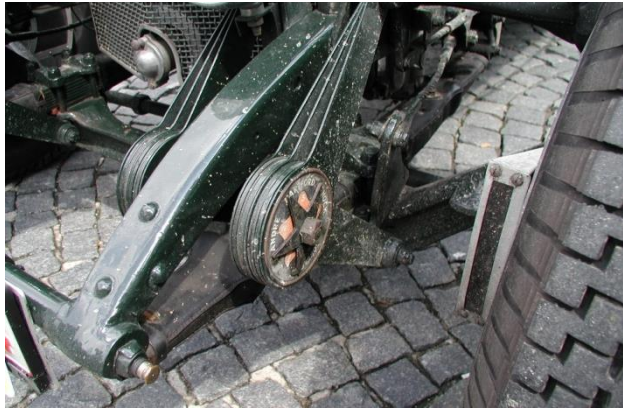


Beispiel: Ford Mondeo CD 132

Beispiel: Ford Focus

Die Aufgaben des Stoßdämpfers

Historischer Rückblick – Dämpferbauarten



Mechanischer
Reibungsdämpfer



Mechanischer Band-Stoßdämpfer (1926)



Hydraulischer Hebel-
Stoßdämpfer (1930)

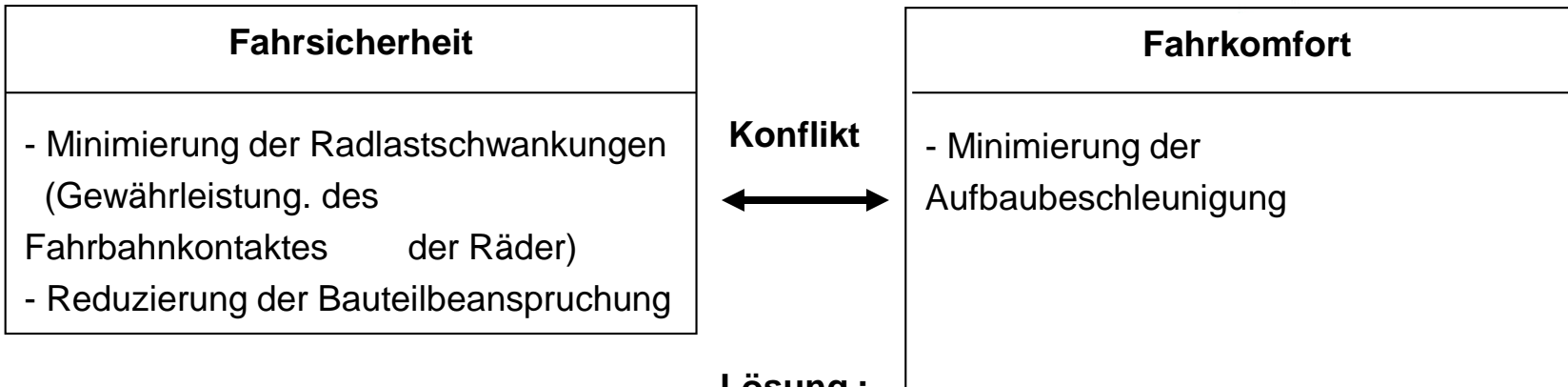
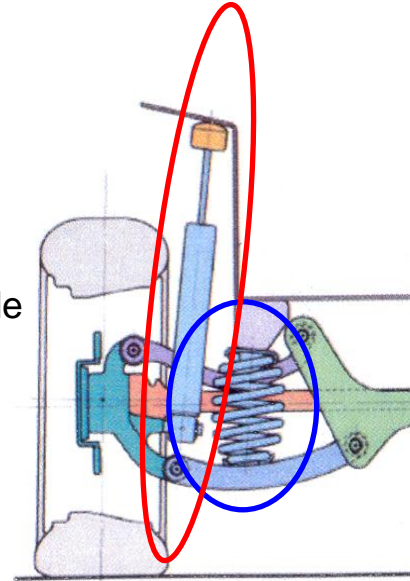
Aufgaben der Dämpfung

Stoßdämpfer (shock absorber) = Schwingungsdämpfer

Federung: - nimmt kinetische Energie auf und gibt diese wieder ab
- ergibt Radlastschwankungen mit gleichbleibender Amplitude
- Beeinträchtigung der Fahrsicherheit!

Dämpfung:

**Bedämpfung der auftretenden Schwingungsamplituden
führt zum schnellen Abklingen der Vertikalbewegung**



Lösung :

Kompromiss bei der Dämpfungsauslegung im Hinblick auf den Einsatzzweck des Fahrzeuges
(komfortorientierte Limousine – sportlich orientiertes Fahrzeug – Rennfahrzeug)

Dämpfungssysteme

Varianten der Dämpfung

Mechanisch

- basierend auf Coulomb'scher Reibung
- ausgeführt als reibungsbehaftete Parabelfedern bzw. Hebel- oder Mehrscheibendämpfer
- schwierige Abstimmung auf komplexe Anforderungen
- bis in die 30er Jahre Standard, heute kaum noch genutzt als Fahrzeugdämpfung

Pneumatisch

- basierend auf Strömungswiderstand eines gasförmigen Mediums
- geringes Dämpfungsvermögen bei kleinen Amplituden
- selten genutzt als Fahrzeugdämpfung

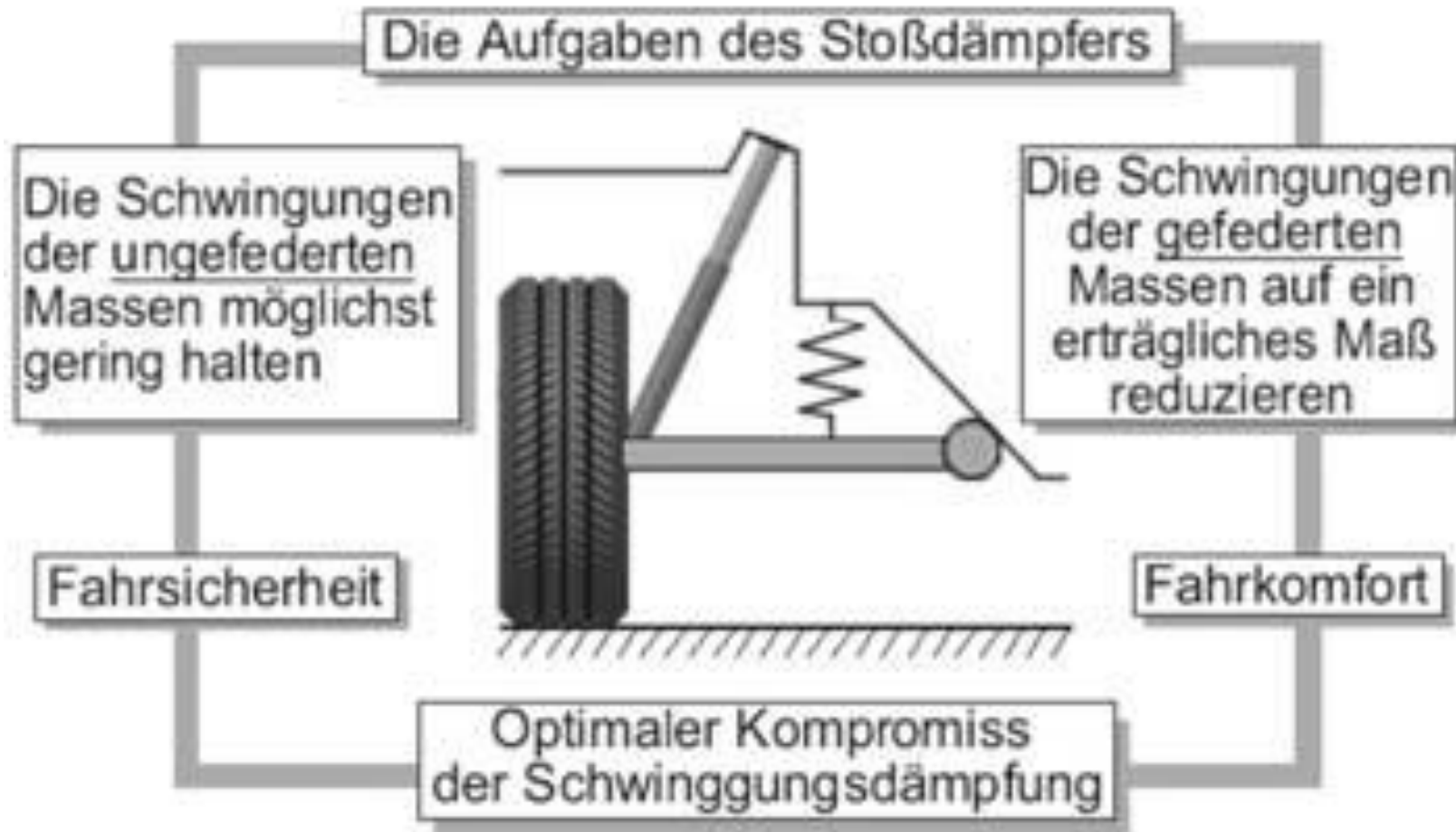
Hydraulisch

- basierend auf Strömungswiderstand eines flüssigen Mediums
- gut abstimmbare auf komplexe Anforderungen
- Einrohr- und Zweirohrstoßdämpfer (und Mischbauformen)
- Hauptbauform als Kraftfahrzeugdämpfer

Neue Technologien

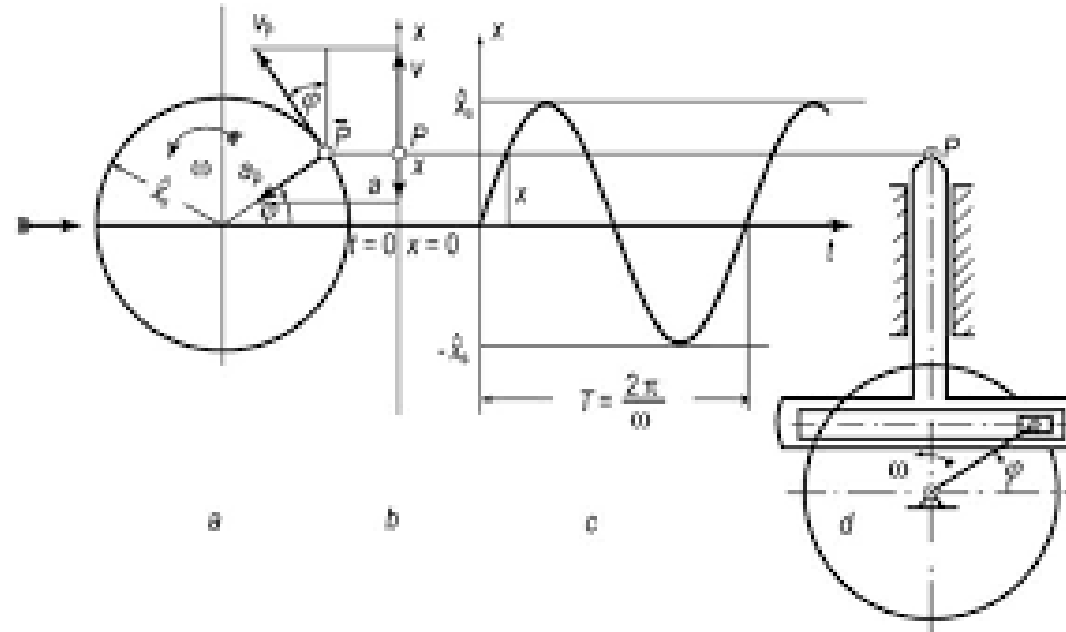
- auf Basis elektro- und magnetorheologischer Flüssigkeiten (ERF+MRF) oder
- elektromagnetische Dämpfung
- Entwicklungsziele: höhere Variabilität d. Dämpfungswirkung bei vertretbarem Konstruktions- und Kostenaufwand (!)

Die Aufgaben des Stoßdämpfers



Dämpferprüfung

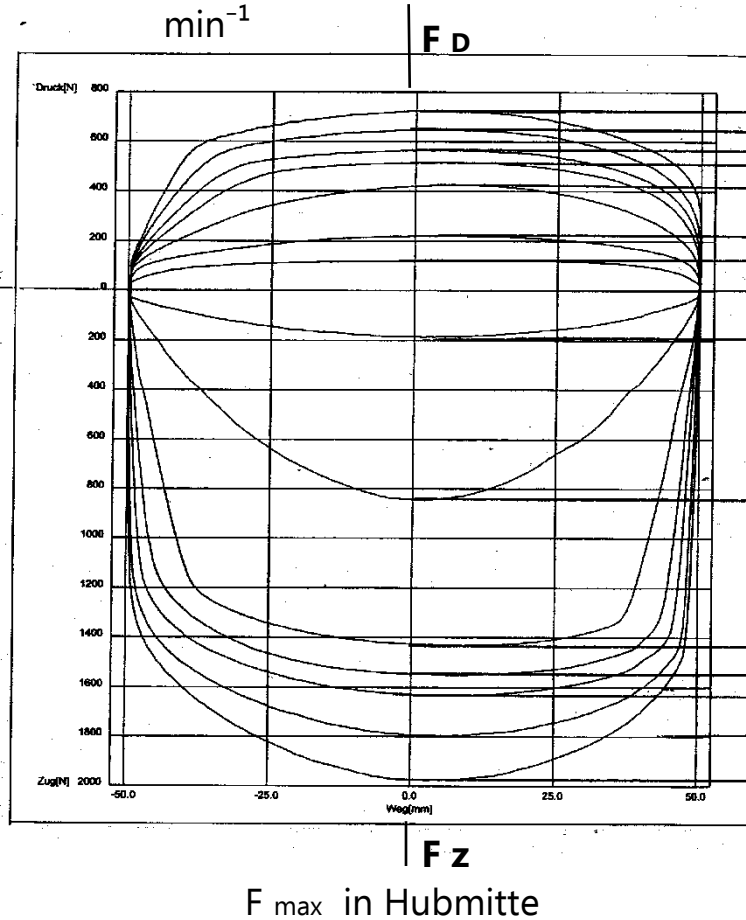
Sinus Anregung durch Exzenter



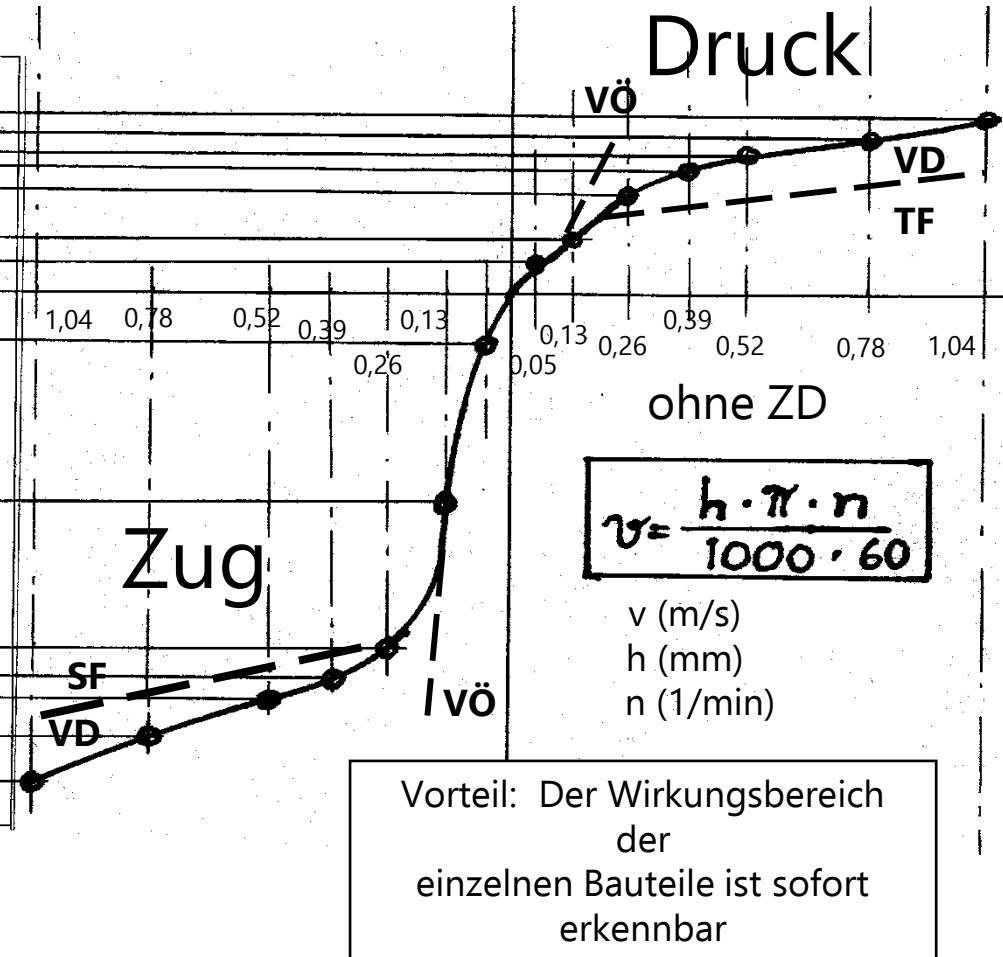
Stoßdämpfermessung

Kraft – Weg – Diagramm

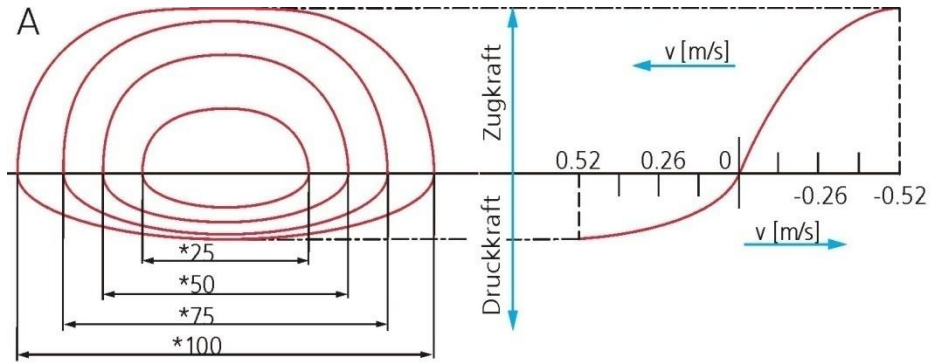
$n = 10 \text{ min}^{-1}$ bis 200 min^{-1}



Kraft- Geschwindigkeits- Diagramm

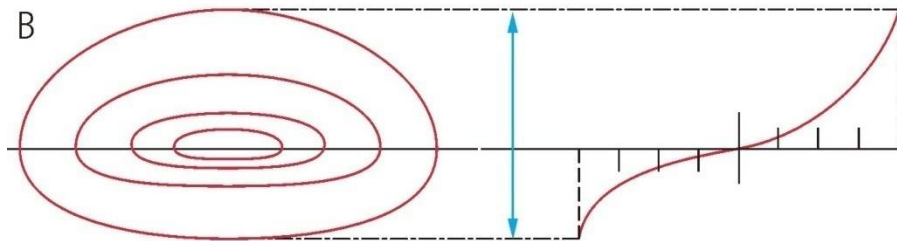


Kennlinienverläufe

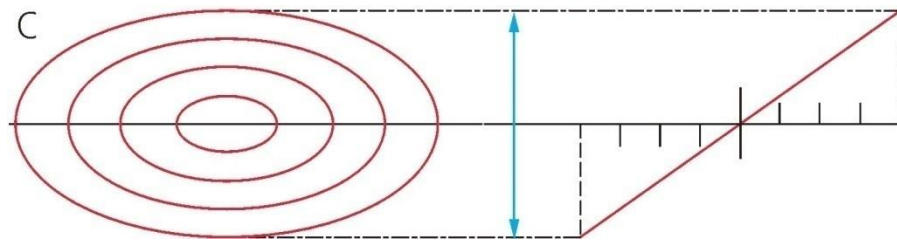


A degressiv

Drehzahl konstant für alle Hube: 100 min^{-1} (*=Hub[mm])

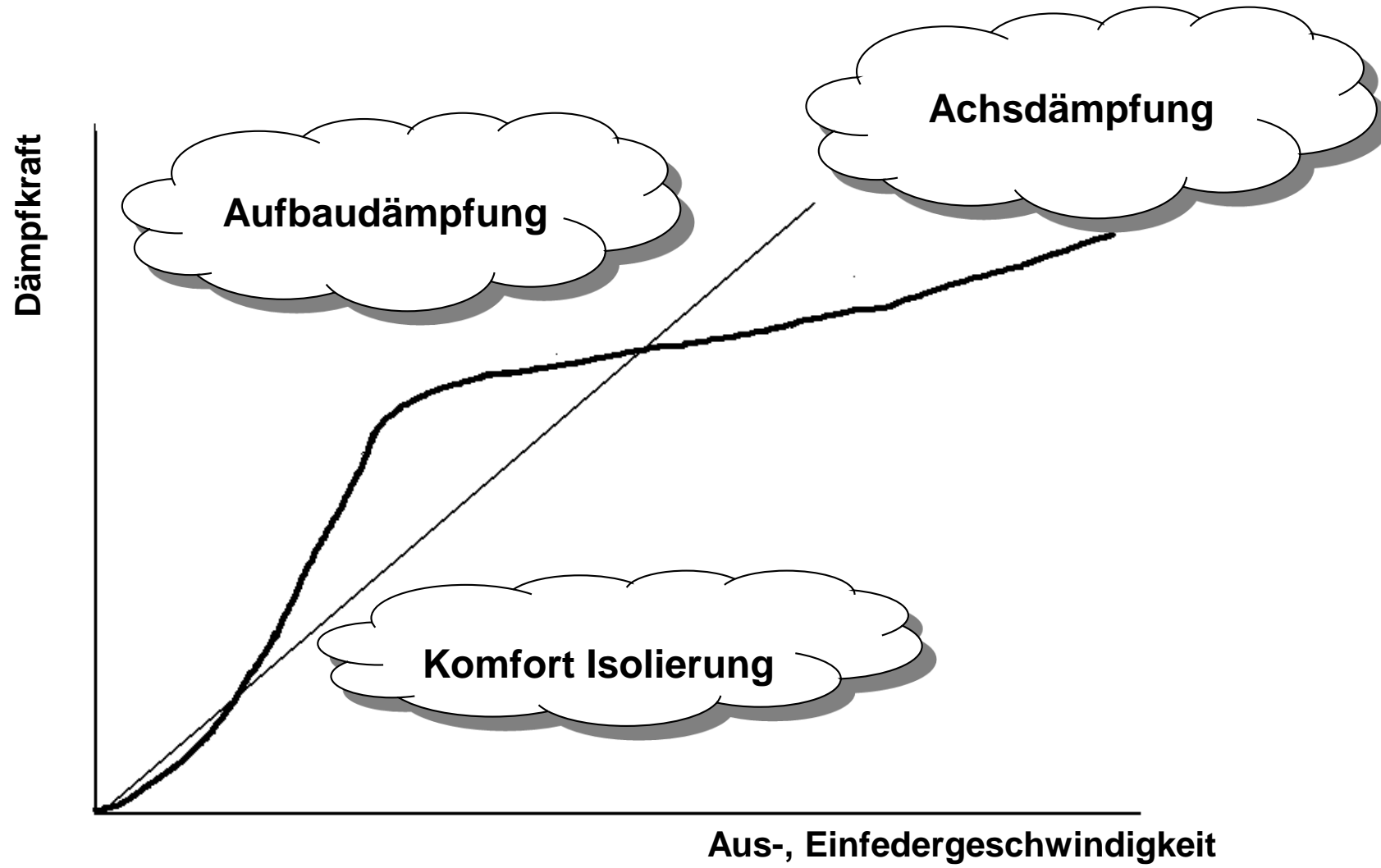


B progressiv

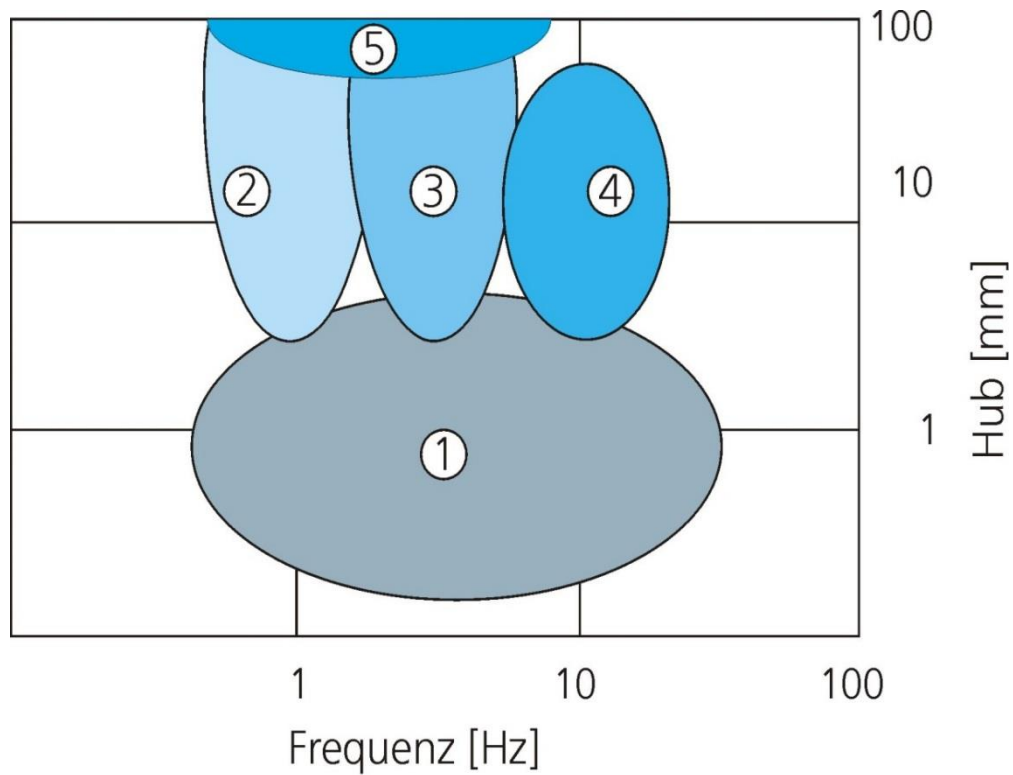


C linear

Kennlinien prinzipiell



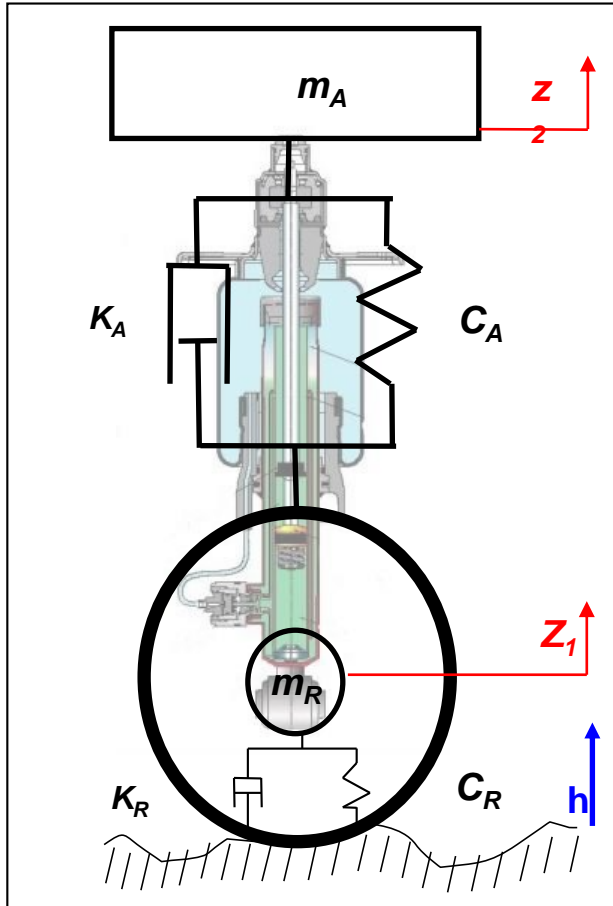
Beurteilungsmaßstäbe für kritische Erregungen



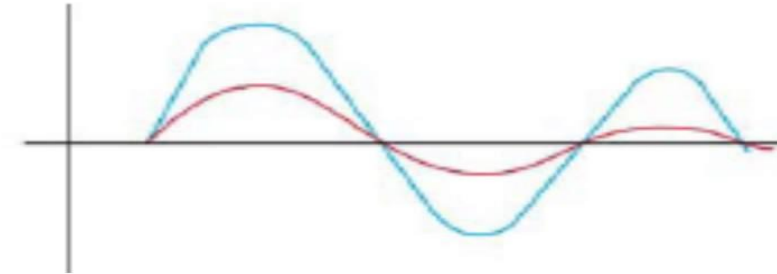
- 1 Abrollkomfort
- 2 Aufbaubewegungen
- 3 gegenphasiges Schwingen (Stuckern)
- 4 Achsbewegungen
- 5 Anschlagen des Dämpfers

Dämpfungssysteme

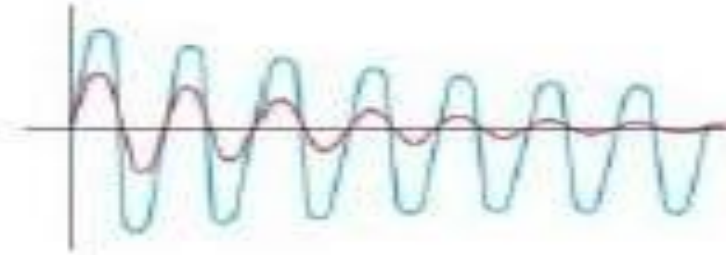
Idealisierte Darstellung des Fahrzeuges als Zweimassenschwinger



m_A Aufbaumasse
 m_R Rad- bzw. Achsmasse
 c_A Steifigk. Aufbaufeder
 C_R Steifigk. Reifenfeder
 K_A Aufbaudämpfungskonst.
 K_R Reifendämpfungskonst.
 z_2 Aufbauweg
 z_1 Radweg
 h Anregungsweg



ca. 1,5 Hz

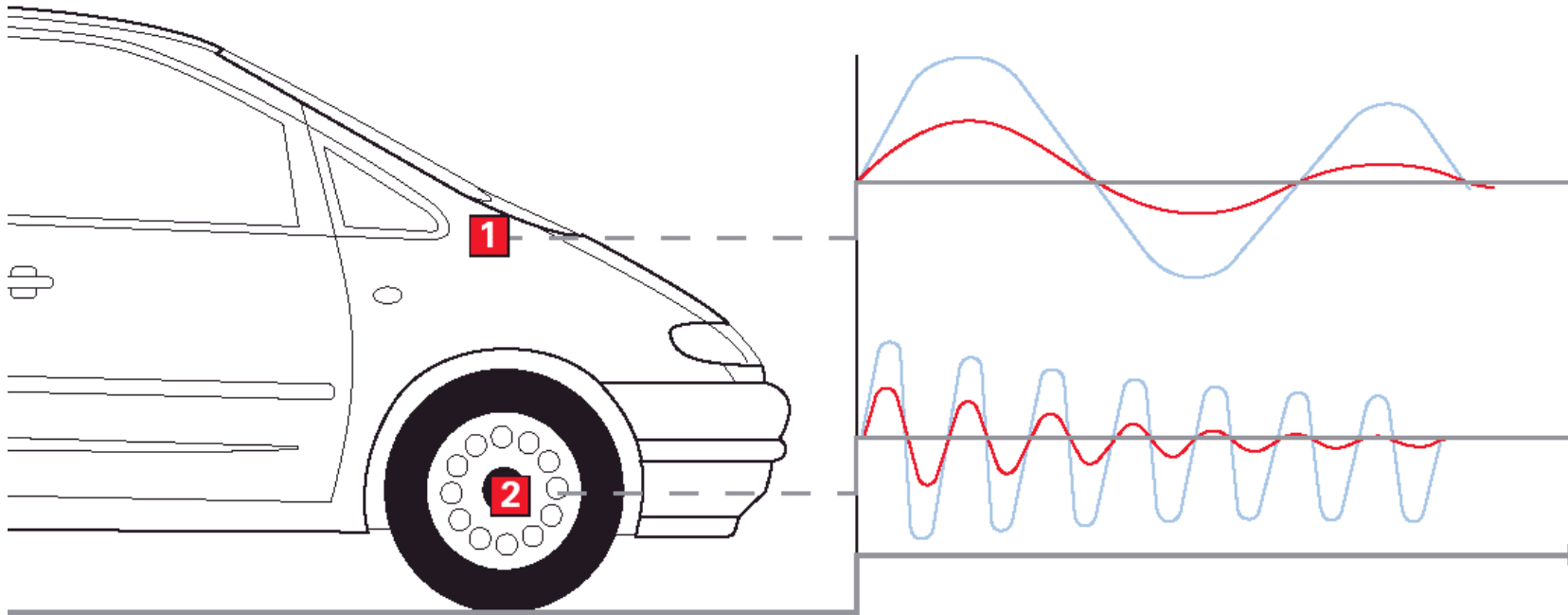


ca. 12 Hz

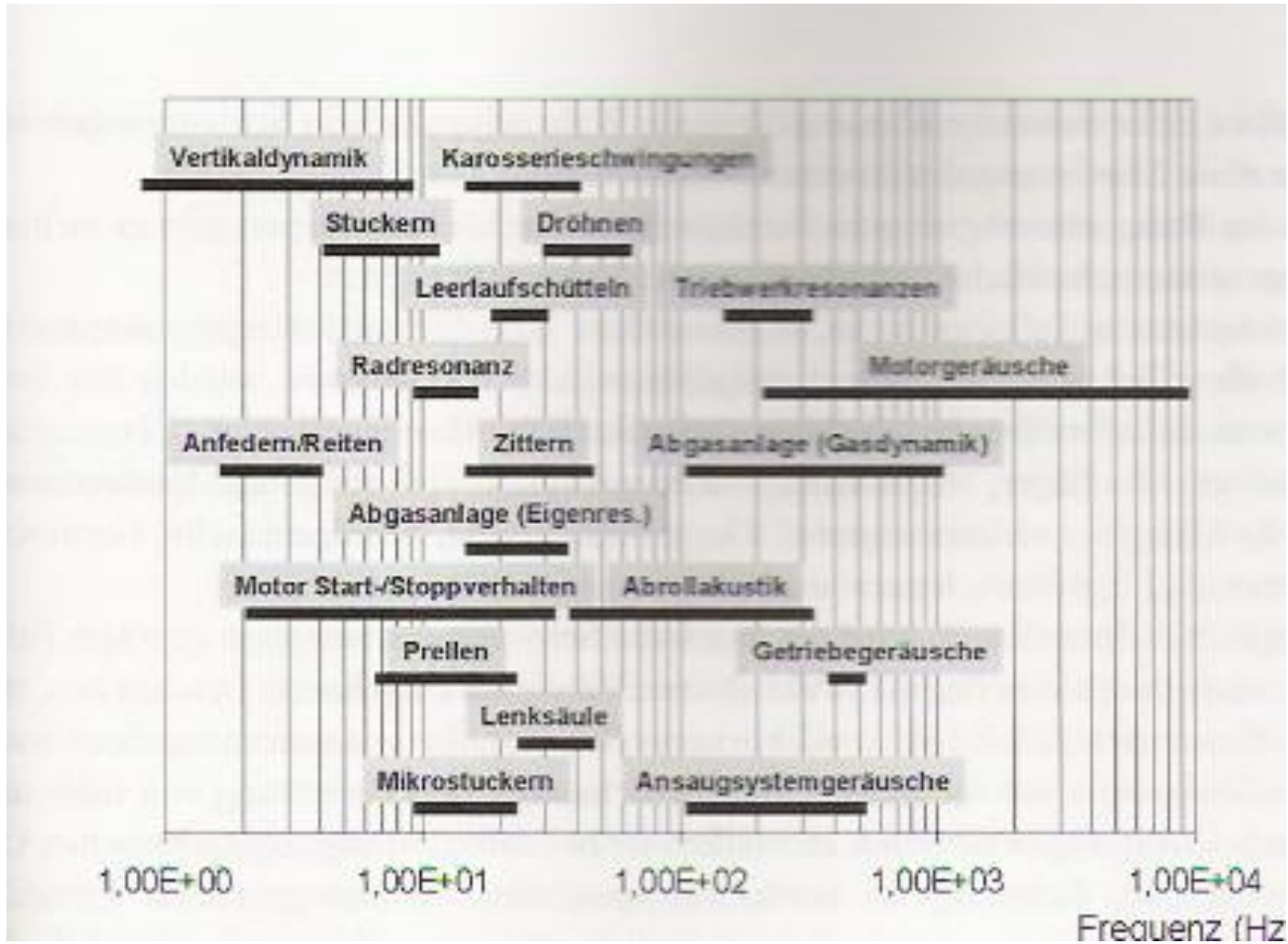
— ohne Schwingungsdämpfer
— mit Schwingungsdämpfer

Dämpfungssysteme

Dämpfung im Fahrwerk

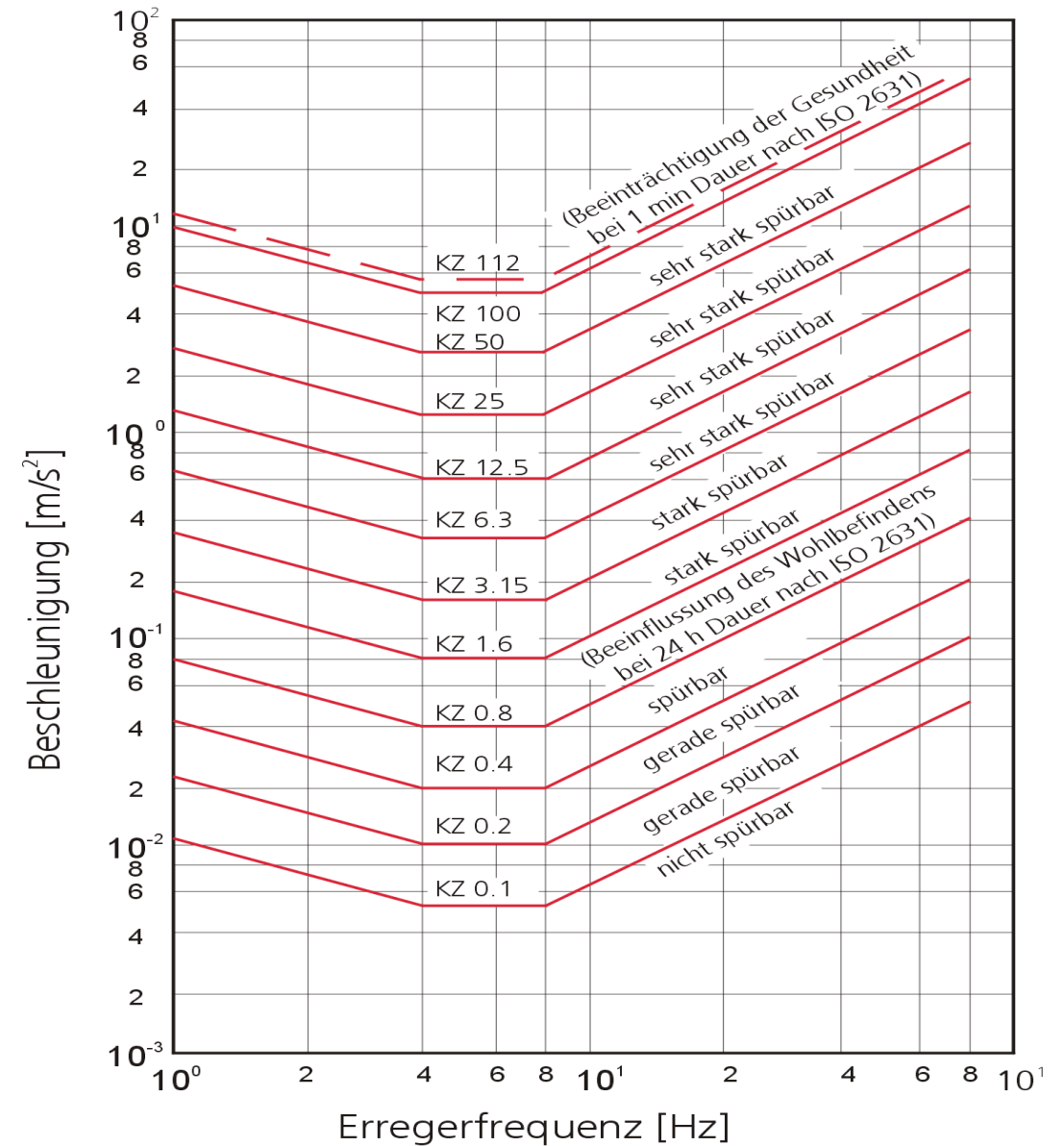


Fahrzeugeigenfrequenzen



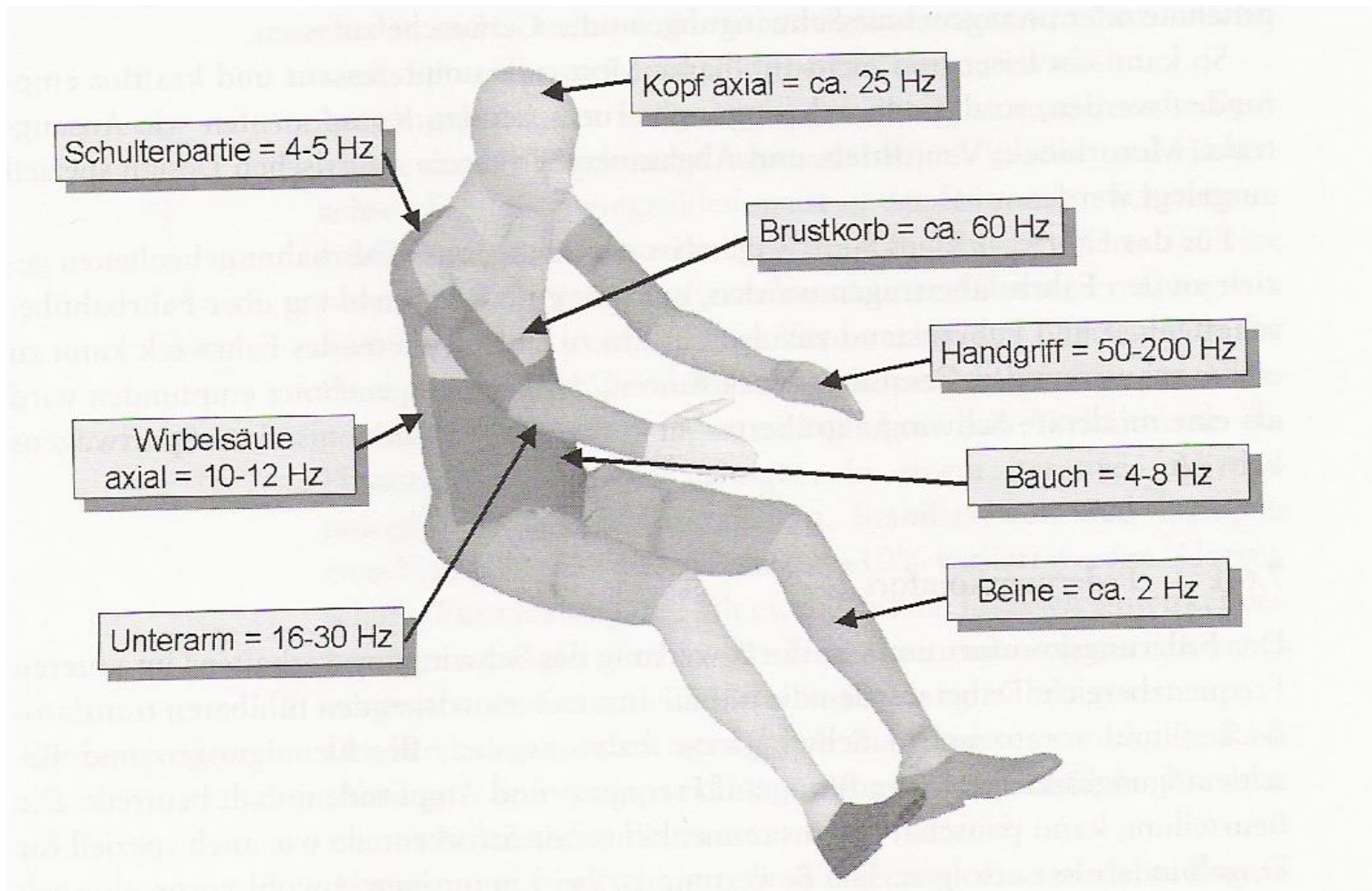
Körperliche Belastungen

Auswirkungen von Schwingungen auf den menschlichen Rumpf

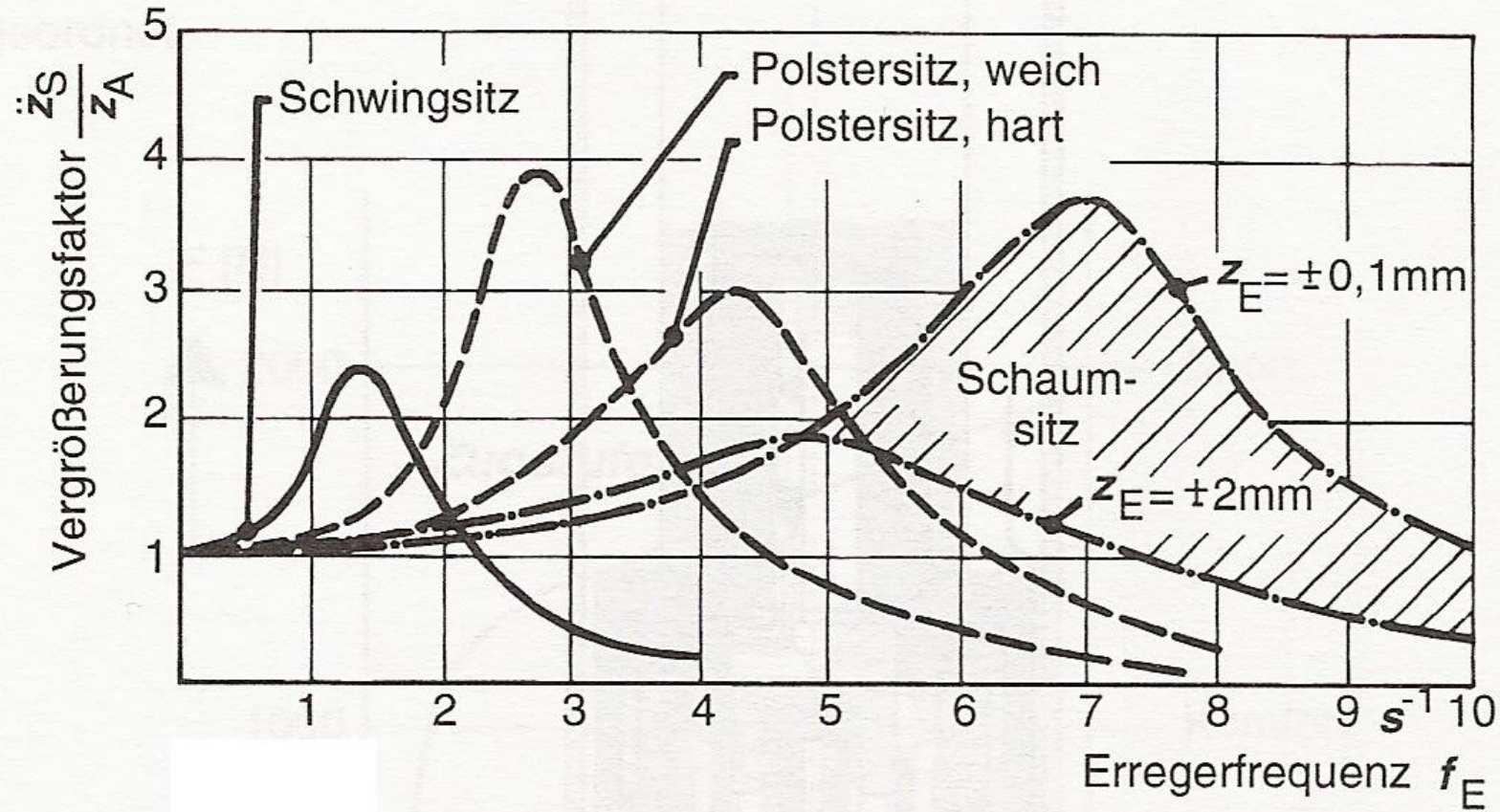


Quelle: Mitschke, Manfred: Dynamik der Kraftfahrzeuge

Empfindlichkeit/Eigenfrequenzen der Körperteile



Fahrzeugsitze / Eigenfrequenz



Vergrößerungsfunktionen verschiedener Fahrzeugsitze

Dämpfungsprinzipien

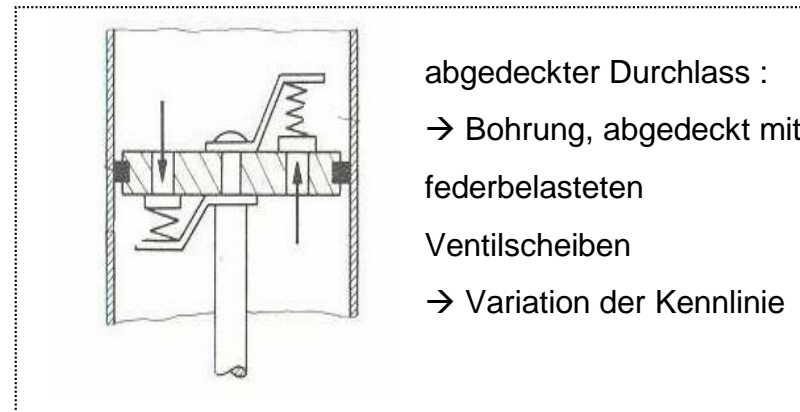
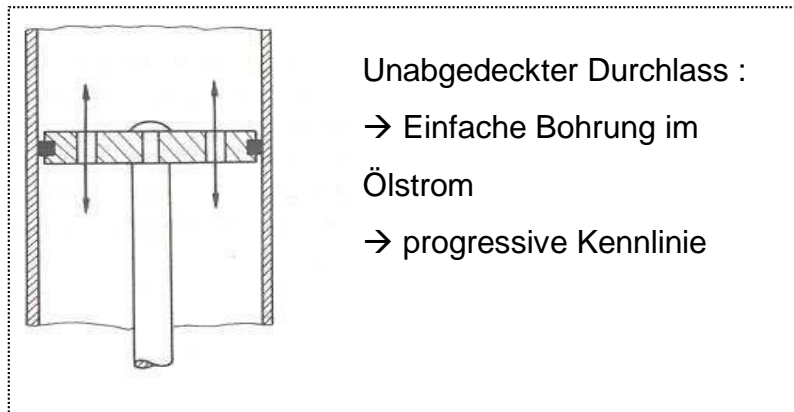
	Funktion	Kosten	Erfahrung Anwendung
Reibung	konstant	niedrig	Verschleiß selten
Flügel hydraulisch	$f(v_{\text{einfeder}})$	sehr hoch	selten
Hebel hydraulisch	$f(v_{\text{einfeder}})$	hoch	selten
Teleskop hydraulisch	$f(v_{\text{einfeder}})$	sehr niedrig	Standard-Bauart
Teleskop elektrohydr.	geregelt	hoch	wachsend
Luft Feder Dämpfer	frequenzselektiv	sehr hoch	Niveauregel. erforderlich
(ERF(elektorheologisch)) MRF(magnetorheologisch)	geregelt	sehr hoch	Serie, sportl.Fahrzeuge
Elektromagnetisch	geregelt	unbekannt	zu schwer, zu teuer

Dämpfungssysteme

Varianten der Dämpfung

Wirkungsweise von Ventilöffnungen:

- Nutzung spezieller Mineralöle als Druckübertragungsmedium
- Dämpfungswirkung durch Strömungswiderstand des Mediums (Öls) an Drosselstellen
- Drosselstellen : unabgedeckte bzw. abgedeckte Durchlässe

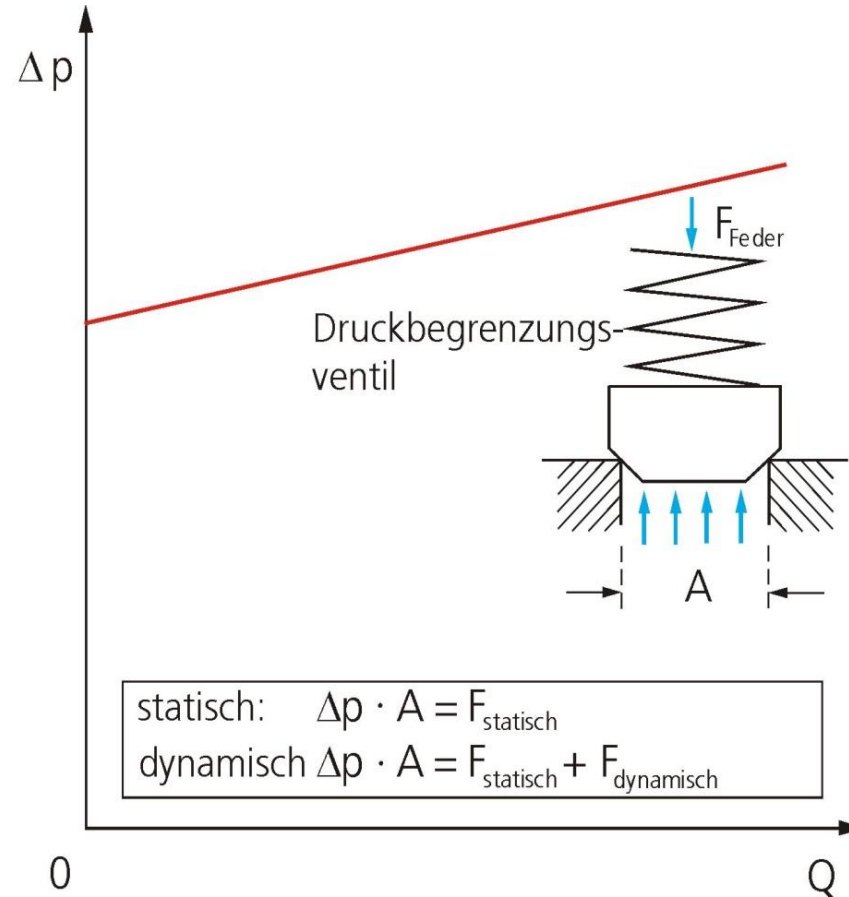
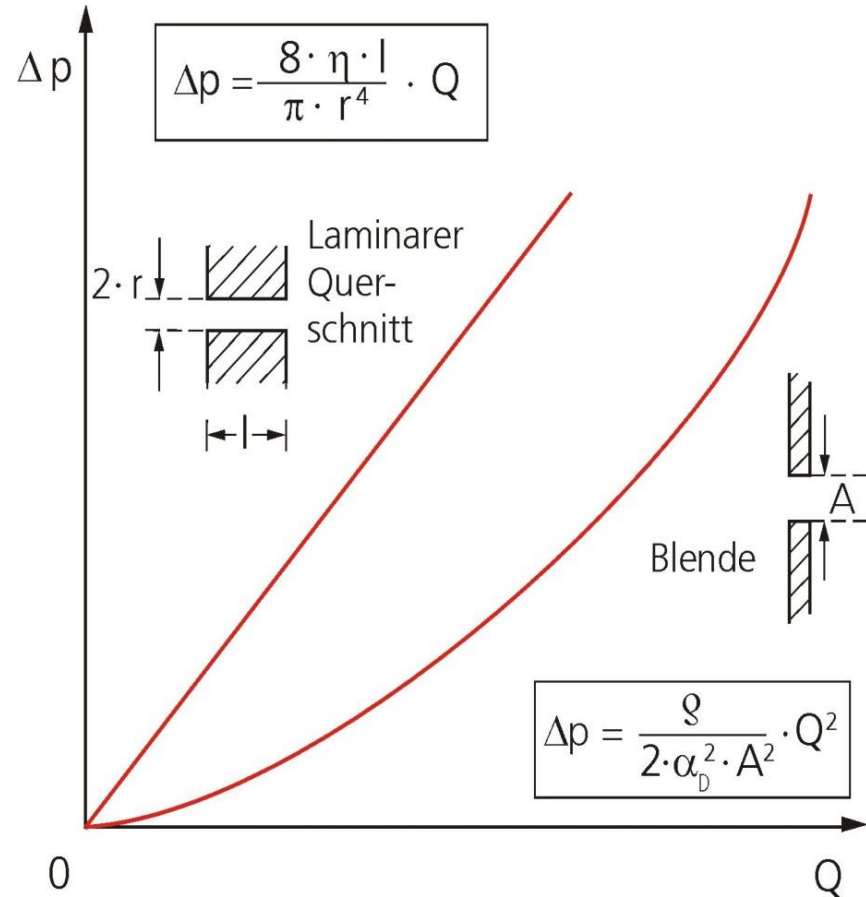


→ „Bau“ spezieller Kennlinien mit progressiven, linearen und degressiven Anteilen durch geschickte Kombination verschiedener Drosselstellen.

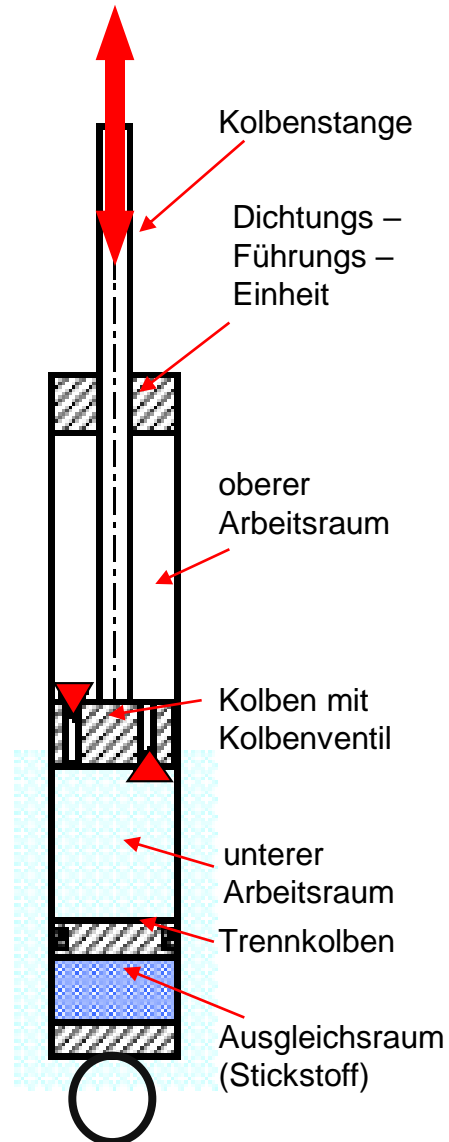
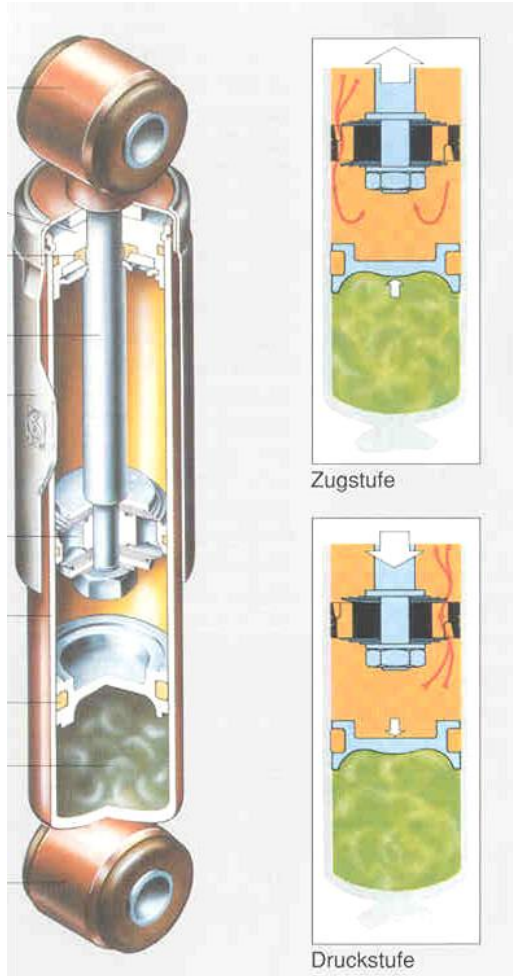
Anforderungen an die Dämpferöle :

- Hohe Scherstabilität, gute Schmiereigenschaften, geringe Kavitationsneigung über den gesamten Temperaturbereich → Einsatz spezieller mit Additiven versehener Mineralöle

Hydraulische Widerstände

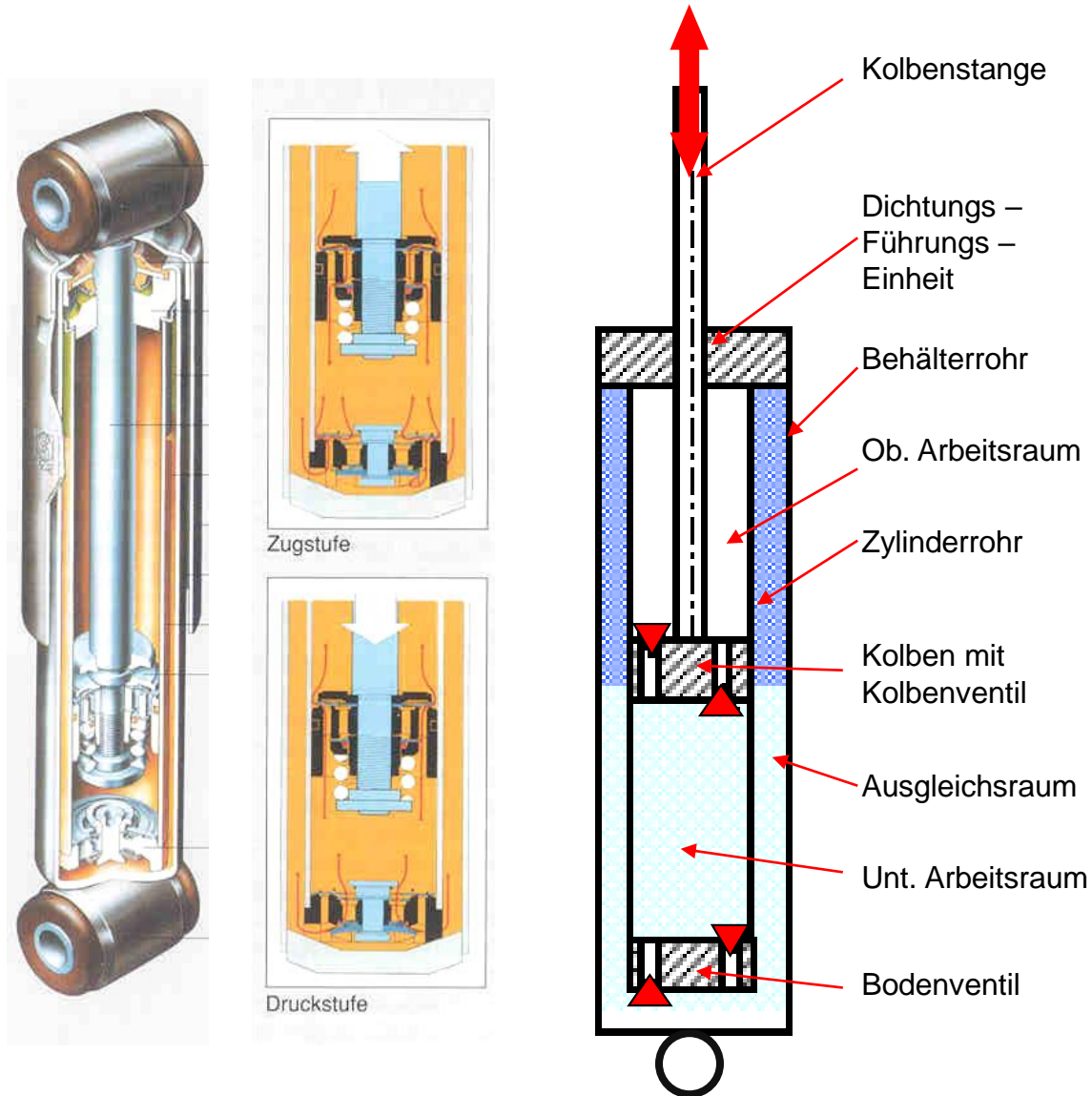


Dämpfungssysteme - Einrohrdämpfer



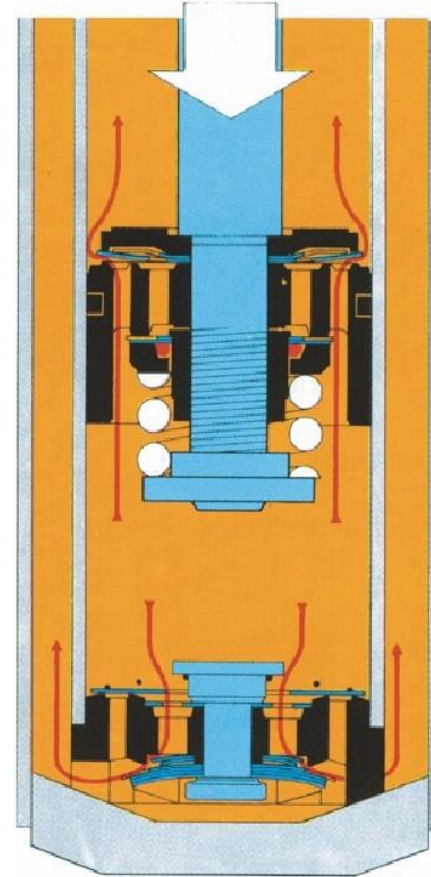
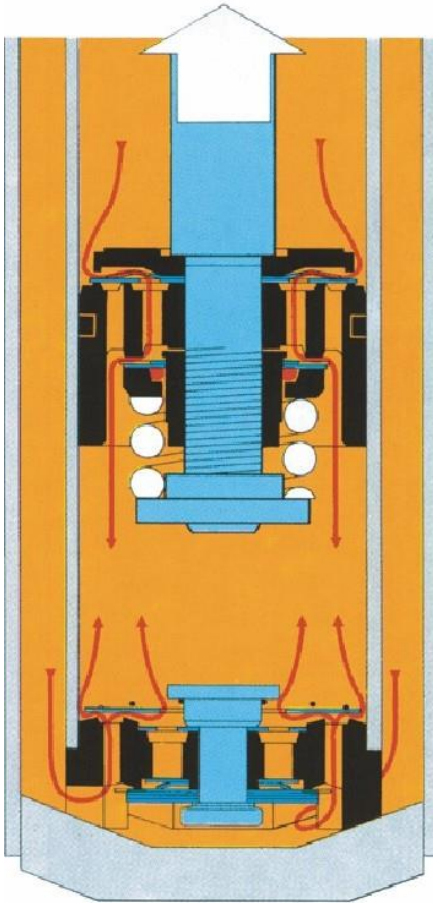
- arbeitet mit Systemdruck von ca. 30 bar (eingestellt über die Gasvorspannung im Ausgleichsraum)
- auch Gasdruckstoßdämpfer genannt
- axiale Anordnung von Arbeits – und Ausgleichsraum
- meist Trennung von Arbeits- und Ausgleichsraum durch eine Membran bzw. beweglichen Trennkolben
- Ausgleichsraum gefüllt mit vorgespanntem Gas (ca. 30 bar, meist Stickstofffüllung)
- Volumenausgleich d. Kolbenstange über Kompression des Gasraumes durch Verschiebung des Trennkolbens
- Dämpfungwirkung durch Strömungswiderstand der im Kolben angeordneten Ventile
- Ausführung mit einer Membran anstelle des Trennkolbens ebenfalls üblich

Dämpfungssysteme - Zweirohrdämpfer

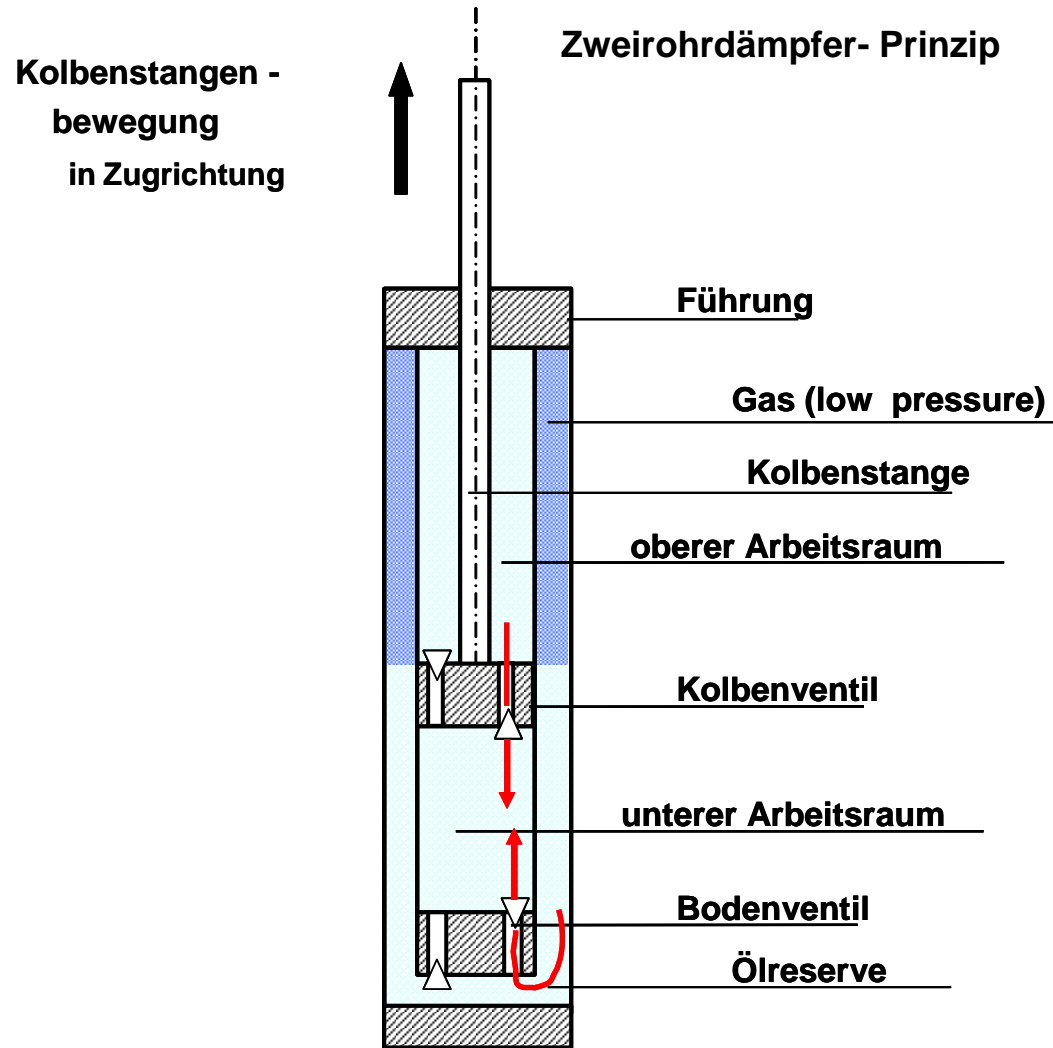


- arbeitet mit Systemdruck von ca. 6...8 bar (eingestellt über die Gasvorspannung im Ausgleichsraum)
- bestehend aus Zylinderrohr (innen) u. Behälterrohr (außen)
- Verbindung beider Rohre über Bodenventil
- Zylinderrohr komplett mit Öl gefüllt
- Behälterrohr zur Hälfte mit Öl gefüllt, zur Hälfte mit leicht vorgespanntem Gas (ca. 6...8bar)
- Volumenausgleich der Kolbenstange durch Ölstrom durch Bodenventil in das Behälterrohr
- Druckdämpfung über Kolben- u. Bodenventil,
- Zugdämpfung über Kolbenventil

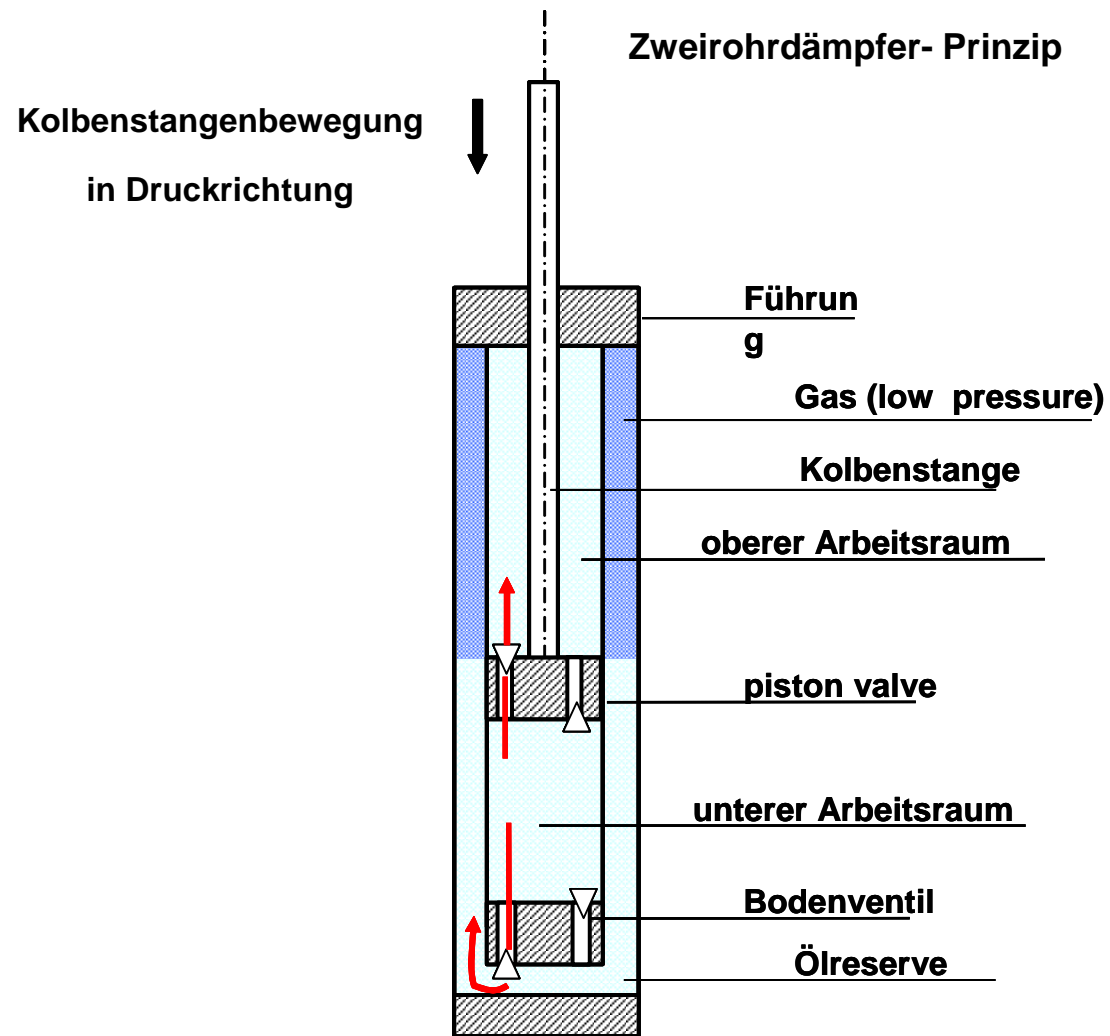
Strömung durch die Ventile eines Zweirohrdämpfers (schematisch)



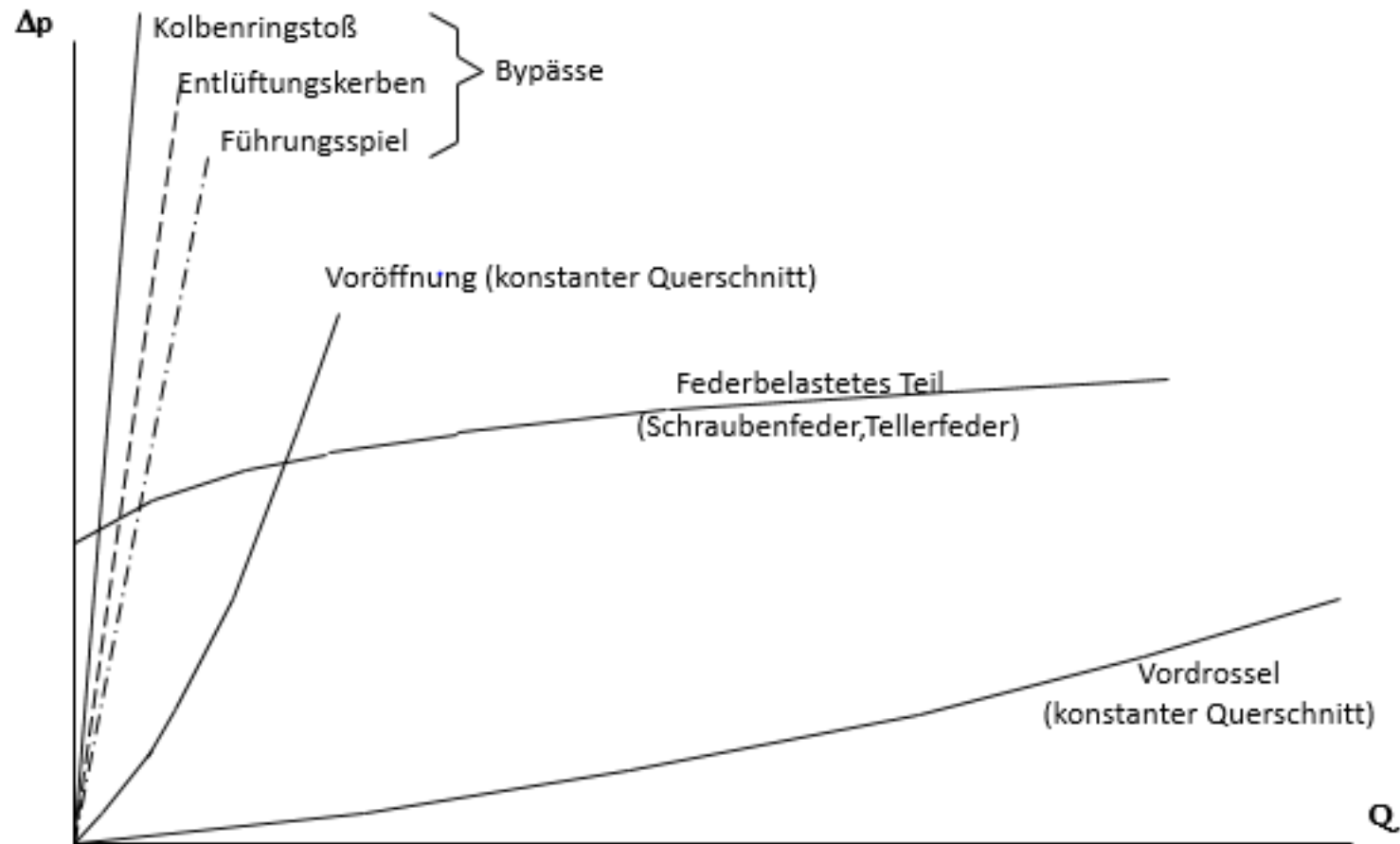
Zweirohr- Dämpfer Dämpferfunktion in Zugrichtung



Zweirohr- Dämpfer Dämpferfunktion in Druckrichtung

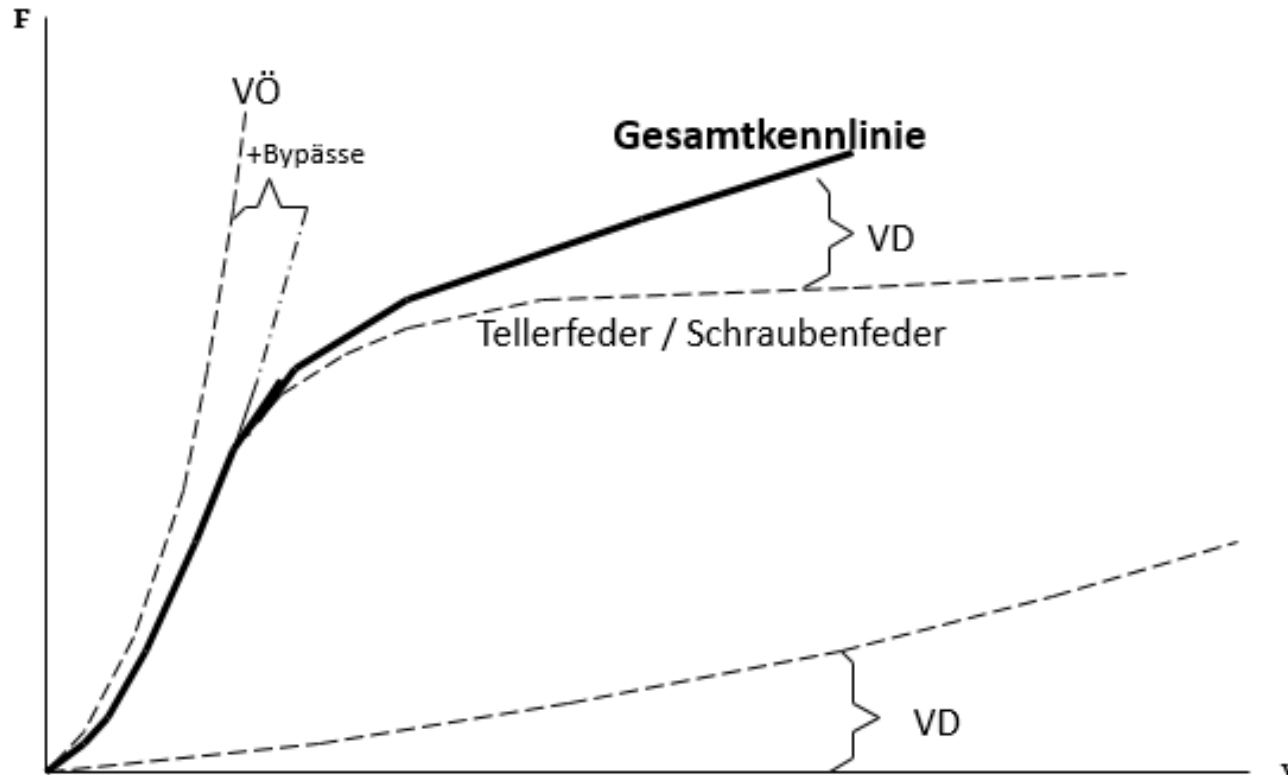


Zweirohr Dämpfer Grundsätzlicher Verlauf von Einzelteilkennlinien

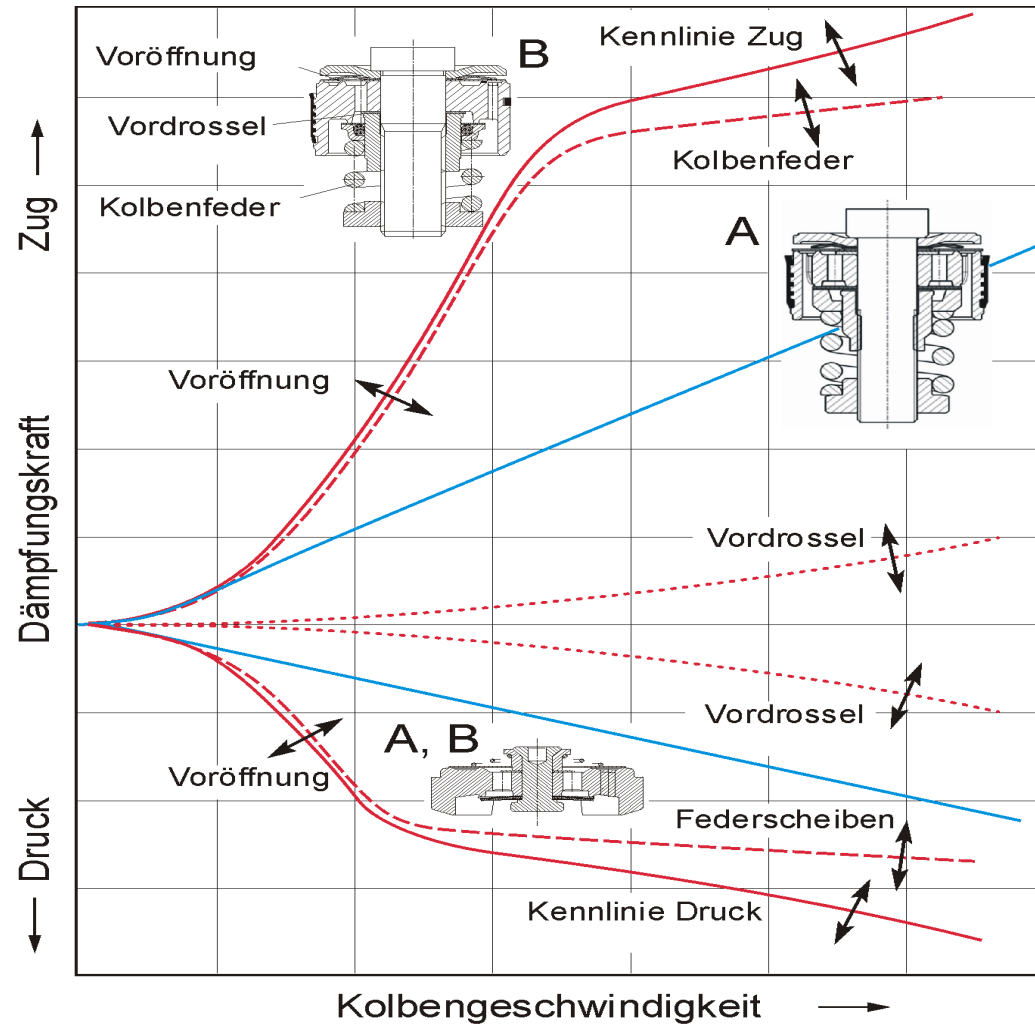


Zweirohr Dämpfer Bilden einer Gesamtkennlinie

(prinzipiell gleich für KV, Bv u.ZD)



Kennlinien von Zweirohr-stoßdämpfern



Dämpfungssysteme – Übersicht

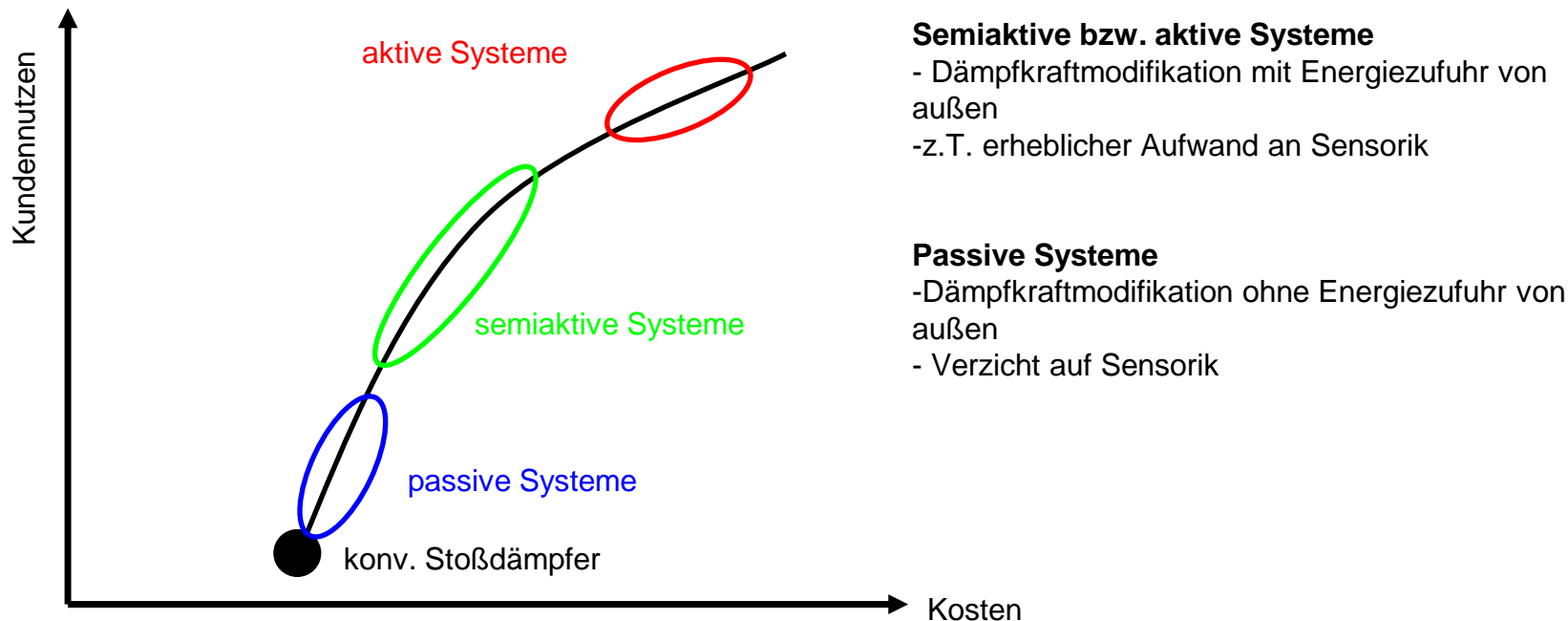
	Einrohrdämpfer	Zweirohrdämpfer
Kavitationsneigung	- sehr geringe Kavitationsneigung durch Gasvorspannung und Trennung beider Medien	- gering durch Gasvorspannung
Kennliniengestaltung	- in Druckrichtung in Abhängigkeit vom Fülldruck eingeschränkte Möglichkeiten	- nahezu beliebige Kennliniengestaltung durch Trennung der Ventalfunktionen
Reibkraftniveau	- wegen druckbelasteter Dichtungen höhere Reibung	- niedrige Grundreibung
Bauraum	- größere Baulänge wegen des axialen Gasraumes - geringer Durchmesser	- großer Durchmesser - ansonsten sehr kompakt
Einbaulage	- beliebig	- nahezu senkrecht
Gewicht	- wegen geringerer Bauteilzahl niedrigeres Gewicht	
Temperaturverhalten	- gute Kühlung, da Arbeitsraum nicht abgeschirmt ist	- eingeschränkt, durch Abschirmung des Arbeitsraumes
Ansprechverhalten	- wegen Gasvorspannung schlechteres Ansprechverhalten	
Dämpfung bei geringen Hüb	- besser	- gut
Einsatz als Federbein	- konstruktiv sehr aufwändig, daher unüblich	- möglich bei entsprechender Verstärkung

Dämpfungssysteme

Konventioneller Schwingungsdämpfer :

- Festlegung der Dämpfungskraftcharakteristik bei Konstruktion
- keine Anpassung im Betrieb an Beladung, Fahrgeschwindigkeit, Fahrbahnbeschaffenheit etc. möglich

Lösung → adaptive Dämpfersysteme (passive, semiaktive bzw. aktive Dämpfungskraftverstellung)



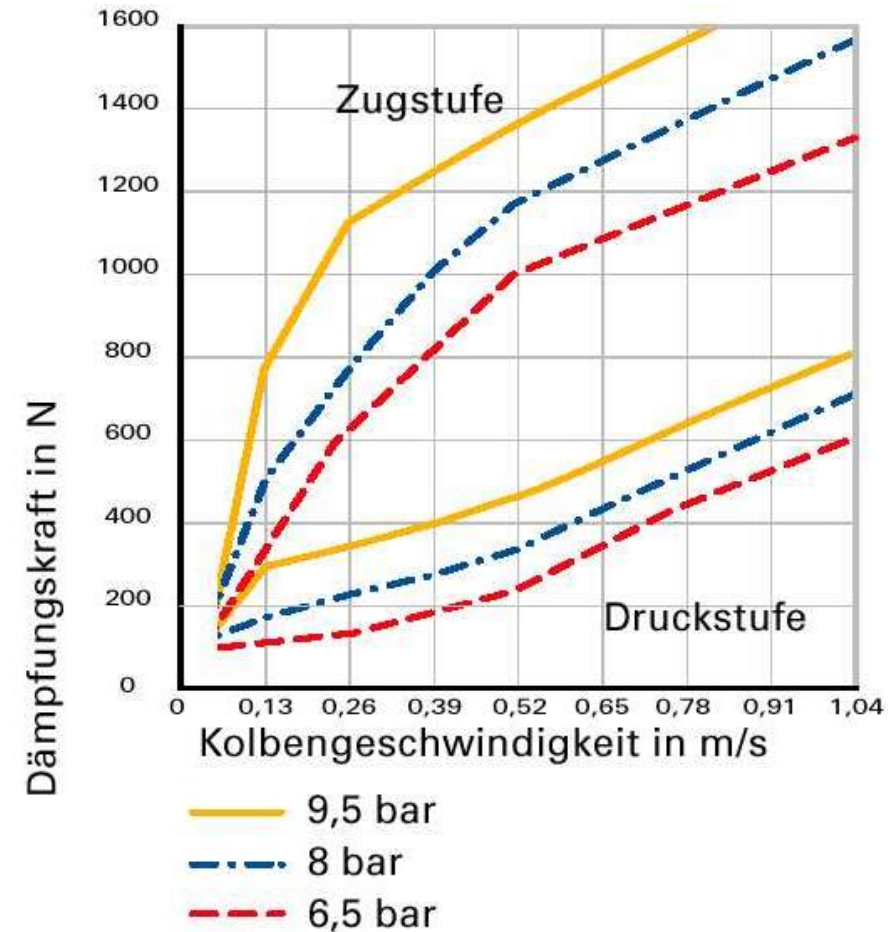
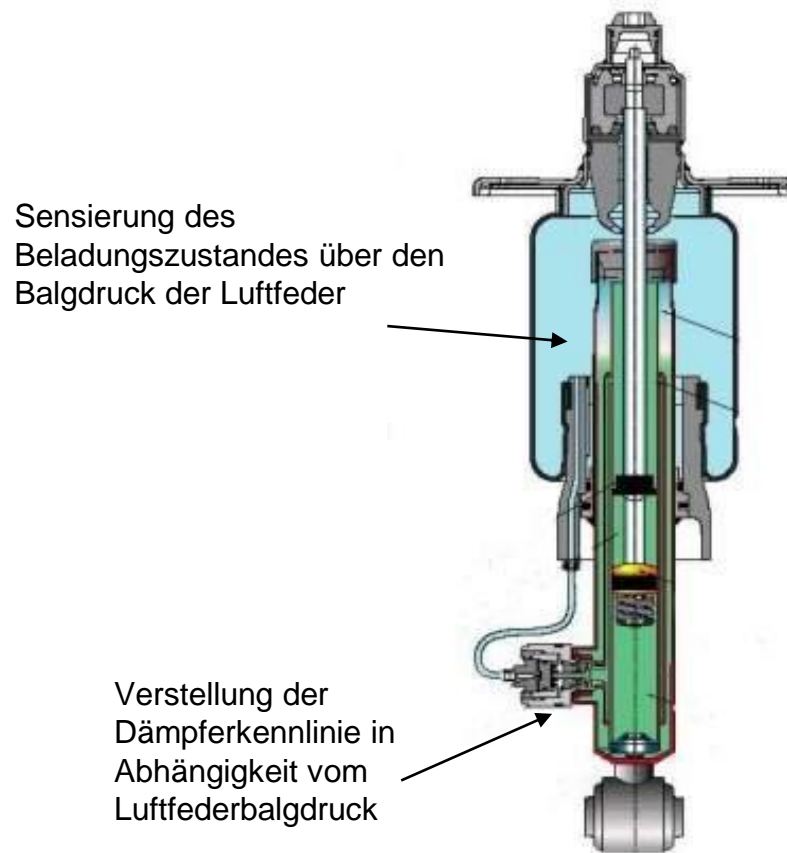
Dämpfungssysteme

Varianten der Dämpfung

Positionsabhängige Dämpfung	sog. „Nutendämpfer“: Im Zylinder eingearbeitete Steuernuten schaffen Bypass, d.h. verminderte Dämpfung in bestimmten Bereichen des Einfahrweges (z.B. um die Nulllage)
Amplitudenselektive Dämpfung	Verwendung mehrstufiger Dämpferventile mit geringer Dämpfung bei kleinen Amplituden
Frequenz- bzw. beschleunigungs-selektive Dämpfung	Steuerung des Ölstromes über beschleunigungsempfindliche Ventile mit dem Ziel der Reduzierung der Dämpfungskraft bei großen Beschleunigungen
Lastabhängige Dämpfung	Sensierung des Ladezustandes des Fahrzeuges (z.B. über Einfederung → Balgdruck bei Luftfederung) und Steuerung des Ölstromes im Stoßdämpfer auf Basis dieser Größe (vgl. nächste Folie)

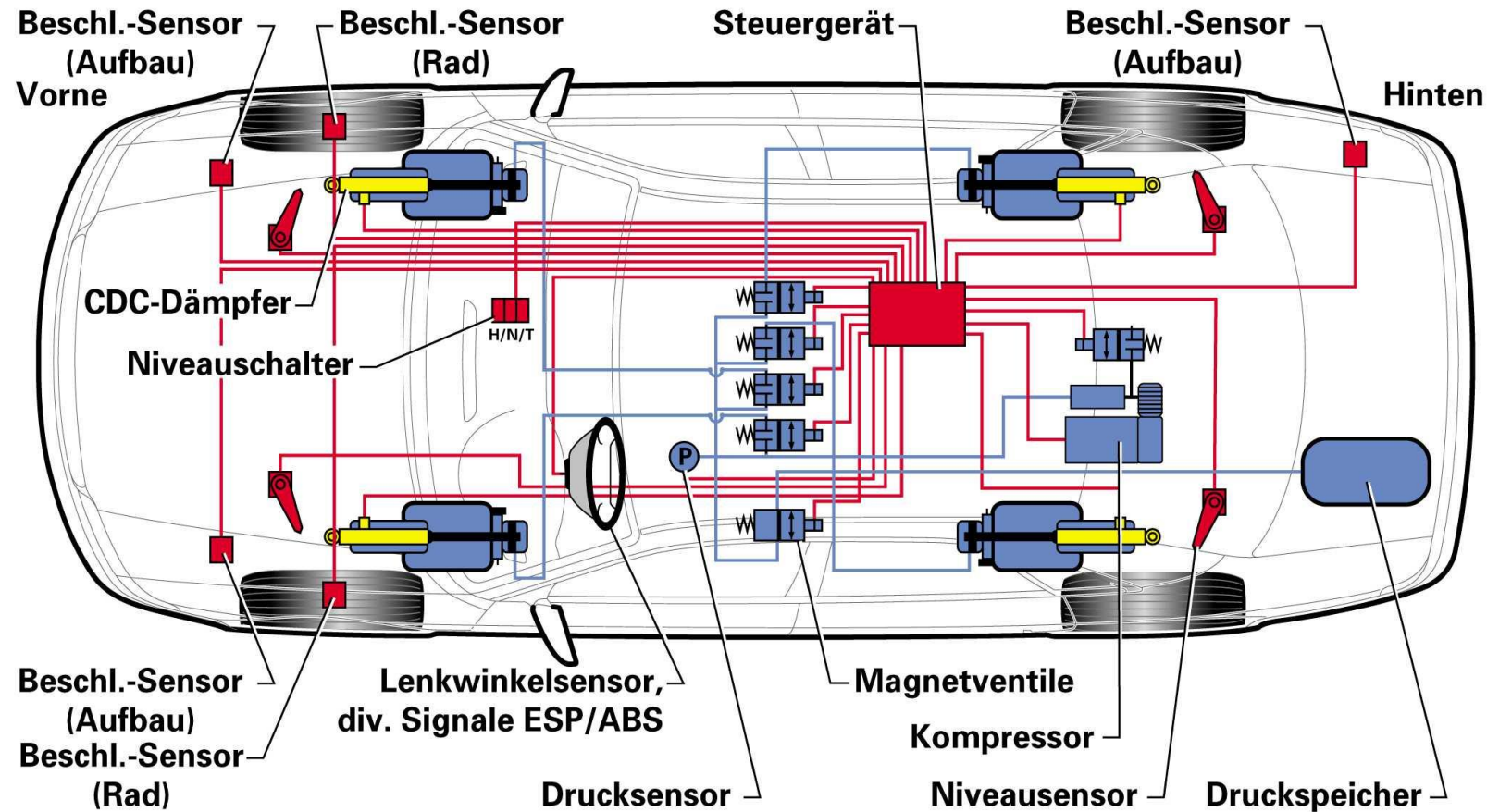
Dämpfungssysteme

Bsp. Luftfederbein mit variabler Dämpferkennlinie



Varianten der Dämpfung

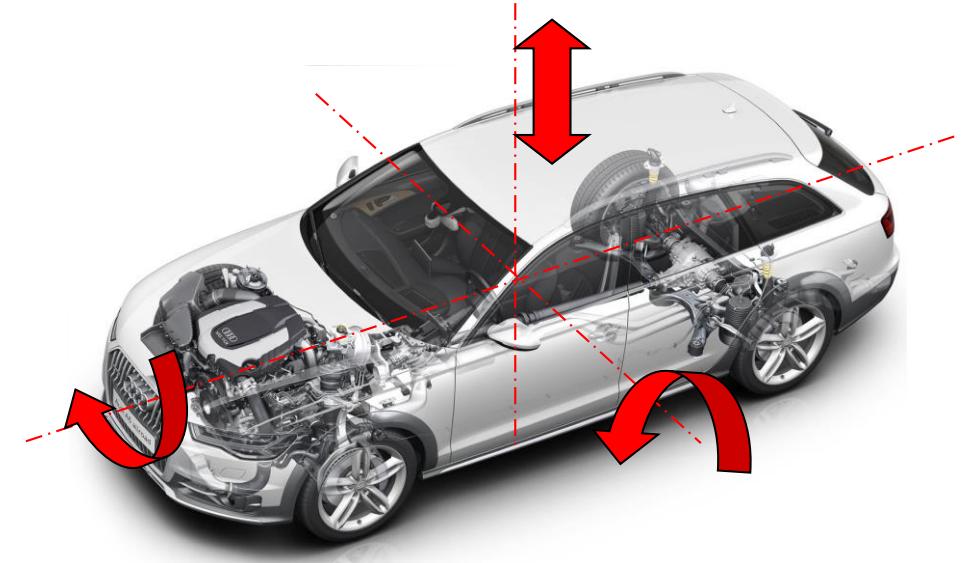
Systemschaubild eines aktiven adaptiven Systems Feder – Dämpfer – Verstellung



Dämpfungssysteme

Wirkung eines solchen Systems mit aktiver Feder – Dämpfer – Verstellung:

- **Fahrhöhenstellbarkeit**
 - Absenken der Karosserie bei hohen Geschwindigkeiten
 - Anheben der Karosserie bei z.B. Schlechtwegstrecken oder beim Einsatz von Schneeketten
 - Einstellen der Fahrhöhe unabhängig vom Beladungszustand
- **Ausgleich v. Aufbaubewegungen**
 - Ausgleich von Nickbewegungen beim Bremsen und Beschleunigen
 - Ausgleich von Wankbewegungen bei Kurvenfahrt
- **Fahrwerkscharakteristik**
 - Einstellung der Fahrwerkscharakteristik nach Fahrerwunsch (sportiv bis komfortorientiert)
 - aktive Fahrwerksverstellung als Reaktion auf Straßenanregung (z.B. geringe Dämpfung bei ebener Fahrbahn – erhöhte Dämpfung bei langwelliger Anregung)

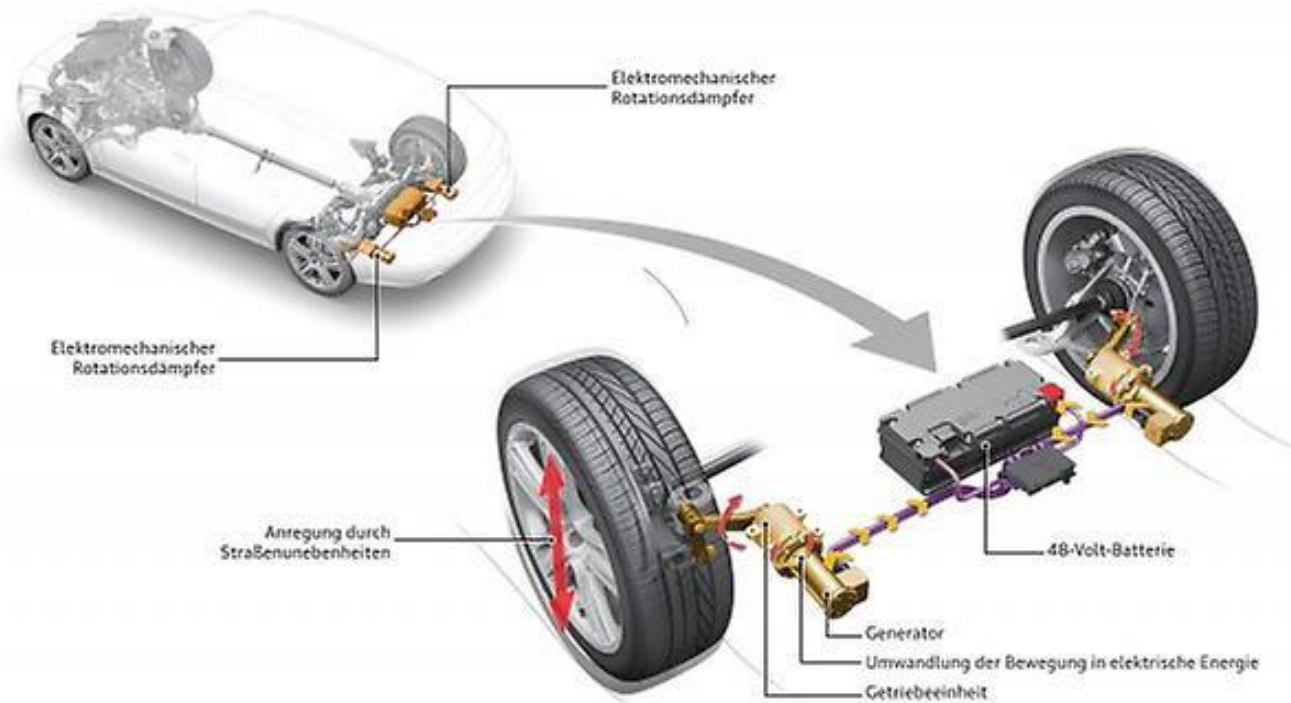
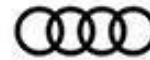


Dämpfungssysteme

Energie über die Stoßdämpfer zurückgewinnt: eRot

Elektromechanischer Rotationsdämpfer

08/16



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

