



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**



Fakultät Maschinenwesen Institut für Festkörpermechanik

Professur Experimentelle Mechanik und Betriebsfestigkeit

Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Calenberg Ingenieure GmbH

Hr. Krüger

Am Knübel 2-4

31020 Salzhemmendorf

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Steffen Wolrab

Telefon: 0351 463-37996

Telefax: 0351 463-37992

E-Mail: wolrab@ifkm.mw.tu-dresden.de

Dresden, 27. Mai 2009

Prüfbericht 03/09

Bestimmung des statischen und dynamischen Materialverhaltens von Flächenlagern des Typs Cipremont NR

Postadresse (Briefe)

Rechnungsanschrift

Technische Universität Dresden

Institut für Festkörpermechanik

01062 Dresden

Postadresse (Pakete u.ä.)

Technische Universität Dresden

Institut für Festkörpermechanik

Helmholtzstraße 10

01069 Dresden

Besucheradresse,

Sekretariat:

Marschnerstraße 30/ Zi.161

01307 Dresden

Lieferanschrift:

Technische Universität Dresden

Institut für Festkörpermechanik

Marschnerstraße 30

01307 Dresden

Internet

<http://www.tu-dresden.de>

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
1 Aufgabenstellung.....	4
2 Prüfaufbau und Messsystem	4
2.1 Probekörper.....	6
2.2 Umgebungsbedingungen	6
2.3 Bestimmung der statischen Federkennlinie unter Druckbeanspruchung	6
2.4 Bestimmung der dynamischen Steifigkeits- und Dämpfungskennwerte.....	7
2.5 Berechnung der Eigenfrequenz einer elastischen Bettung	8
2.6 Bestimmung des statischen Materialverhaltens unter Schubbeanspruchung	9
2.7 Bestimmung des dynamischen Verhaltens unter Schubbeanspruchung.....	10
3 Ergebnisse.....	11
3.1 Lagerausbreitung unter konstanter Druckbelastung	11
3.2 Statisches Materialverhalten unter Druckbeanspruchung.....	11
3.2.1 Federkennlinie	11
3.2.2 Statischer (vertikaler) Bettungsmodul	12
3.2.3 Statischer (vertikaler) Tangentenmodul.....	12
3.3 Dynamisches Verhalten unter Druckbeanspruchung	13
3.3.1 Dynamischer Bettungsmodul	13
3.3.2 Dynamischer E-Modul	14
3.3.3 Verlustfaktor	16
3.3.4 Dämpfungsgrad	17
3.3.5 Eigenfrequenz	19
3.4 Statisches Materialverhalten unter Schubbeanspruchung	20
3.4.1 Statische Schubfederkennlinie.....	20
3.4.2 Statische spezifische Schubsteifigkeit	23
3.4.3 Statischer Schubmodul.....	24
3.5 Dynamisches Materialverhalten unter Schubbeanspruchung	26
3.5.1 Dynamische spezifische Schubsteifigkeit	26
3.5.2 Dynamischer Schubmodul.....	27

Abkürzungsverzeichnis

A	[mm ²]	Probenfläche
C _{g, stat}	[N/mm ³]	statischer (vertikaler) Bettungsmodul
C _{g, dyn}	[N/mm ³]	dynamischer (vertikaler) Bettungsmodul
C _{x, dyn}	[N/mm ³]	dynamische spezifische Schubsteifigkeit
d	[mm]	Probendicke
E _{stat}	[N/mm ²]	statischer (vertikaler) Tangentenmodul
E _{dyn}	[N/mm ²]	dynamischer (vertikaler) E-Modul
G _{x, dyn}	[N/mm ²]	statischer Schubmodul
f	[Hz]	Frequenz
f ₀	[Hz]	Eigenfrequenz
F _{x / z}	[N]	Quer- bzw. Druckkraft
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
m	[kg]	Ersatzmasse für statische Vorlast
x	[mm]	Schubverformung
z	[mm]	Einfederung
σ _D	[N/mm ²]	Druckbelastung, Druckspannung
τ _{ZX}	[N/mm ²]	Schubbelastung, Schubspannung
φ	[rad]	Phasenwinkel zwischen Kraft und Verformung
γ	[-]	Gleitung
η	[-]	Verlustfaktor

Indizes

0	Startwert
1	im Arbeitspunkt (unter statischer Druckvorlast)
a	Amplitude
fou	Größe der Grundharmonischen (1.Fourierordnung)
x	Richtung der Schubbelastung
z	in Druckrichtung
m	Mittelwert
max	Maximalwert
min	Minimalwert

1 Aufgabenstellung

Im Auftrag der Calenberg Ingenieure GmbH in 31020 Salzhemmendorf wurden im Januar und April 2009 am Institut für Festkörpermechanik der Technischen Universität Dresden folgende Untersuchungen zur Charakterisierung des statischen, dynamischen und Langzeit-Materialverhaltens von Flächenlagern des Typs Cipremont NR durchgeführt:

- Bestimmung der Federkennlinie und des statischen Bettungsmoduls unter Druckbeanspruchung nach DIN 45673-7,
- Bestimmung des dynamischen Bettungsmoduls, des dynamischen E-Moduls, des Verlustfaktors und des Dämpfungsgrades
- Berechnung der Eigenfrequenz einer elastischen Bettung,
- Bestimmung der dynamischen spezifischen Schubsteifigkeit und des dynamischen Schubmoduls bei zwei Druckvorlaststufen

Die Prüfbedingungen lehnten sich dabei an die Anforderungen des DIBT-Entwurfes zur „Eignungsprüfung von elastischen Elementen im Zulassungsverfahren für die Schwingungsisolierung von Gebäuden“ vom 4. April 2008 an.

2 Prüfaufbau und Messsystem

Ein Prüfstand mit einer maximalen Nennlast von 63 kN wurde für die Untersuchungen des vertikalen statischen und dynamischen Verhaltens des Materials Cipremont NR genutzt. Dieser Prüfstand ist ausgestattet mit einer einkomponentigen Messplattform der Fa. Kistler (statische vertikale Kraft $F_{z, \text{stat}}$). Dieser Prüfaufbau wurde unter Verwendung einer mehrkomponentigen Messplattform (Fa. Kistler) mit hoher Auflösung auf ein mehrkomponentiges Prüfsystem erweitert, um die vertikale Kraft F_z und die horizontale Kraft F_x separat zu messen, Bild 1. Unter Verwendung eines zusätzlichen Zylinders mit einer Nennlast von 7 kN war es möglich den Prüfaufbau auf ein zweikomponentiges System zu erweitern, Bild 2.

Die Kalibrierung der Kraftsensoren wurde durch den Vergleich mit einem zertifizierten Messsystem (Genauigkeitsklasse 0,05) durchgeführt, um kleinstmögliche Fehlertoleranzen zu gewährleisten. Ein berührungsloser Triangulationssensor (Fa. micro-epsilon) mit einer Auflösung von weniger als 1 μm wurde zur Messung der Deformation verwendet. Zur Versuchsdefinition, -durchführung und Datenerfassung werden die servohydraulischen Zylinder in Verbindung mit der digitalen Regelelektronik Labtronic 8800, der Software RS LabSite und RS MePar von der Instron Structural Testing Systems GmbH betrieben.

Die Prüfkörper mit einer Fläche von 120 mm x 120 mm wurden zwischen zwei steifen, planparallelen Platten geprüft, deren Kontaktflächen mit Schleifleinen (Körnung K60) beschichtet waren.

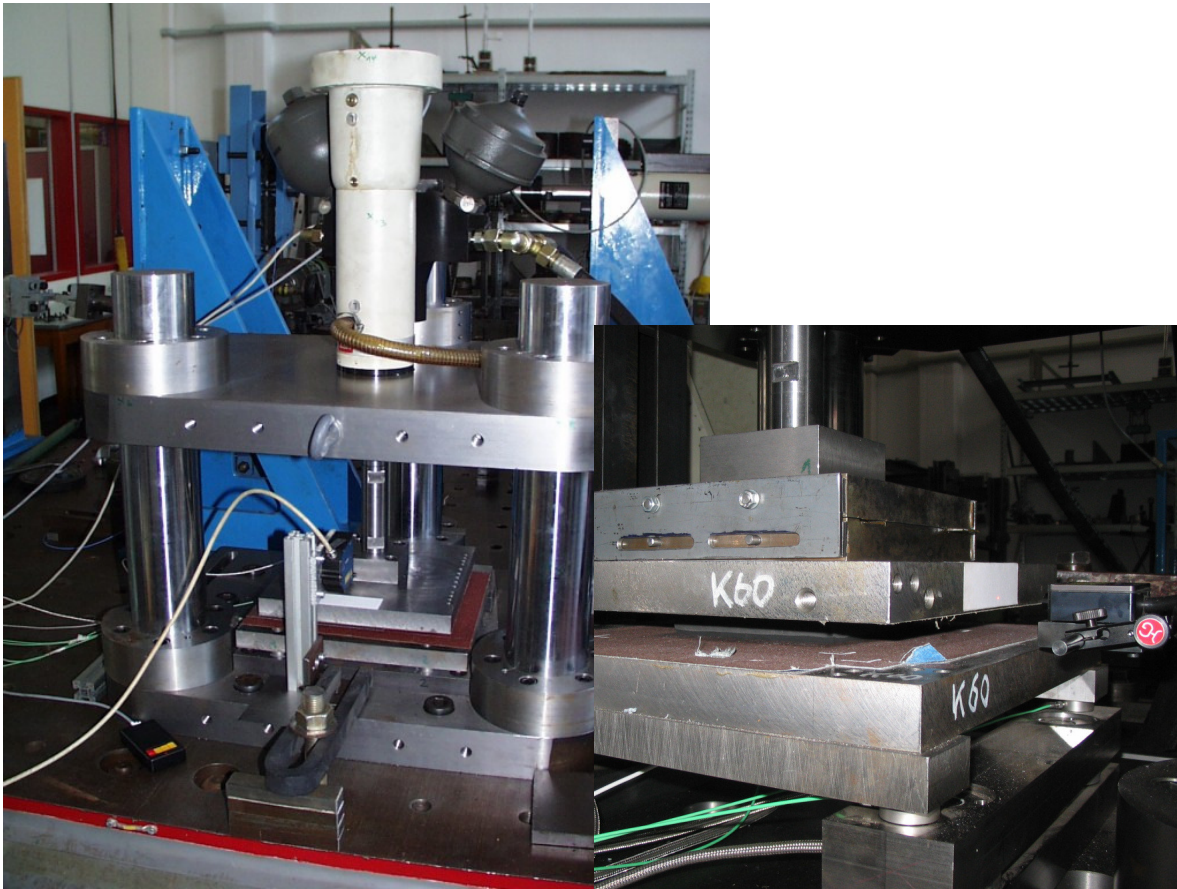


Bild 1: Prüfaufbau zur Charakterisierung des mechanischen Verhaltens von elastischen Schichten unter Druckbeanspruchung, Detail der mehrkomponentigen Messplattform und Prüfkörper Cipremont NR

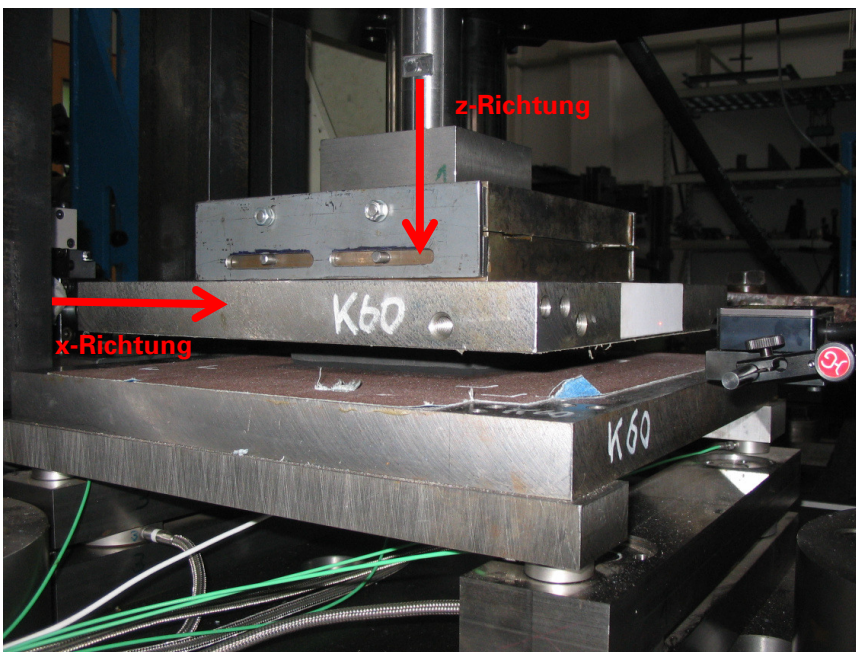


Bild 2: 2-Komponenten-Prüfaufbau zur Untersuchung des statischen und dynamischen Materialverhaltens unter Schubbeanspruchung mit Prüfkörper Cipremont NR

2.1 Probekörper

Sechs Probekörper vom Typ Cipremont NR mit den Abmessungen 120 mm x 120 mm wurden von der Calenberg Ingenieure GmbH in drei verschiedenen Materialstärken geliefert. Zur Versuchsdurchführung wurde je eine einlagige Konfiguration in den Materialstärken $d_0 = 15 \text{ mm}$, 25 mm und 35 mm herangezogen. Für die statischen bzw. dynamischen Untersuchungen wurde je ein Prüfkörper verwendet.

Alle Proben wurden eindeutig beschriftet. Vor Versuchsbeginn wurde für alle Probekörper die tatsächliche Dicke d_0 ermittelt, wobei der Abstand zwischen oberer und unterer Messplatte mit und ohne Probekörper herangezogen wurde. Eine zu vernachlässigende Druckkraft von 20 N ($2,26 \cdot 10^{-4} \text{ N/mm}^2$) wurde zur Bestimmung der Einfederung mit dem Prüfkörper eingestellt.

Die Ergebnisse sind in der in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Prüfkörper

Nr.	Abmessungen (mm x mm)	Soll-Dicke d (mm)	gemessene Dicke d_0 (mm)
Cipremont NR 15 mm	120 x 120	15	15,4
Cipremont NR 25 mm	120 x 120	25	26,9
Cipremont NR 35 mm	120 x 120	35	35,0

2.2 Umgebungsbedingungen

Die an den zwei Prüfplatten gemessene Temperatur betrug während der gesamten Versuchszeit zwischen 22 °C und 25 °C.

2.3 Bestimmung der statischen Federkennlinie unter Druckbeanspruchung

Die Bestimmung des statischen Materialverhaltens, die Berechnung des statischen Bettungsmoduls (statische spezifische Tangentensteifigkeit) und des statischen Tangentenmoduls erfolgte in Anlehnung an die DIN 4140-140.

Zur Ermittlung der Federkennlinie und der statischen spezifischen Tangentensteifigkeit wurde zunächst eine vernachlässigbare kleine Vorlast von 20 N ($2,1 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$) aufgebracht. Anschließend wurde innerhalb von 120 s die maximale Druckbelastung $\sigma_{D,max}$ von $4,0 \text{ N/mm}^2$ in Kraftregelung aufgebracht. Danach erfolgte die Entlastung bis zur Vorlast in der gleichen Art und Weise. Dieser Zyklus wurde dreimal wiederholt. Zwischen der Entlastung und der erneuten Belastung wurde die Ruhezeit von 300 s zur weitestgehenden Relaxation eingehalten. Die Ergebnisse des letzten Belastungszyklus wurden für die stati-

sche Charakterisierung verwendet. Die Werte für Verformung und Kraft wurden mit einer Abtastrate von 100 Hz aufgezeichnet.

Der statische Bettungsmodul $C_{g, \text{stat}}$ im Arbeitspunkt (F_z, z) bzw. (σ_D, z) wurden aus einer schrittweise linearen Approximation des Kraft-Verformungs-Verlaufs unter Verwendung folgender Gleichung berechnet:

$$C_{g, \text{stat}} = \frac{1}{A} \frac{dF_z}{dz} \Big|_{(F_z, z)} = \frac{d\sigma_D}{dz} \Big|_{(\sigma_D, z)}$$

in der F_z und z als gemessene Druckkraft und Verformung, σ_D als die Druckbelastung und A als die Probenfläche definiert sind. Der statische Bettungsmodul besitzt die Einheit $[\text{N}/\text{mm}^3]$.

Der statischen Tangentenmodul E_{stat} berechnet sich aus dem statischen Bettungsmodul unter Verwendung der unverformten Probendicke d_0 nach folgender Gleichung:

$$E_{\text{stat}} = d_0 \cdot C_{g, \text{stat}} = d_0 \frac{1}{A} \frac{dF_z}{dz} \Big|_{(F_z, z)} = d_0 \frac{d\sigma_D}{dz} \Big|_{(\sigma_D, z)}$$

Die Einheit des statischen Tangentenmoduls ist wie folgt definiert $[\text{N}/\text{mm}^2]$.

2.4 Bestimmung der dynamischen Steifigkeits- und Dämpfungskennwerte

Die Ermittlung des frequenz- und amplitudenabhängigen dynamischen (vertikalen) Bettungsmoduls (bzw. der dynamischen spezifischen Steifigkeit) erfolgte in Anlehnung an die DIN 53513.

Die Untersuchungen wurden für nachfolgende Stufen der statischen Vorlast σ_D durchgeführt.

- 8 Vorlaststufen $\sigma_D = 0,5 \text{ N}/\text{mm}^2$ bis $4,0 \text{ N}/\text{mm}^2$

Nach einer Haltezeit von 5 min, um die wesentlichen Kriechdeformationen abzuwarten, wurde der statischen Mittellast in Kraftregelung eine sinusförmige Verformung mit einer Schwingschnelle von 1 mm/s überlagert. Der so genannte Trimodal-Regler wurde für die gleichzeitige Regelung dieser zwei Parameter - Kraftmittelwert und Wegamplitude - unter Gewährleistung von sehr kleinen Toleranzen genutzt. Alle Versuche wurden schrittweise in einem Frequenzbereich von 2 Hz bis 50 Hz mit 49 Stützstellen in logarithmischer Teilung durchgeführt. Die Software RS MePar berechnet die dynamische Steifigkeit und den Verlustfaktor für jeden Arbeitspunkt $(F_{z,m})$ und jede Frequenz f . Als Grundlage der Berechnung wurden nur die Grundharmonischen (1. Fourierordnung) der Kraft- und Wegamplitude $F_{z, \text{Fou}}$, z_{Fou} und des Phasenwinkels φ zwischen Kraft $F_{z, \text{Fou}}$ und Verformung z_{Fou} verwendet.

Der dynamische (vertikale) Bettungsmodul bzw. die dynamische spezifische Steifigkeit berechnet sich unter Verwendung der Probenfläche A nach folgender Gleichung. Die Einheit ist $[\text{N}/\text{mm}^3]$.

$$C_{g,\text{dyn}} = \frac{1}{A} \left. \frac{F_{z\text{FOU}}}{z_{\text{FOU}}} \right|_{(f, F_{z,m}, z_{\text{FOU}})} = \left. \frac{\sigma_{D\text{FOU}}}{z_{\text{FOU}}} \right|_{(f, \sigma_{D,m}, z_{\text{FOU}})}$$

Der dynamische E-Modul E_{dyn} berechnet sich wie folgt aus dem dynamischen Bettungsmodul:

$$E_{\text{dyn}} = d_0 \cdot C_{g,\text{dyn}} = \frac{1}{A} \cdot d_0 \cdot \left. \frac{F_{z\text{FOU}}}{z_{\text{FOU}}} \right|_{(f, F_{z,m}, z_{\text{FOU}})} = d_0 \cdot \left. \frac{\sigma_{D\text{FOU}}}{z_{\text{FOU}}} \right|_{(f, \sigma_{D,m}, z_{\text{FOU}})}$$

wobei d_0 der Dicke des undeformierten Prüfkörpers entspricht. Die Einheit ergibt sich zu $[\text{N}/\text{mm}^2]$.

Der Verlustfaktor η berechnet sich wie folgt aus dem Phasenwinkel zwischen Kraft $F_{z\text{FOU}}$ und Verformung z_{FOU} :

$$\eta = \tan \varphi_{F_z - z}$$

Der Dämpfungsgrad ϑ ist der frequenzabhängige Dämpfungsparameter, welcher sich aus den dynamischen Grundgrößen wie folgt berechnet:

$$\vartheta = \frac{c_{x,\text{dyn}} \cdot \sin \varphi_{F_z - z}}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{c_{x,\text{dyn}} \cdot m \cdot \cos \varphi_{F_z - z}}} = \frac{C_{g,\text{dyn}} \cdot \sin \varphi_{F_z - z}}{4 \cdot \pi \cdot f} \sqrt{\frac{g}{C_{g,\text{dyn}} \cdot \sigma_D \cdot \cos \varphi_{F_z - z}}}$$

Abweichend vom DIBT-Entwurf wurde für die dynamischen Untersuchungen nur je ein Prüfkörper herangezogen.

2.5 Berechnung der Eigenfrequenz einer elastischen Bettung

In Abhängigkeit von der vorlast- und frequenzabhängigen dynamischen spezifischen Steifigkeit wurde die Eigenfrequenz einer elastischen Bettung (Schwingungssystem mit einem Freiheitsgrad, vertikale Bewegung) bestehend aus der Masse m und einer darunter liegenden elastischen Schicht (Cipremont NR) berechnet. Die Eigenfrequenz f_0 berechnet sich nach der Gleichung

$$f_0(\sigma_D, f) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{g,\text{dyn}}(\sigma_D, f) \cdot A}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{g,\text{dyn}}(\sigma_D, f) \cdot g}{\sigma_D}}$$

mit der Frequenz f , dem vertikalen Bettungsmodul $C_{g,\text{dyn}} = C_{g,\text{dyn}}(m, f) = C_{g,\text{dyn}}(\sigma_D, f)$ als Funktion der Frequenz und Mittellast und der Erdbeschleunigung g . Durch die lineare Approximation der frequenzabhängigen dynamischen Steifigkeit in halblogarithmischer Darstellung in jedem Arbeitspunkt ist eine iterative Lösung ($i = 0, 1, 2, \dots$) der oben genannten Gleichung möglich. Die Eigenfrequenz f_0 wird ausgehend vom Startwert $f_{0,0}$ wie folgt berechnet:

$$f_{0,i+1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{g,dyn}(\sigma_D, f_{0,i}) \cdot g}{\sigma_D}}$$

Innerhalb von 10 Berechnungsschritten konvergiert das Ergebnis.

2.6 Bestimmung des statischen Materialverhaltens unter Schubbeanspruchung

Die Bestimmung der statischen Kennlinie in Schubrichtung und der daraus berechneten statischen spezifischen Schubsteifigkeit erfolgte in Anlehnung an DIN ISO 1827. Nach Aufbringen der geforderten statischen Vorlast in Druckrichtung (25% und 100% der statischen Maximalbelastung $\sigma_{D,max}$) wurde das Prüfmuster in Wegregelung mit einer Verformungsgeschwindigkeit von 0,1 mm/s um ± 4 mm in Schubrichtung belastet. Dieser Zyklus wurde insgesamt dreimal durchlaufen. Zur Darstellung der statischen Kennlinie und zur Berechnung der von der Stauchung abhängigen Schubsteifigkeit fand der dritte Belastungszyklus Verwendung. Die Messwerte für Kraft und Verformung wurden simultan mit einer Abtastrate von 100 Hz aufgezeichnet.

Die statische spezifische Schubsteifigkeit $C_{x,stat}$ im Arbeitspunkt (F_z, z) bzw. (σ_D, z) wurden aus einer schrittweise linearen Approximation des Kraft-Verformungs-Verlaufs unter Verwendung folgender Gleichung berechnet:

$$C_{x,stat} = \frac{1}{A} \frac{dF_x}{dx} \Big|_{[F_z, z]} = \frac{d\tau_{zx}}{dx} \Big|_{[\sigma_D, z]}$$

in der F_x und x als gemessene Querkraft und Schubverformung, sowie τ_{zx} (τ_{zy}) als die Schubspannung und A als die Probenfläche definiert sind. Die statische spezifische Schubsteifigkeit besitzt die Einheit [N/mm³].

Der statische Schubmodul $G_{x,stat}$ berechnet sich aus der statischen spezifischen Schubsteifigkeit $C_{x,stat}$ unter Verwendung der unverformten Probendicke d_0 nach folgender Gleichung:

$$G_{x,stat} = d_0 \cdot C_{x,stat} = \frac{\tau_{zx}}{\gamma}$$

Die Einheit des statischen Schubmoduls ergibt sich damit zu [N/mm²].

Die Darstellung der statischen Schubverformungskennlinie erfolgte in Abhängigkeit der Gleitung γ . Die Grundlage für die Berechnung stellte die Probendicke d_1 unter statischer Druckvorlast $\sigma_{D,m}$ dar.

$$\gamma = \frac{x}{d_1}$$

2.7 Bestimmung des dynamischen Verhaltens unter Schubbeanspruchung

Die Bestimmung der dynamischen spezifischen Schubsteifigkeit und des dynamischen Schubmoduls erfolgte in Anlehnung an Punkt 4.1 des DIBT-Entwurfs. Nach Aufbringen der geforderten statischen Vorlast $\sigma_{D,m}$ in Druckrichtung (25% und 100% der statischen Maximalbelastung $\sigma_{D,max}$) wurde in Kraftregelung – abweichend zu Abschnitt 4.5 des DIBT-Entwurfs vom 4. April 2008 – eine sinusförmige Verformung mit einer konstanten Schwingungsamplitude von 0,2 mm in Schubrichtung überlagert.

Alle Versuche wurden schrittweise in einem Frequenzbereich von 2 Hz bis 40 Hz mit 39 Stützstellen in linearer Teilung durchgeführt. Analog zu Kap. 2.4 erfolgte die Bestimmung der dynamischen spezifischen Schubsteifigkeit und des dynamischen Schubmoduls für jeden Arbeitspunkt ($F_{Z,m}$) und jede Frequenz f .

Als Grundlage der Berechnung wurden ebenfalls nur die Grundharmonischen (1. Fourierordnung) der Kraft- und Wegamplitude $F_{x,FOU}$, x_{FOU} und des Phasenwinkels φ zwischen Kraft $F_{x,FOU}$ und Verformung x_{FOU} verwendet.

Die dynamische spezifische Schubsteifigkeit berechnet sich unter Verwendung der Probenfläche A nach folgender Gleichung. Die Einheit ist $[N/mm^3]$.

$$C_{x,dyn} = \frac{1}{A} \left. \frac{F_{x,FOU}}{x_{FOU}} \right|_{(f, F_{Z,m}, x_{FOU})} = \frac{\tau_{ZX,FOU}}{x_{FOU}} \Big|_{(f, \sigma_{D,m}, x_{FOU})}$$

Der dynamische Schubmodul $G_{x,dyn}$ berechnet sich wie folgt aus der dynamischen spezifischen Schubsteifigkeit:

$$G_{x,dyn} = d_0 \cdot C_{x,dyn} = \frac{1}{A} \cdot d_0 \cdot \left. \frac{F_{x,FOU}}{x_{FOU}} \right|_{(f, F_{Z,m}, x_{FOU})} = d_0 \cdot \frac{\tau_{ZX,FOU}}{x_{FOU}} \Big|_{(f, \sigma_{D,m}, x_{FOU})},$$

wobei d_0 der Dicke des nicht verformten Prüfkörpers entspricht. Die Einheit ergibt sich zu $[N/mm^2]$. Für die dynamischen Schubversuche wurde je ein Prüfkörper pro Materialstärke verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Lagerausbreitung unter konstanter Druckbelastung

Tabelle 2: Lagerausbreitung bei max. Vorlast $\sigma_{D,max} = 4,0 \text{ N/mm}^2$ von Cipremont NR

	Lagerdicke	Randabstand unbelastet	Randabstand belastet	Differenz	Lagerendmaß	
	mm	mm	mm	mm	mm	
Neuer Werkstoff 05.11.2008 (Nr.1)	15	95	78	17	154	Lagerlänge
		95	79	16	152	Lagerbreite
Neuer Werkstoff 05.11.2008 (Nr.1)	25	95	74	21	162	Lagerlänge
		95	73	22	164	Lagerbreite
Neuer Werkstoff 05.11.2008 (Nr.1)	35	95	72	23	166	Lagerlänge
		95	73	22	164	Lagerbreite

3.2 Statisches Materialverhalten unter Druckbeanspruchung

3.2.1 Federkennlinie

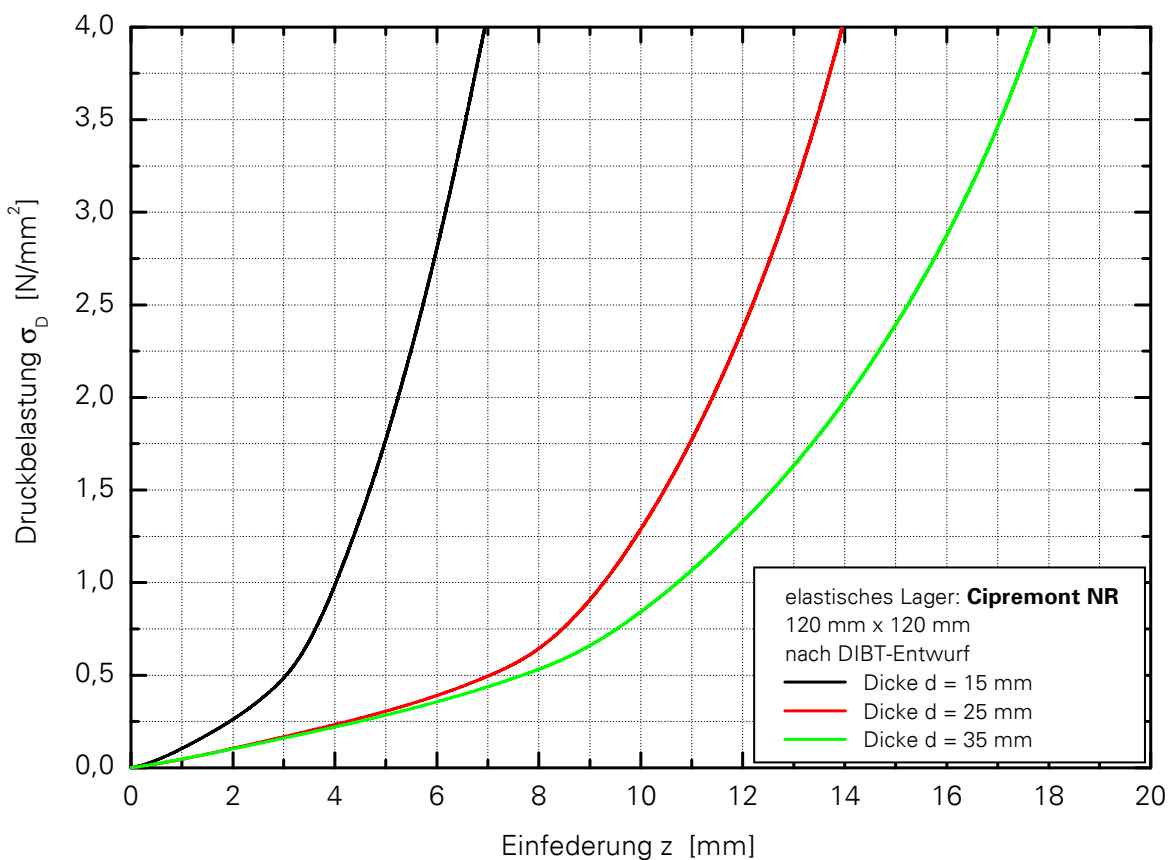


Bild 3: Darstellung der Federkennlinie für Flächenlager des Typs Cipremont NR

3.2.2 Statischer Bettungsmodul

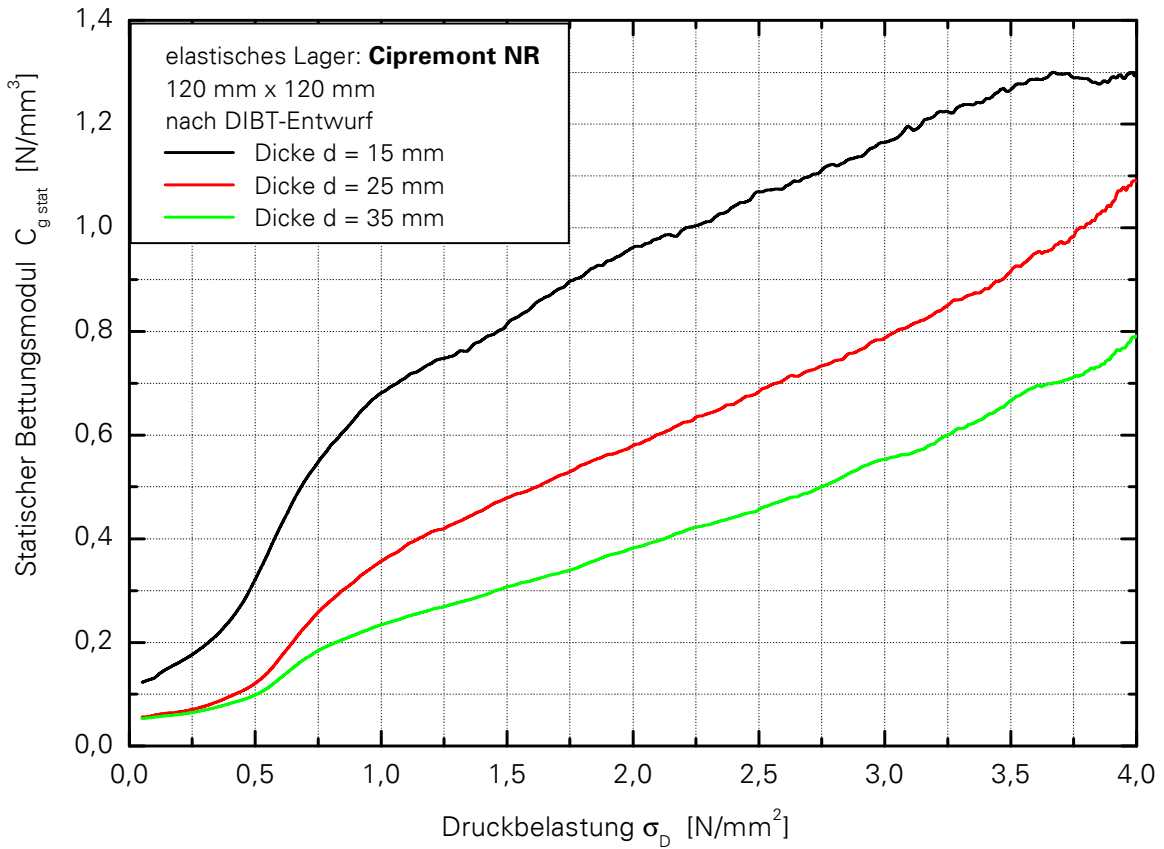


Bild 4: Darstellung des statischen Bettungsmoduls für Flächenlager Cipremont NR

3.2.3 Statischer Tangentenmodul

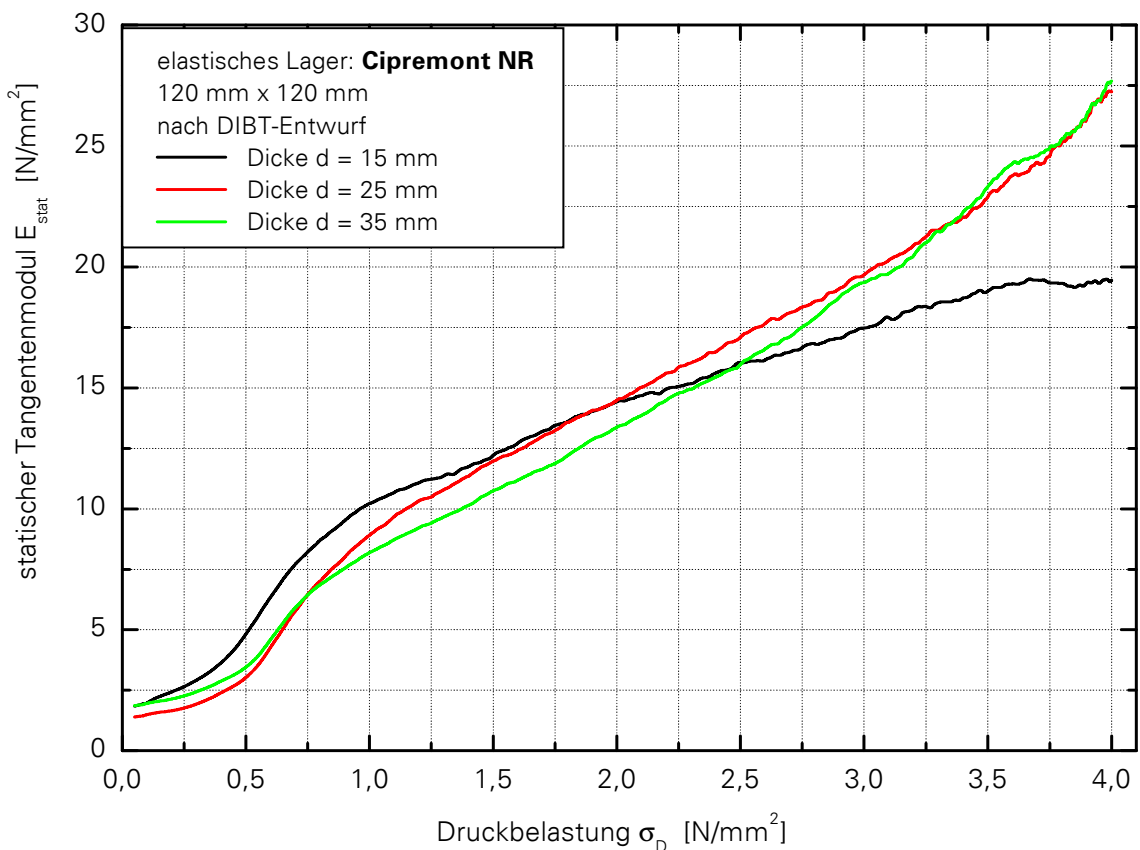


Bild 5: Darstellung des statischen Tangentenmoduls für Flächenlager Cipremont NR

3.3 Dynamisches Verhalten unter Druckbeanspruchung

3.3.1 Dynamischer Bettungsmodul

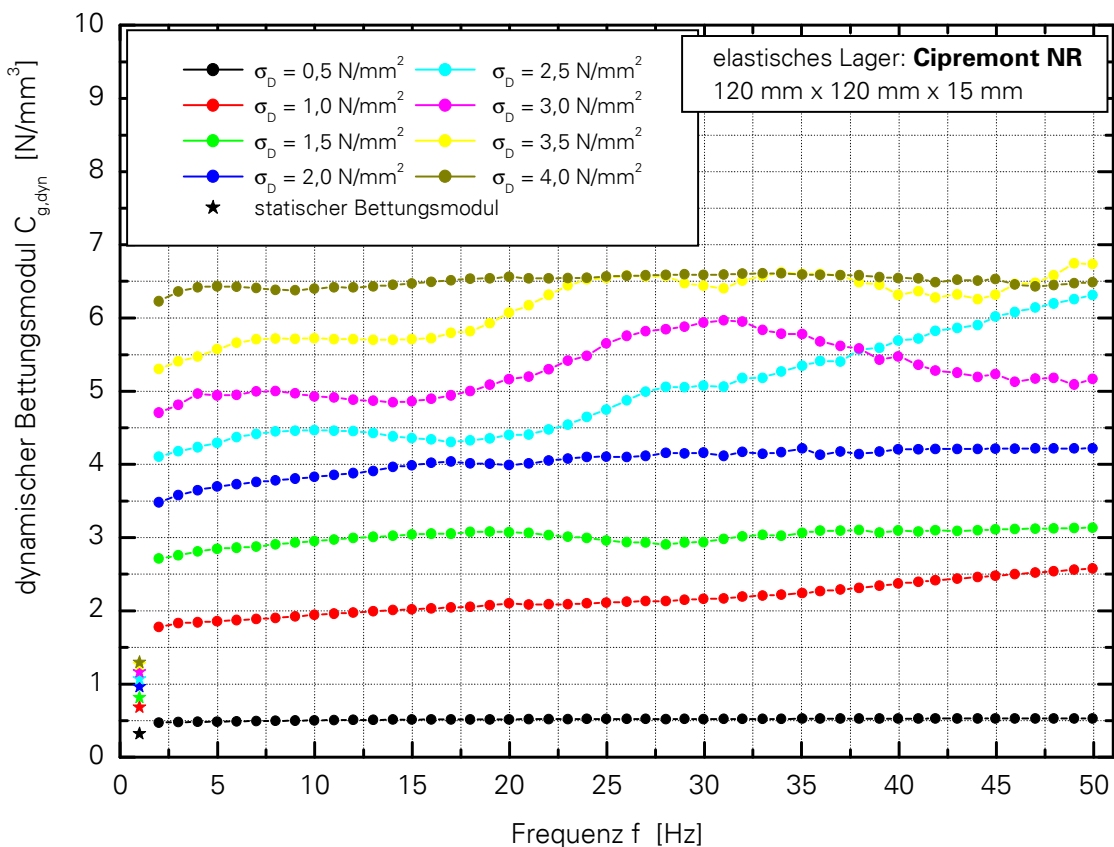


Bild 6: Dynamischer Bettungsmodul von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 15 \text{ mm}$

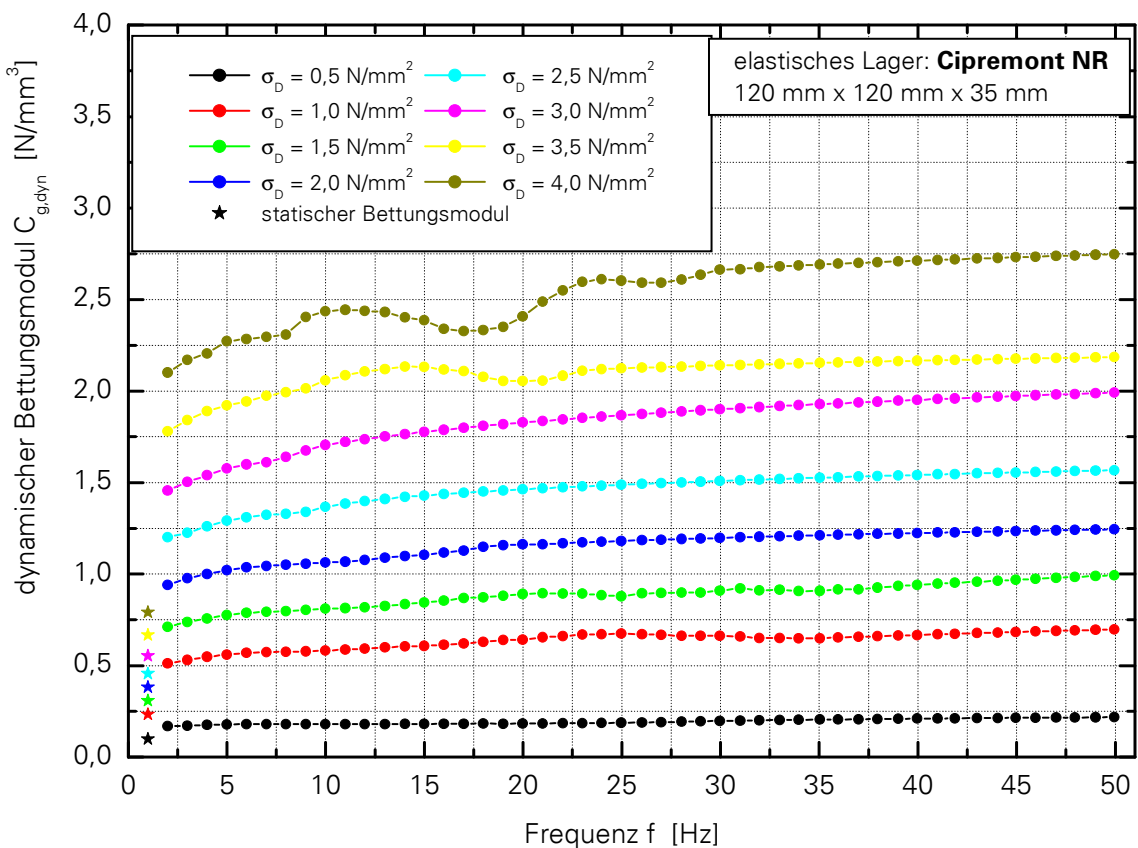


Bild 7: Dynamischer Bettungsmodul von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 25 \text{ mm}$

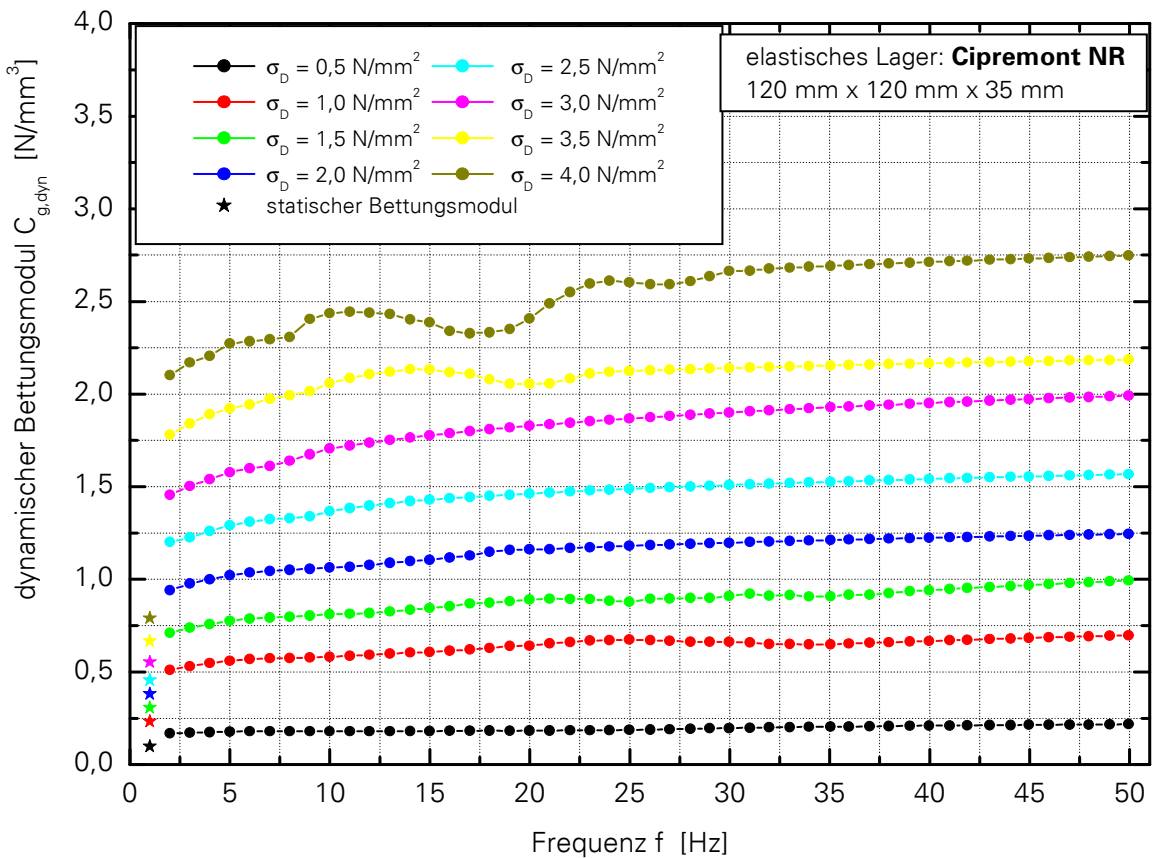


Bild 8: Dynamischer Bettungsmodul von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 35 \text{ mm}$

3.3.2 Dynamischer E-Modul

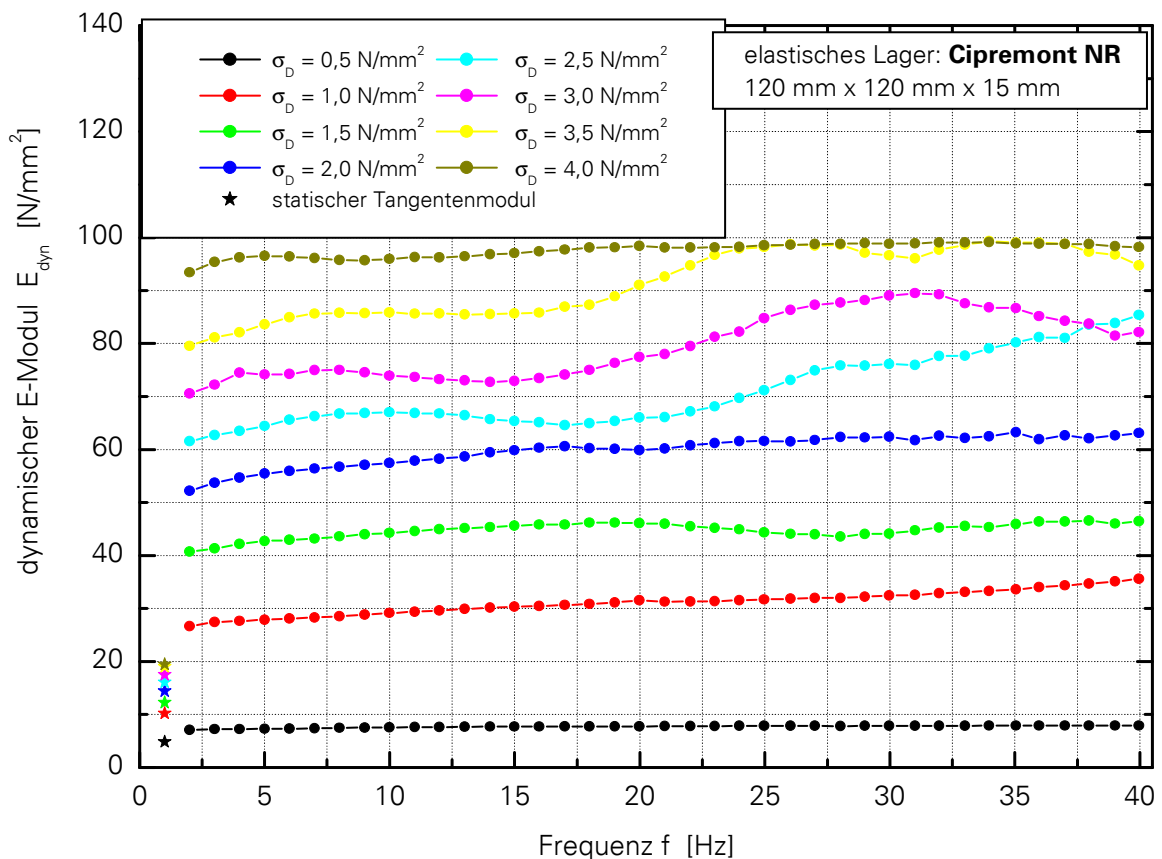


Bild 9: Dynamischer E-Modul von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 15 \text{ mm}$

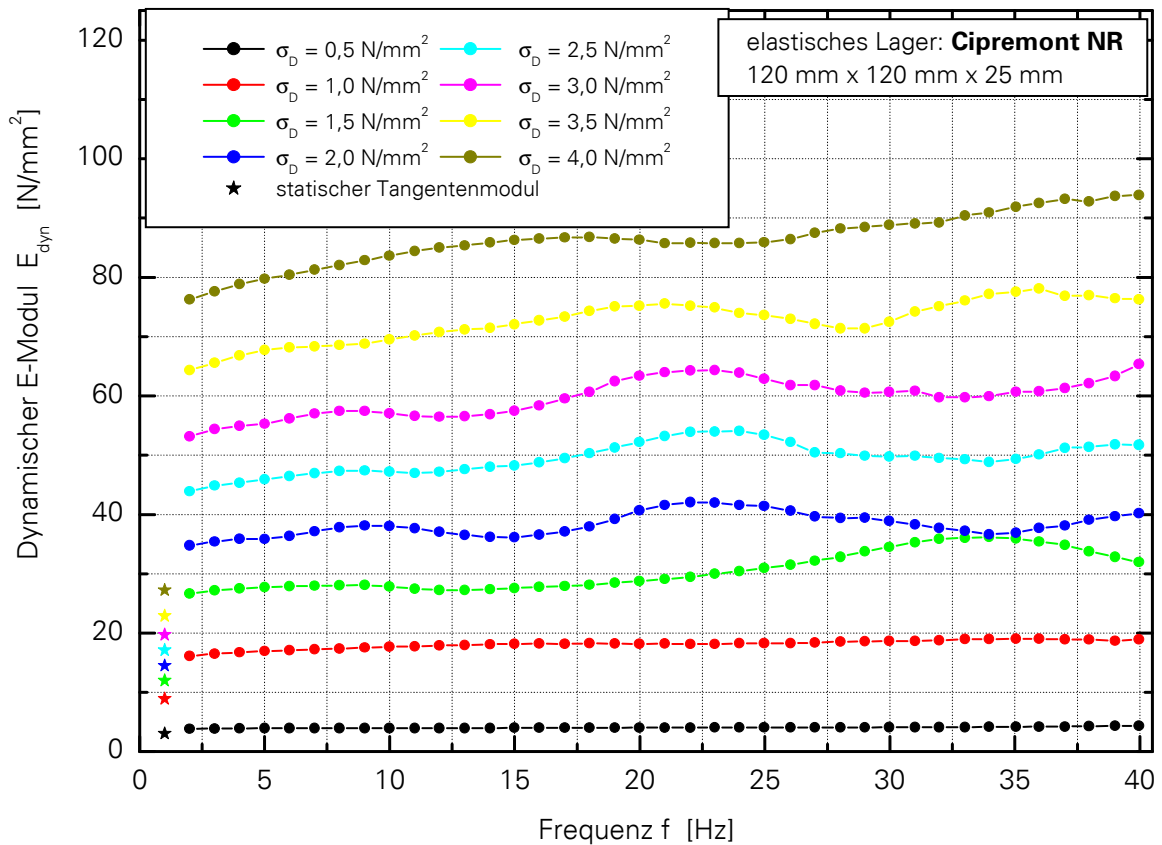


Bild 10: Dynamischer E-Modul von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 25 \text{ mm}$

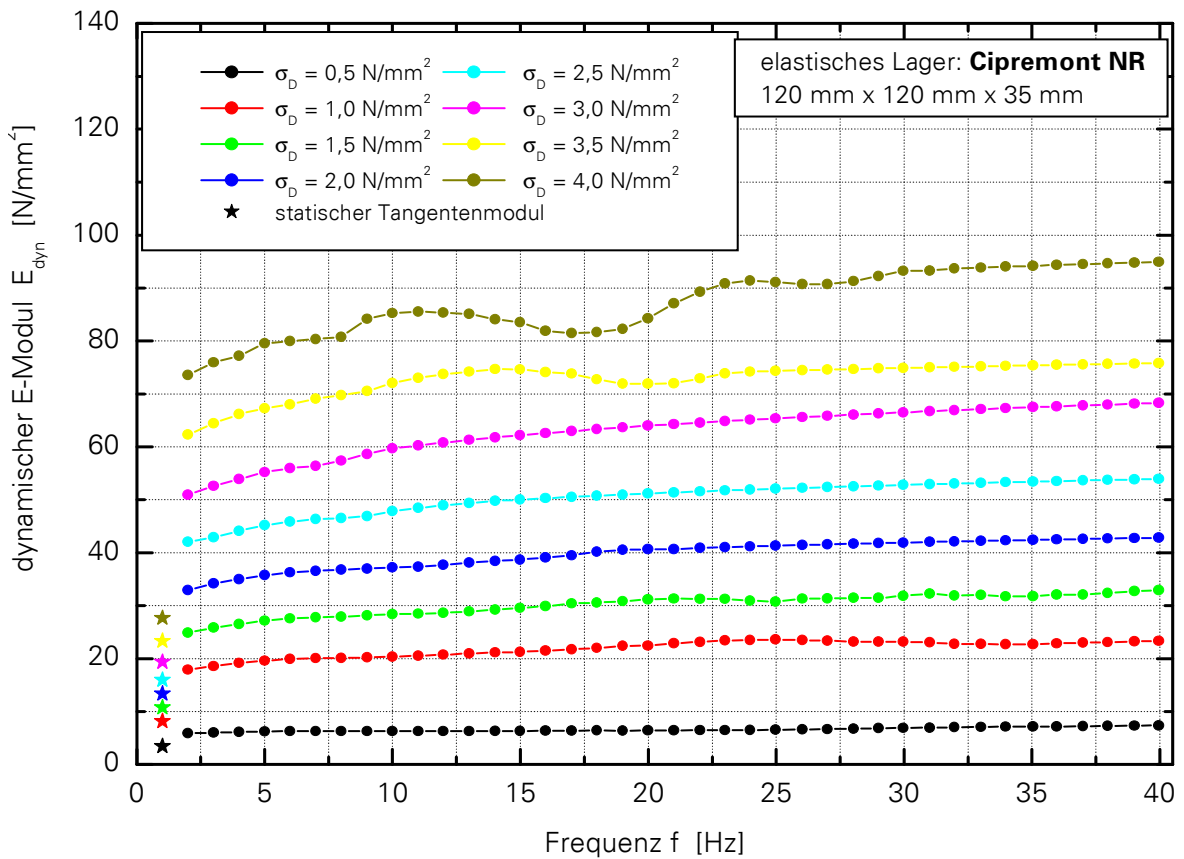


Bild 11: Dynamischer E-Modul von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 35 \text{ mm}$

3.3.3 Verlustfaktor

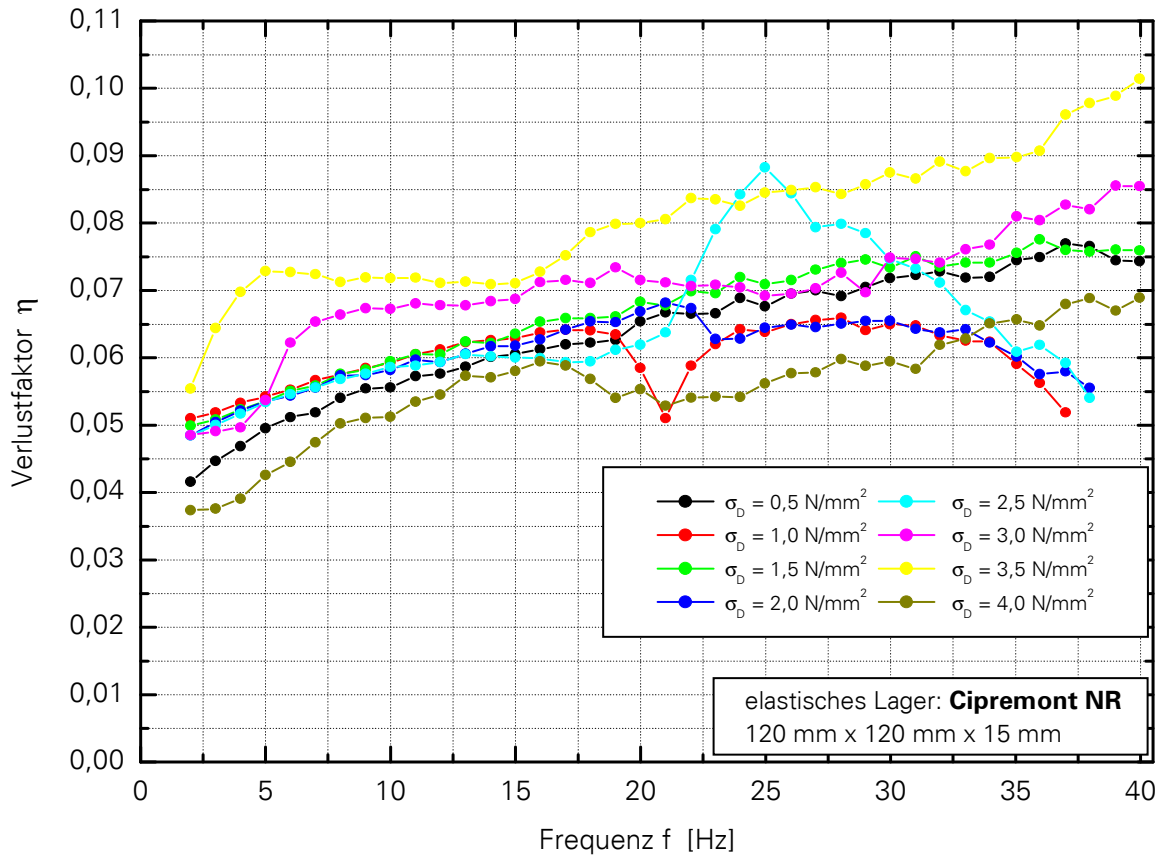


Bild 12: Verlustfaktor von Cipremont NR bei $v = 1$ mm/s, $d = 15$ mm

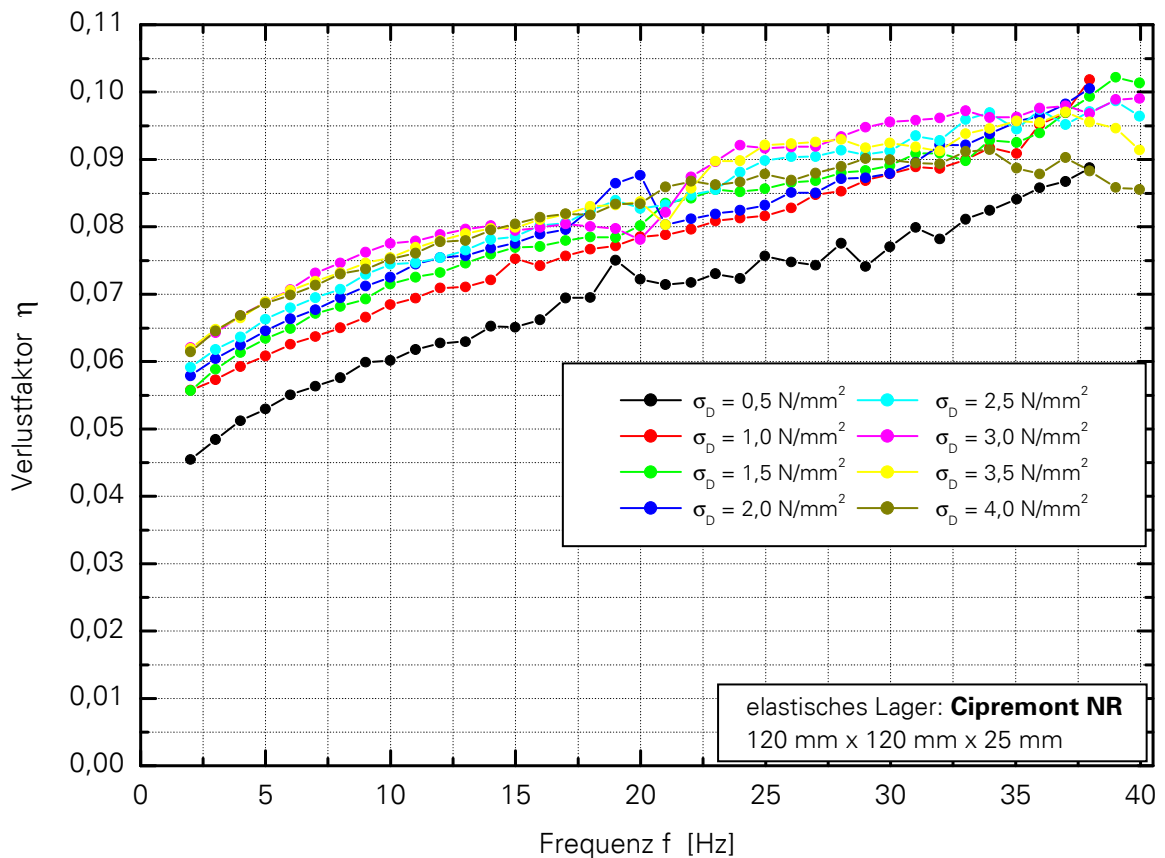


Bild 13: Verlustfaktor von Cipremont NR bei $v = 1$ mm/s, $d = 25$ mm

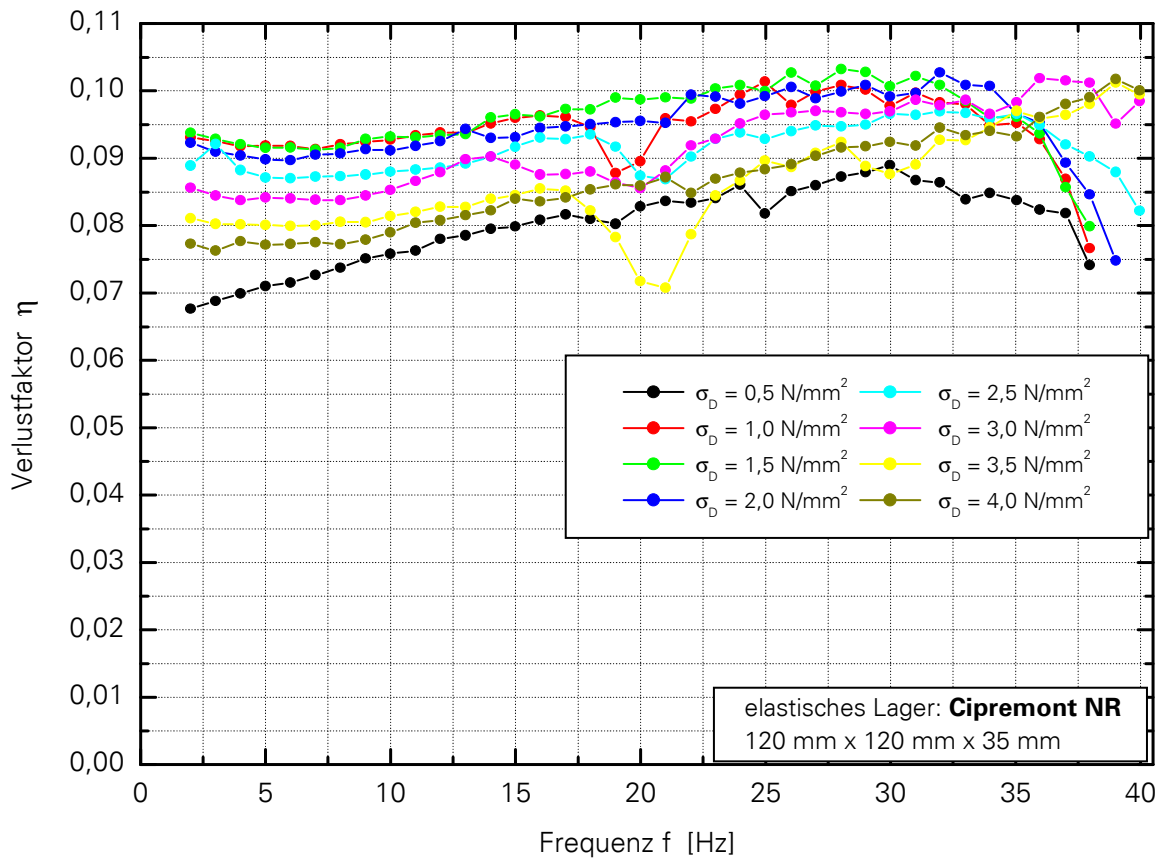


Bild 14: Verlustfaktor von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 35 \text{ mm}$

3.3.4 Dämpfungsgrad

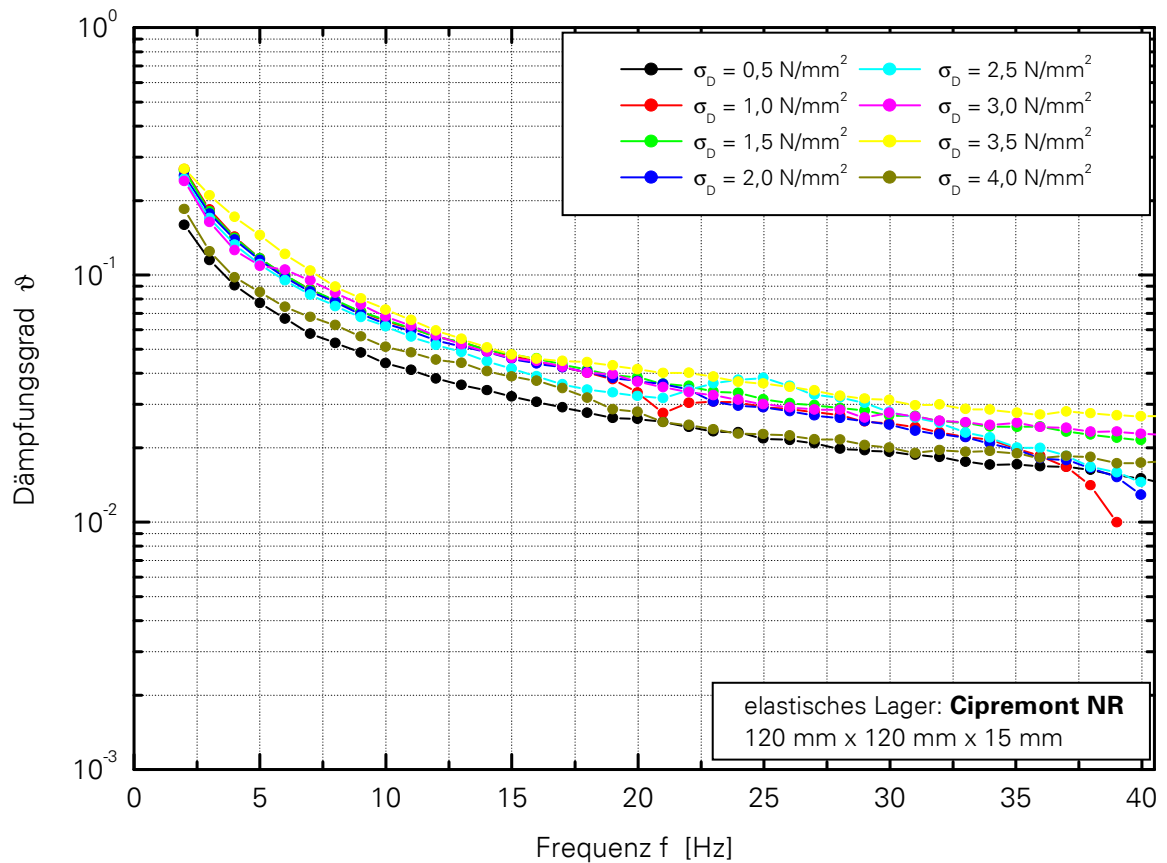


Bild 15: Dämpfungsgrad von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 15 \text{ mm}$

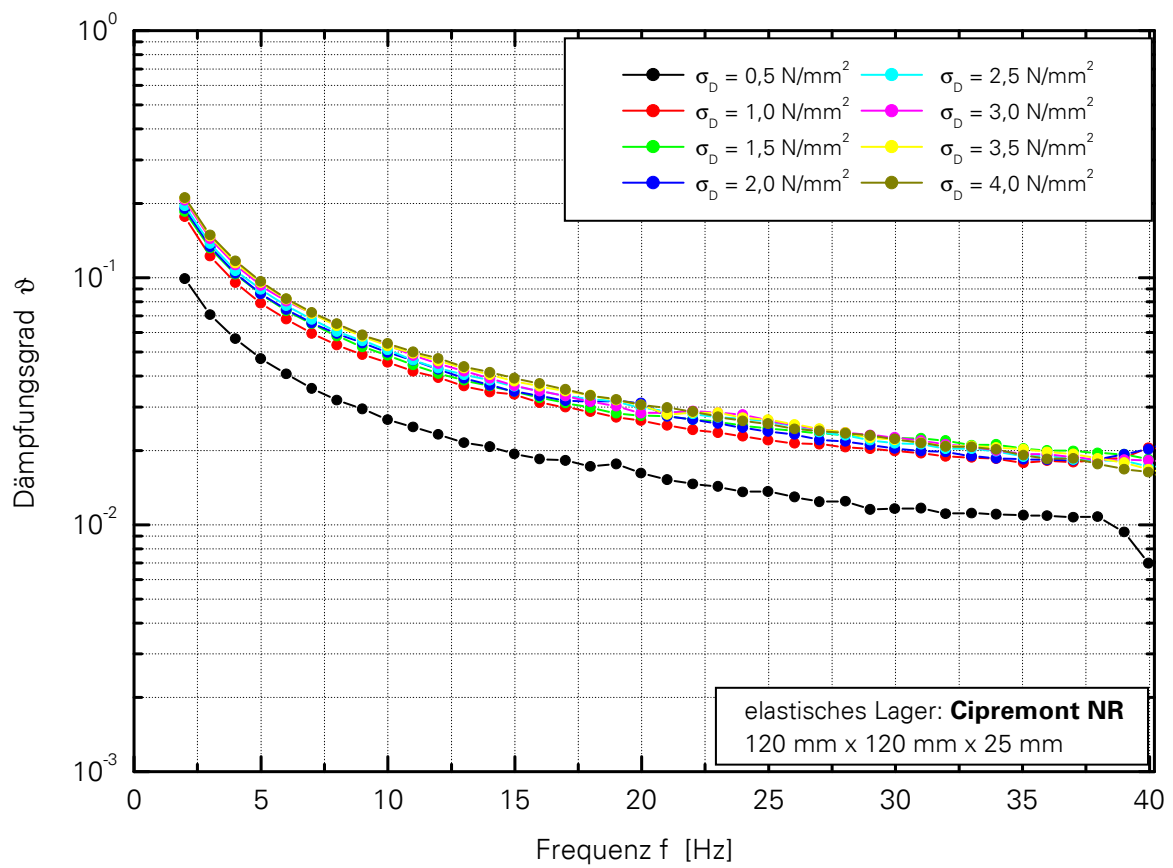


Bild 16: Dämpfungsgrad von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 25 \text{ mm}$

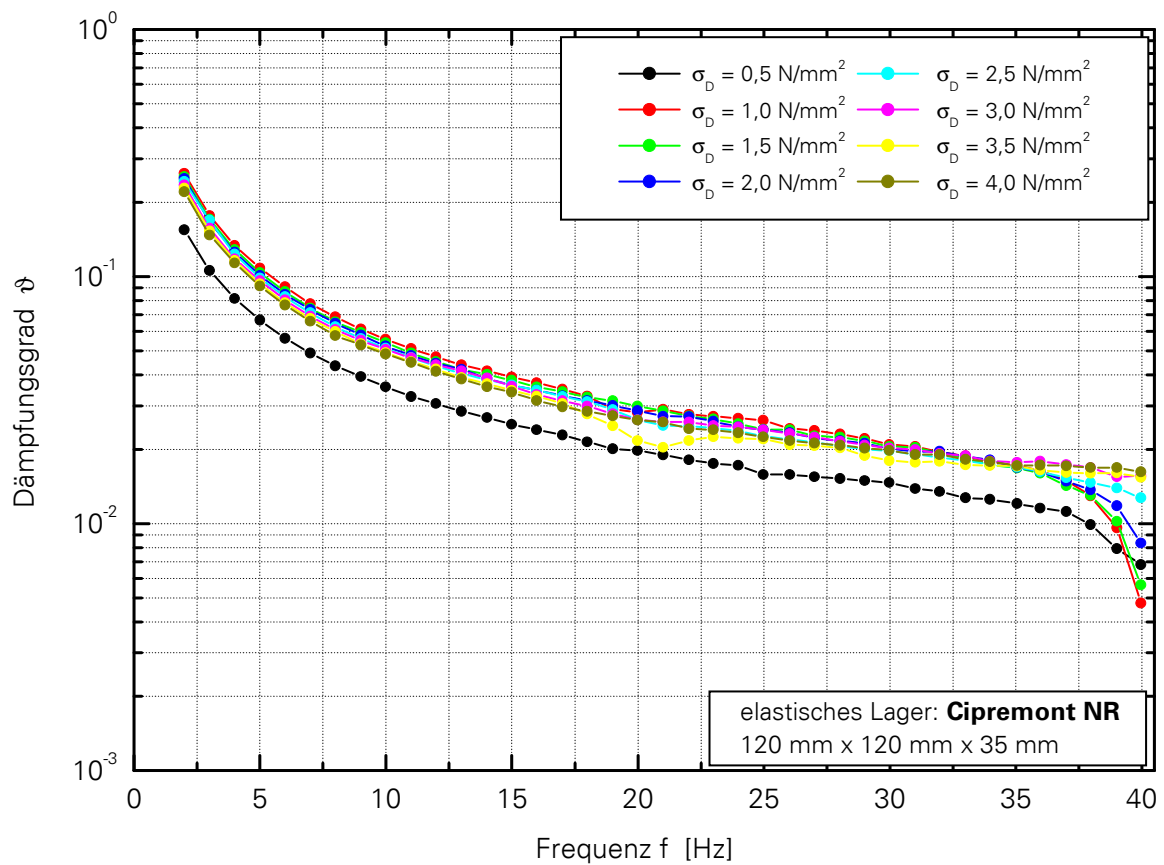


Bild 17: Dämpfungsgrad von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, $d = 35 \text{ mm}$

3.3.5 Eigenfrequenz

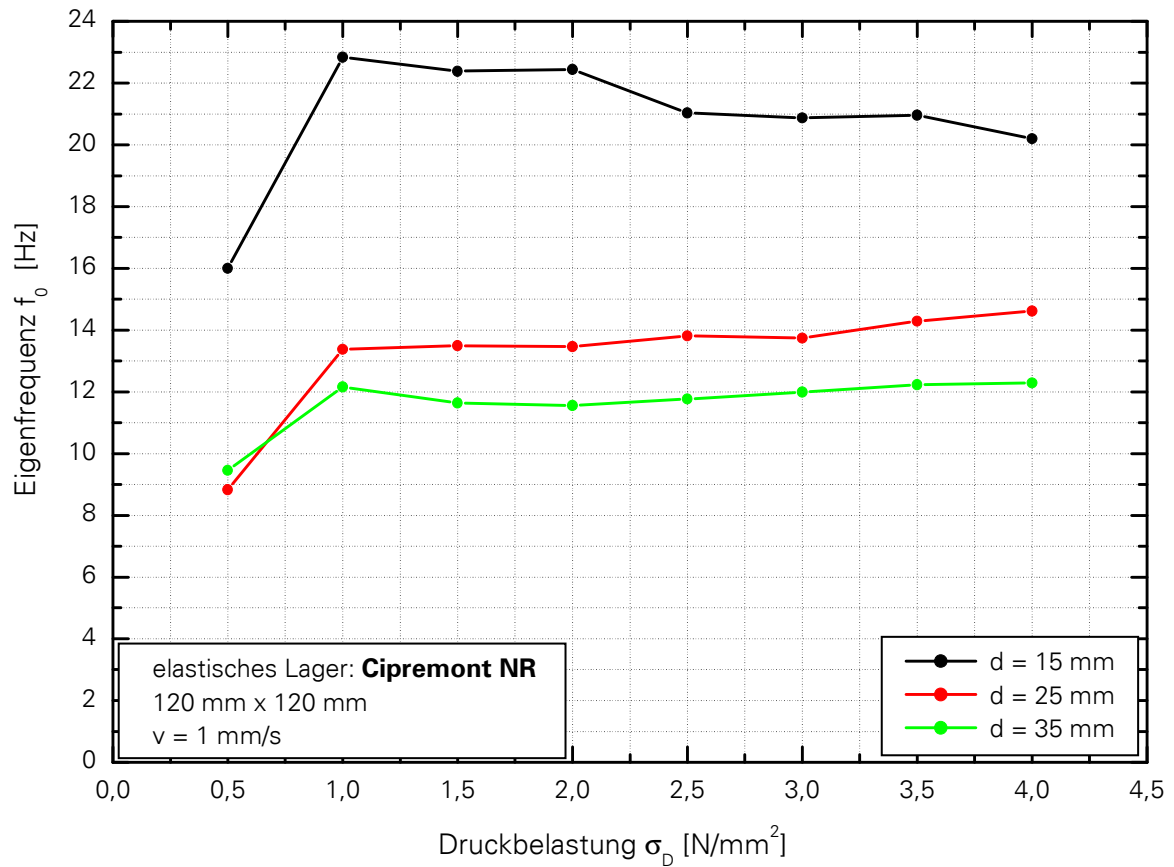


Bild 18: Vergleich der berechneten Eigenfrequenzen einer elastischen Bettung von Cipremont NR bei $v = 1 \text{ mm/s}$, alle Prüfkörper

3.4 Statisches Materialverhalten unter Schubbeanspruchung

3.4.1 Statische Schubfederkennlinie

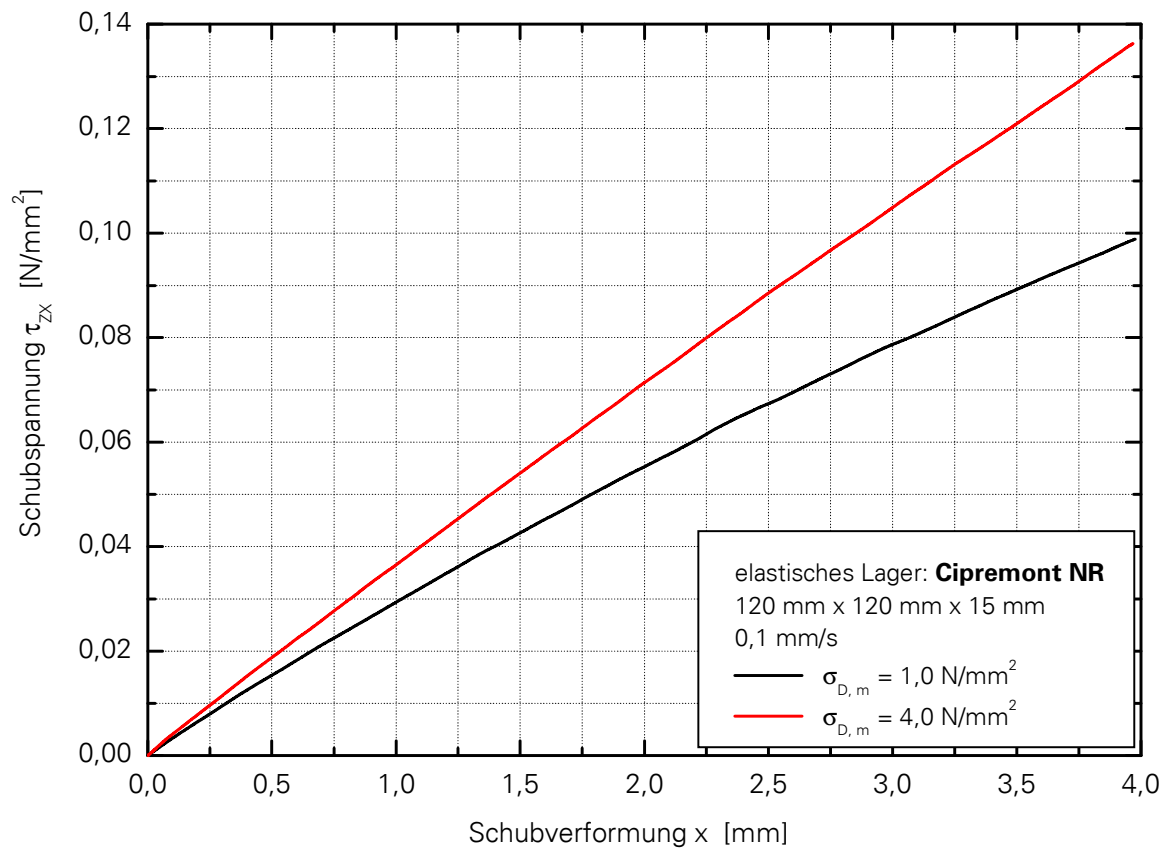


Bild 19: Darstellung der Schubverformung von Cipremont NR, $d = 15$ mm

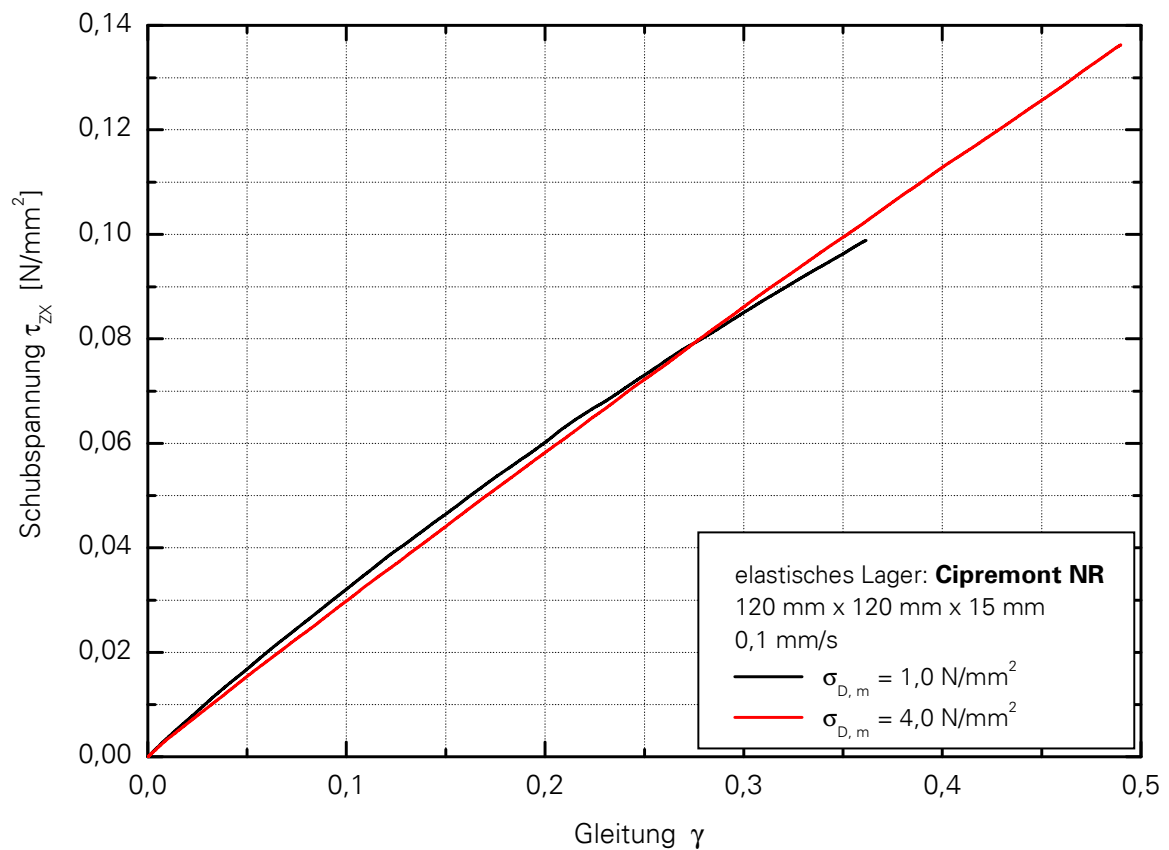


Bild 20: Darstellung der Schubfederkennlinie von Cipremont NR, $d = 15$ mm

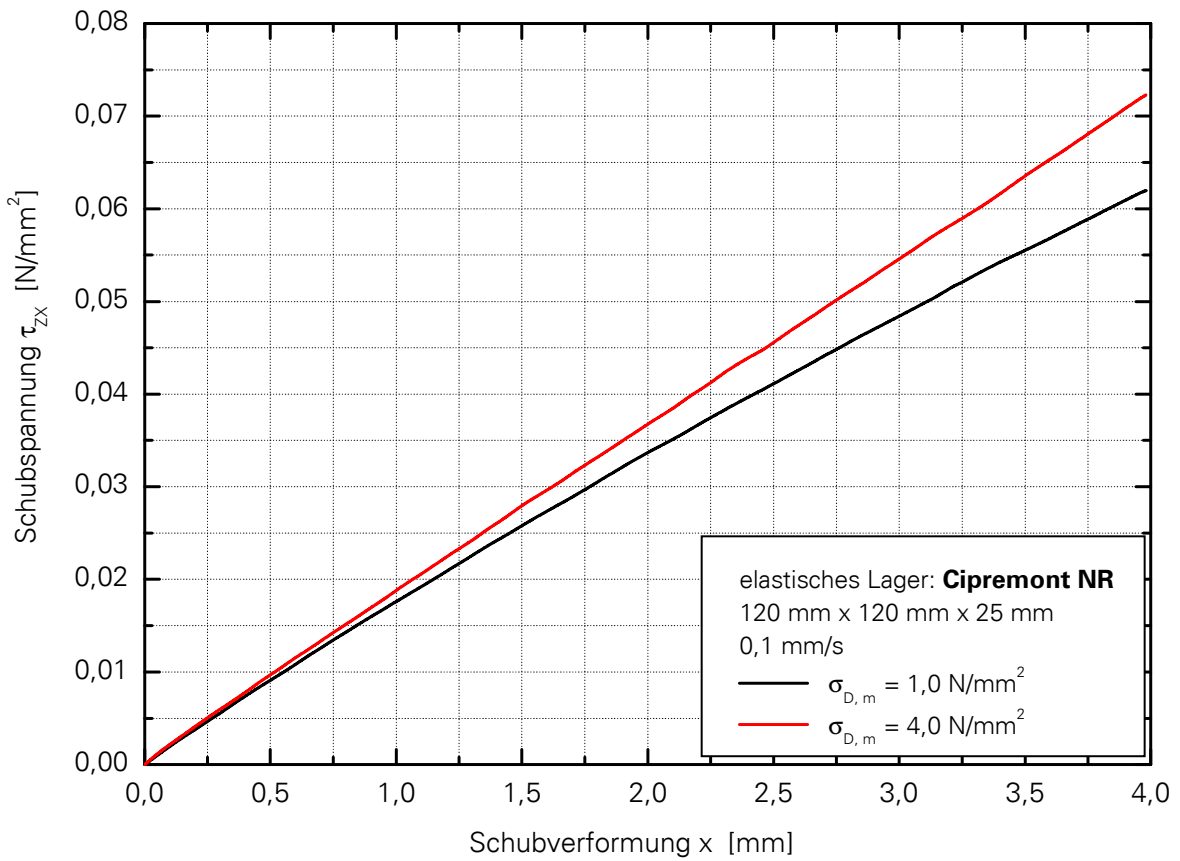


Bild 21: Darstellung der Schubverformung von Cipremont NR, d = 25 mm

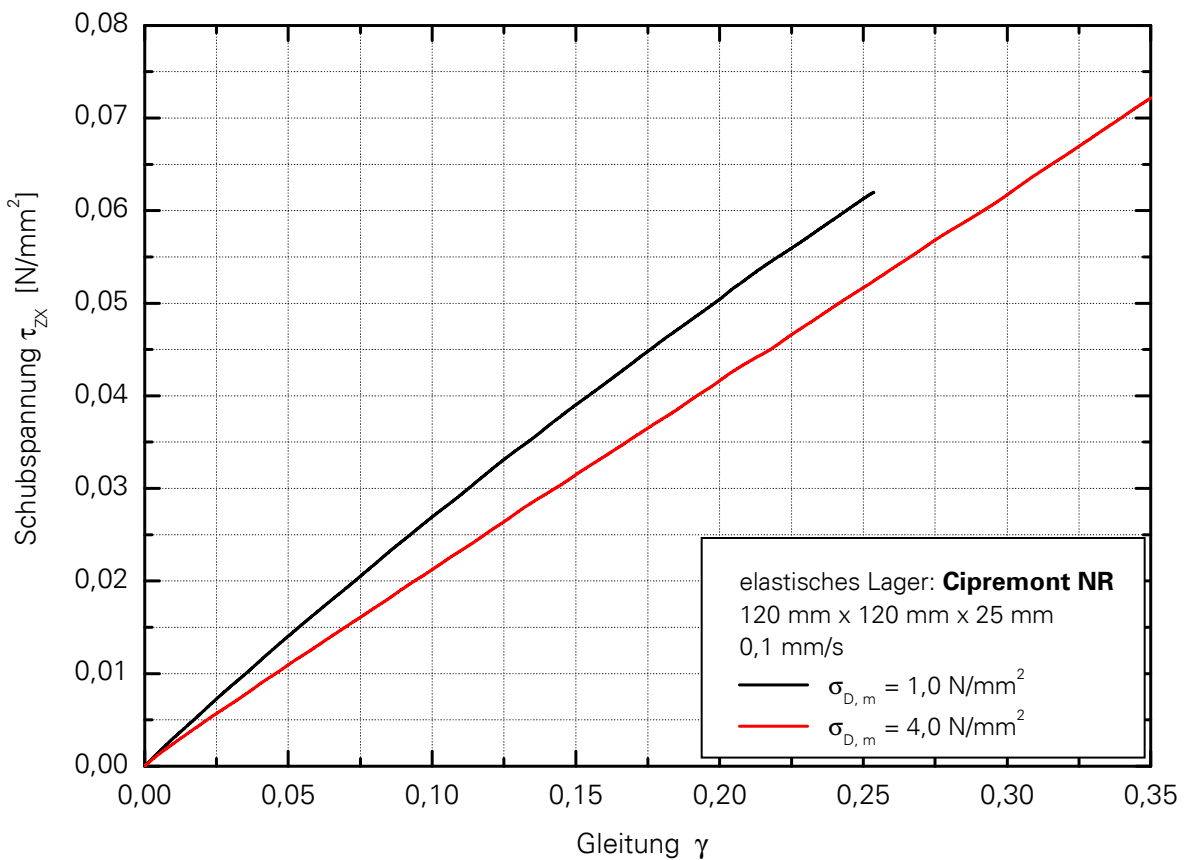


Bild 22: Darstellung der Schubfederkennlinie von Cipremont NR, d = 25 mm

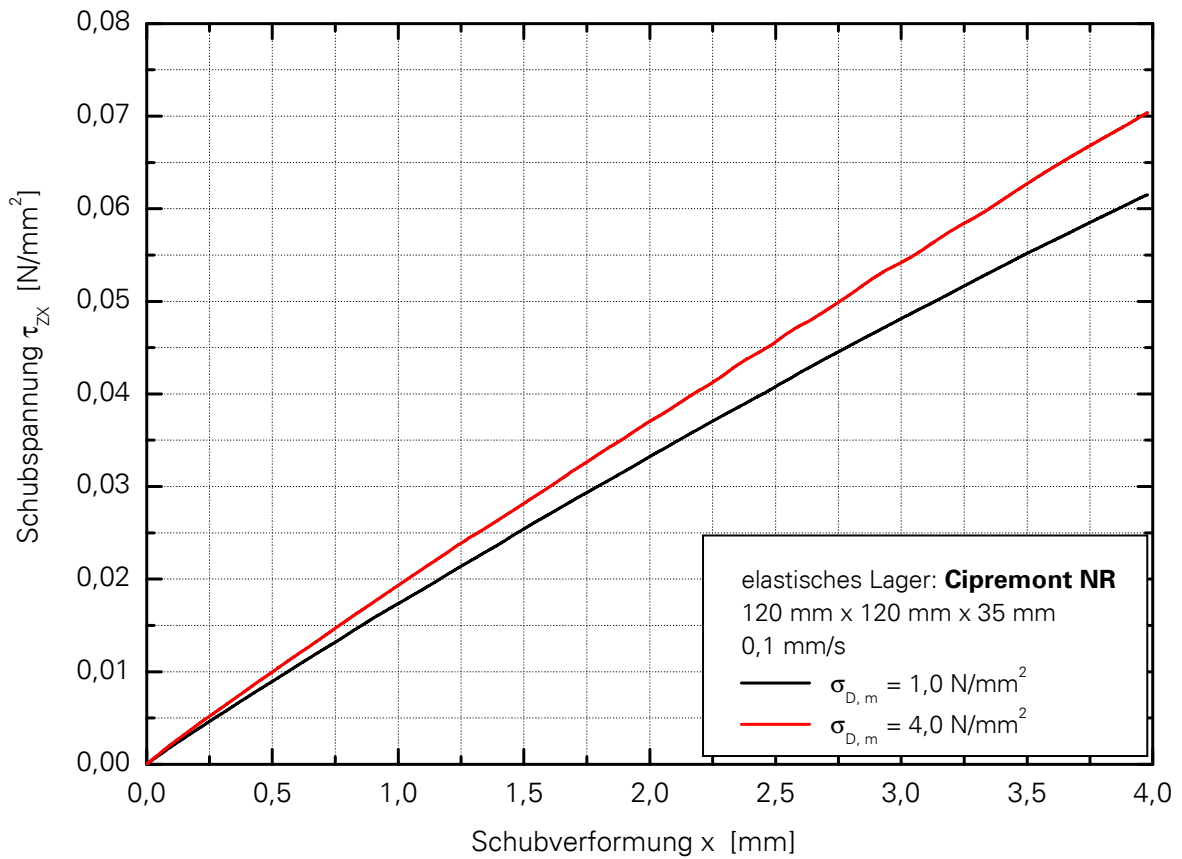


Bild 23: Darstellung der Schubverformung von Cipremont NR, d = 35 mm

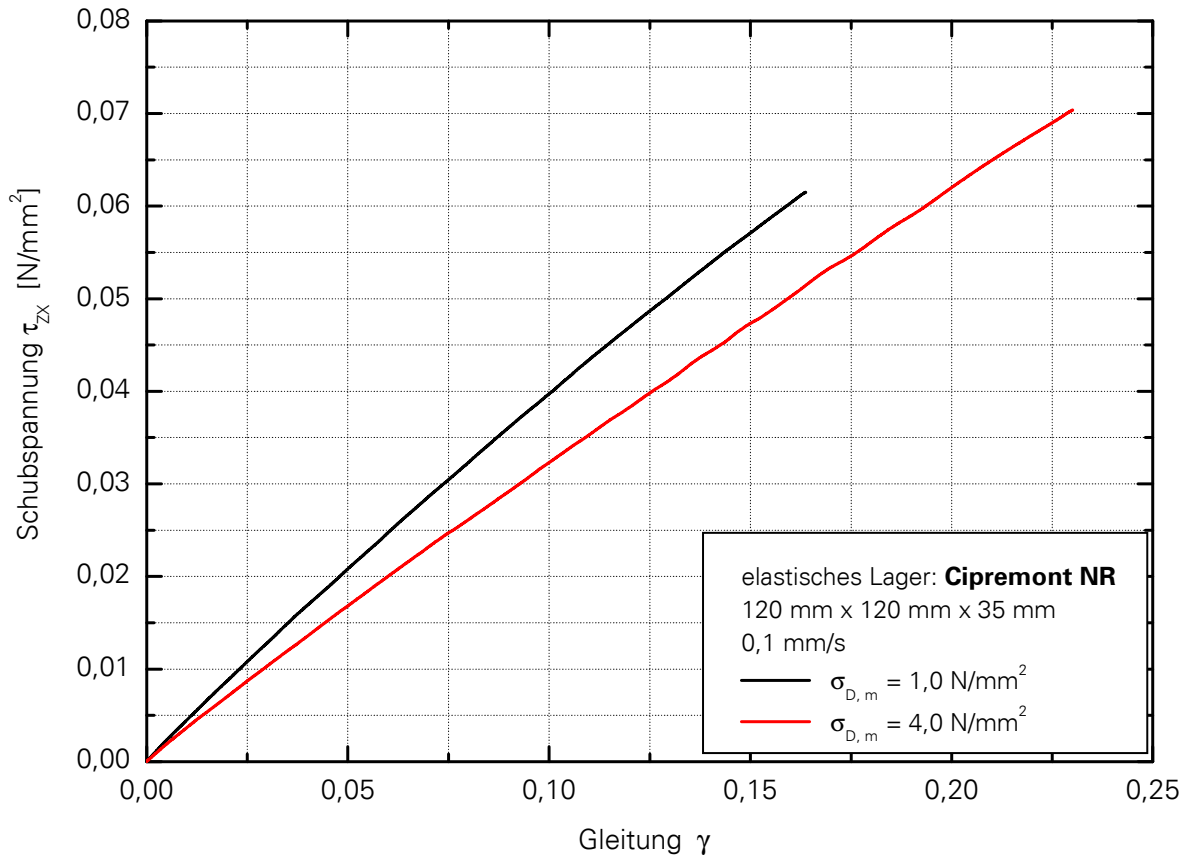


Bild 24: Darstellung der Schubfederkennlinie von Cipremont NR, d = 35 mm

3.4.2 Statische spezifische Schubsteifigkeit

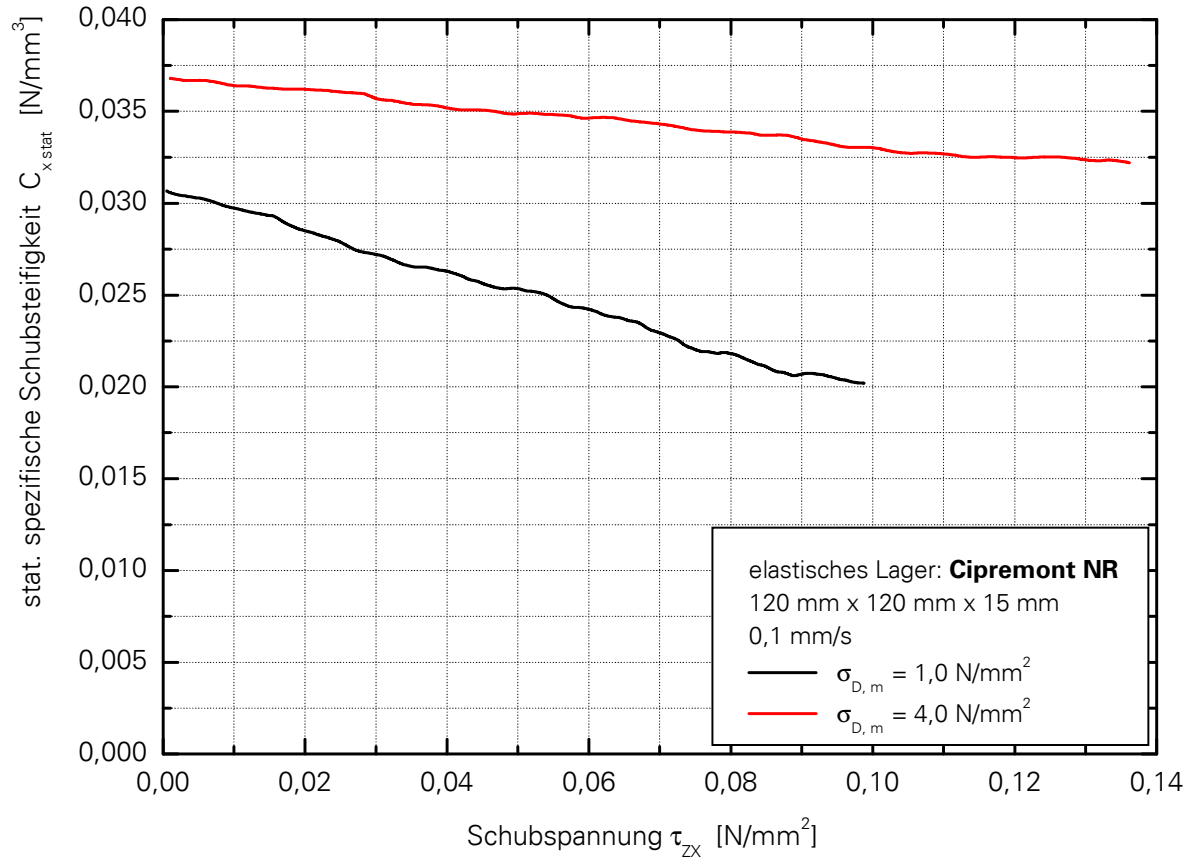


Bild 25: Darstellung der stat. spez. Schubsteifigkeit von Cipremont NR, d = 15 mm

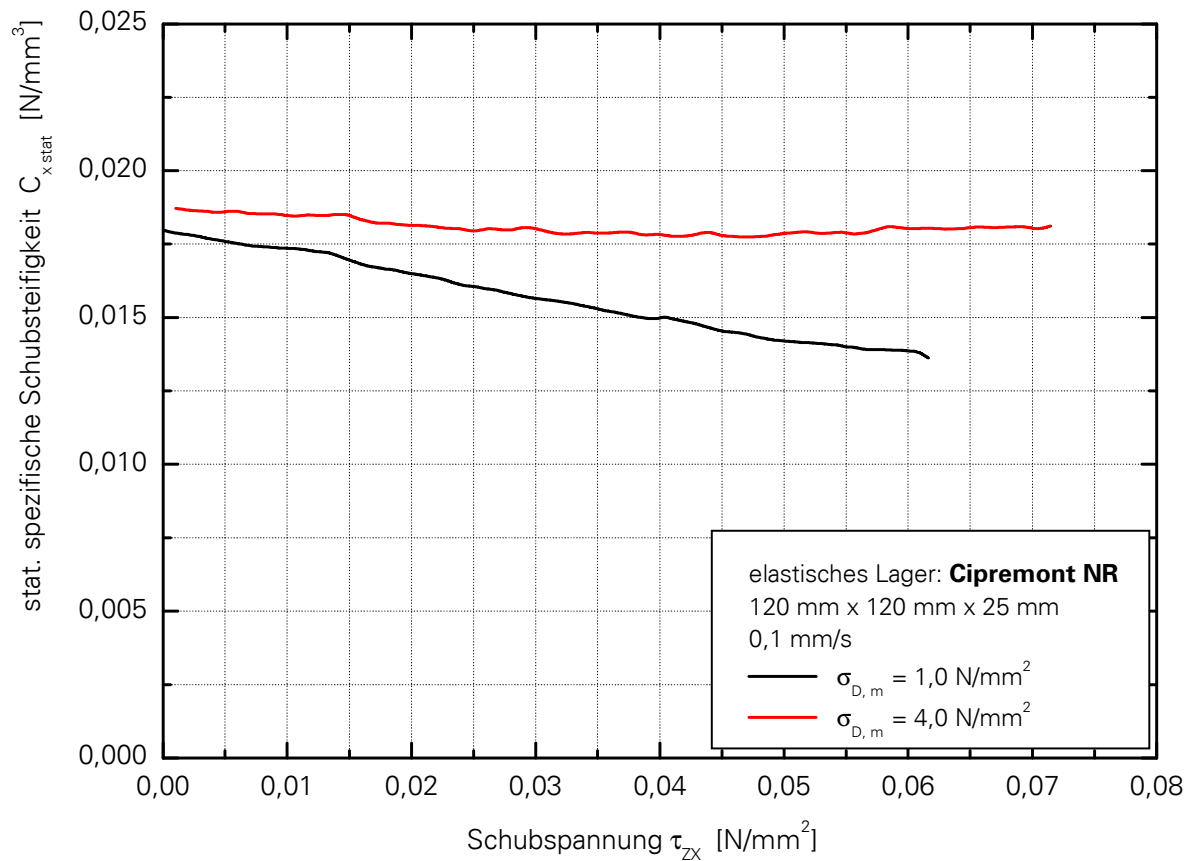


Bild 26: Darstellung der stat. spez. Schubsteifigkeit von Cipremont NR, d = 25 mm

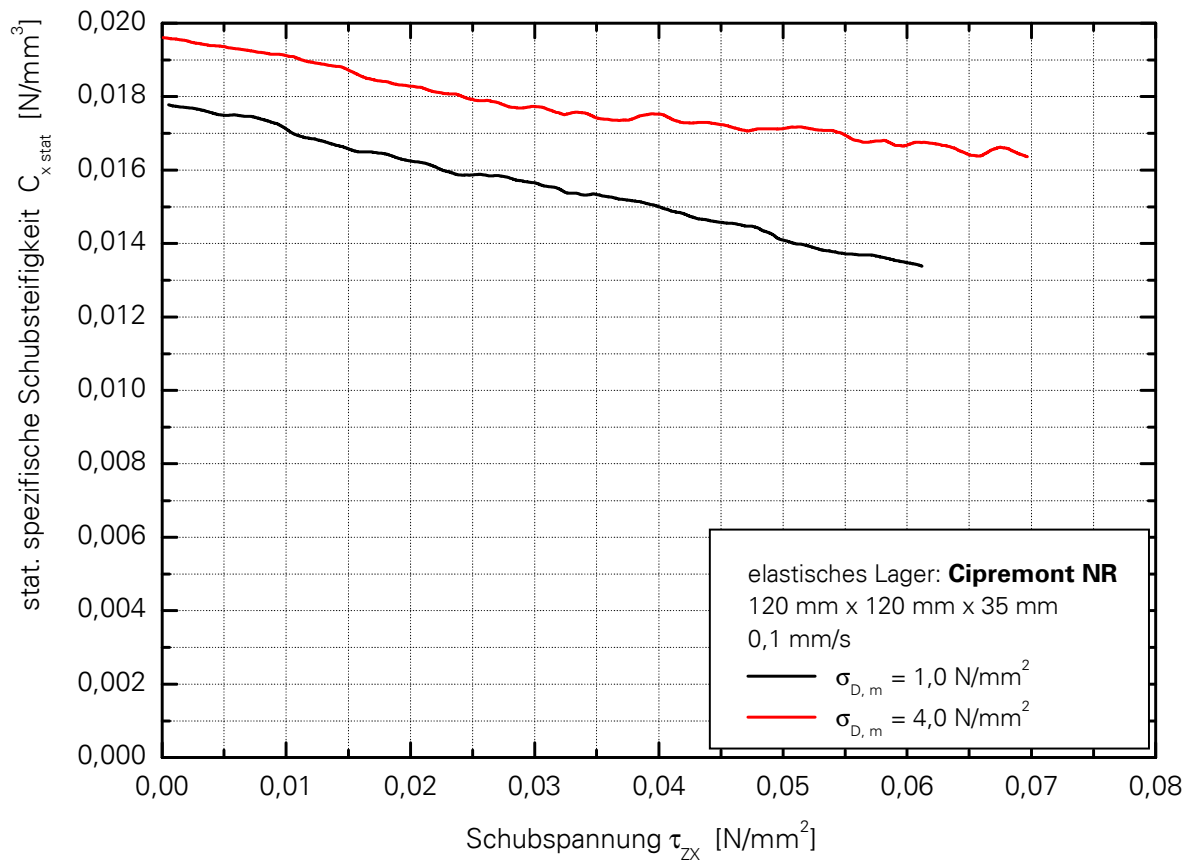


Bild 27: Darstellung der stat. spez. Schubsteifigkeit von Cipremont NR, d = 35 mm

3.4.3 Statischer Schubmodul

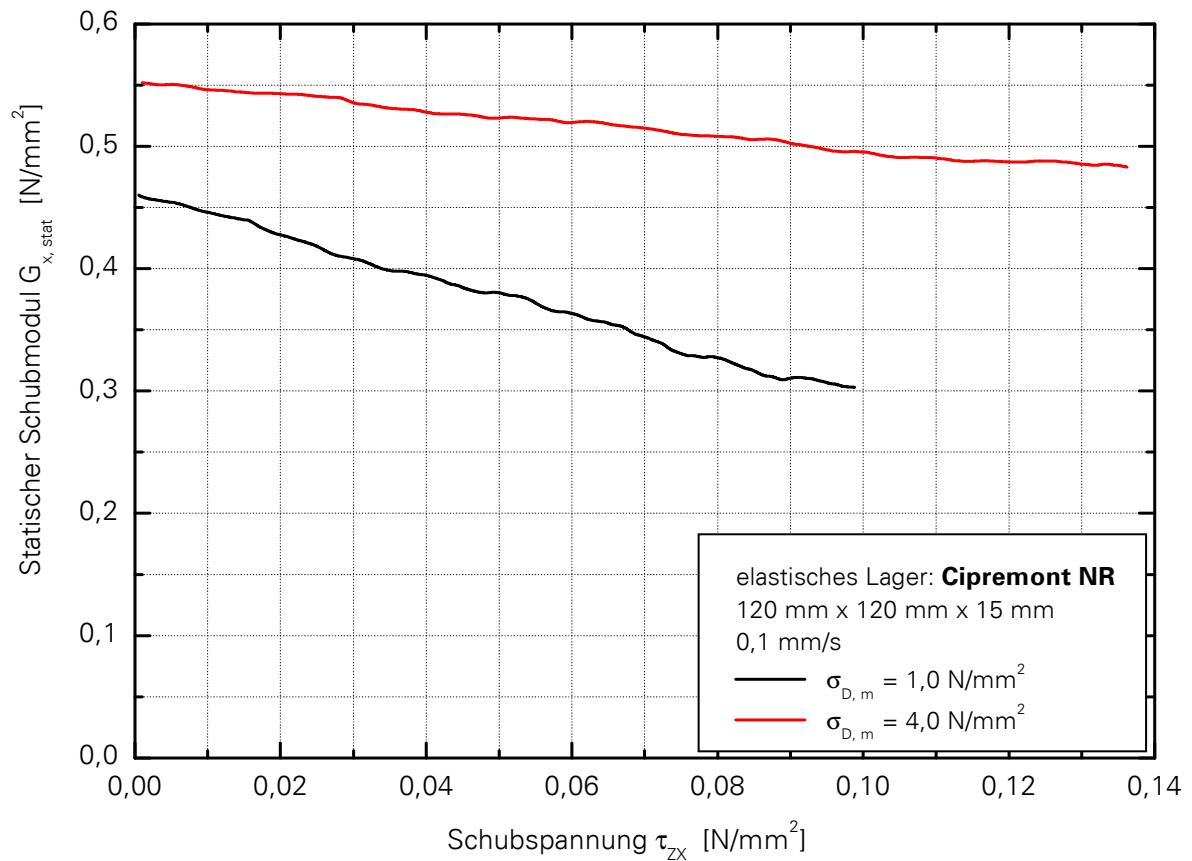


Bild 28: Darstellung des statischen Schubmoduls von Cipremont NR, d = 15 mm

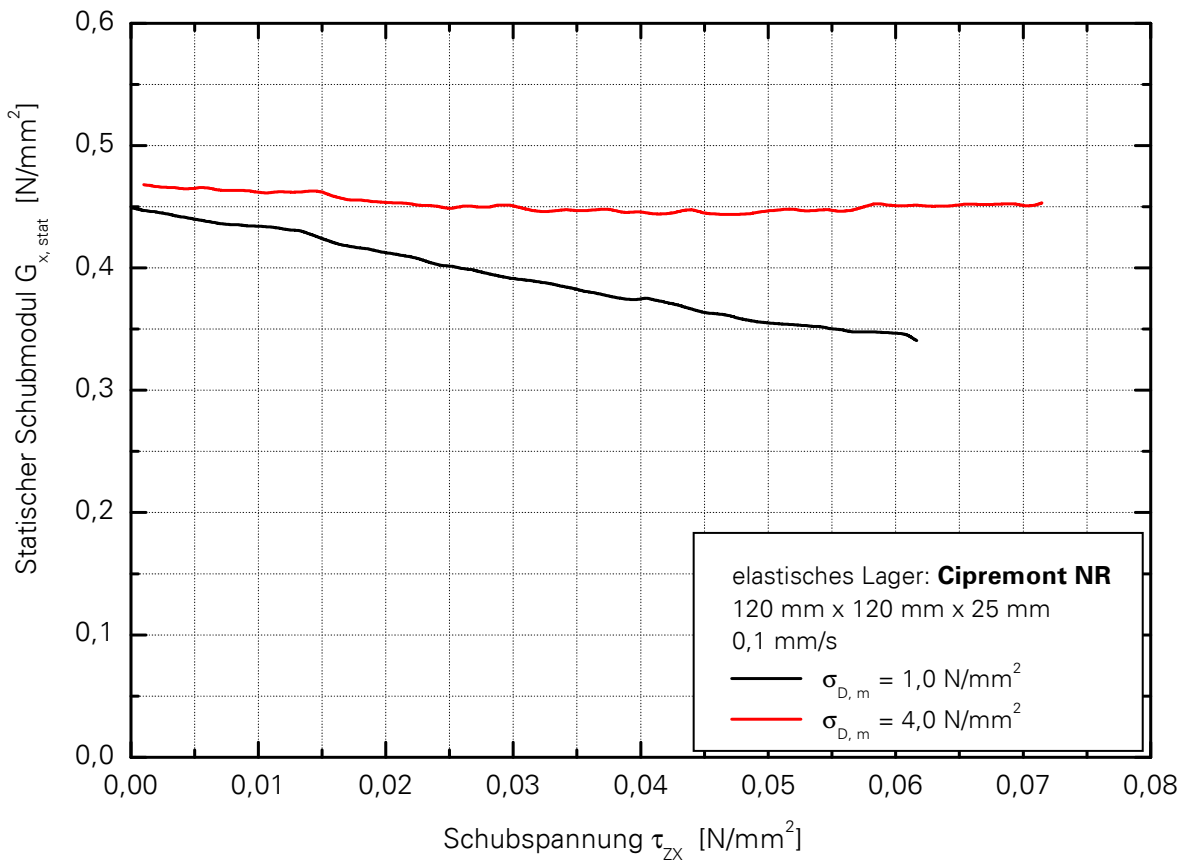


Bild 29: Darstellung des statischen Schubmoduls von Cipremont NR, d = 25 mm

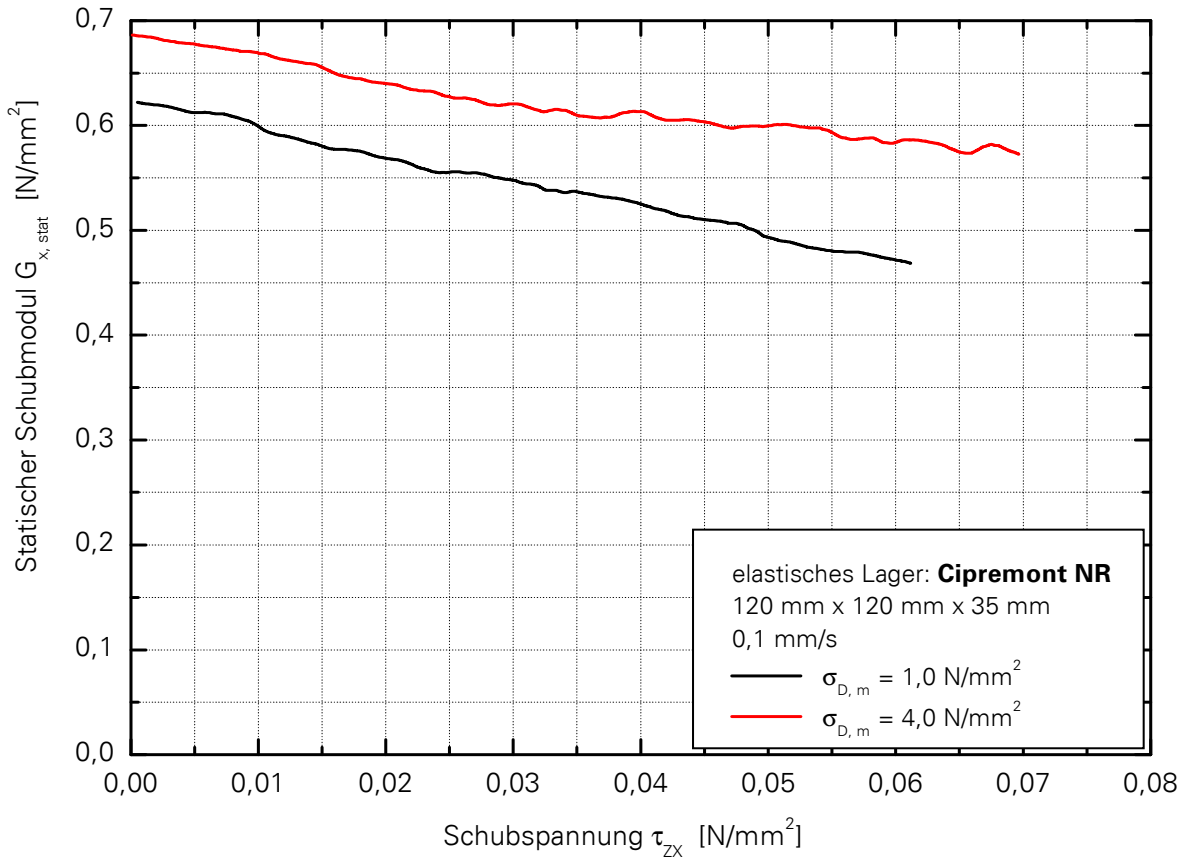


Bild 30: Darstellung des statischen Schubmoduls von Cipremont NR, d = 35 mm

3.5 Dynamisches Materialverhalten unter Schubbeanspruchung

3.5.1 Dynamische spezifische Schubsteifigkeit

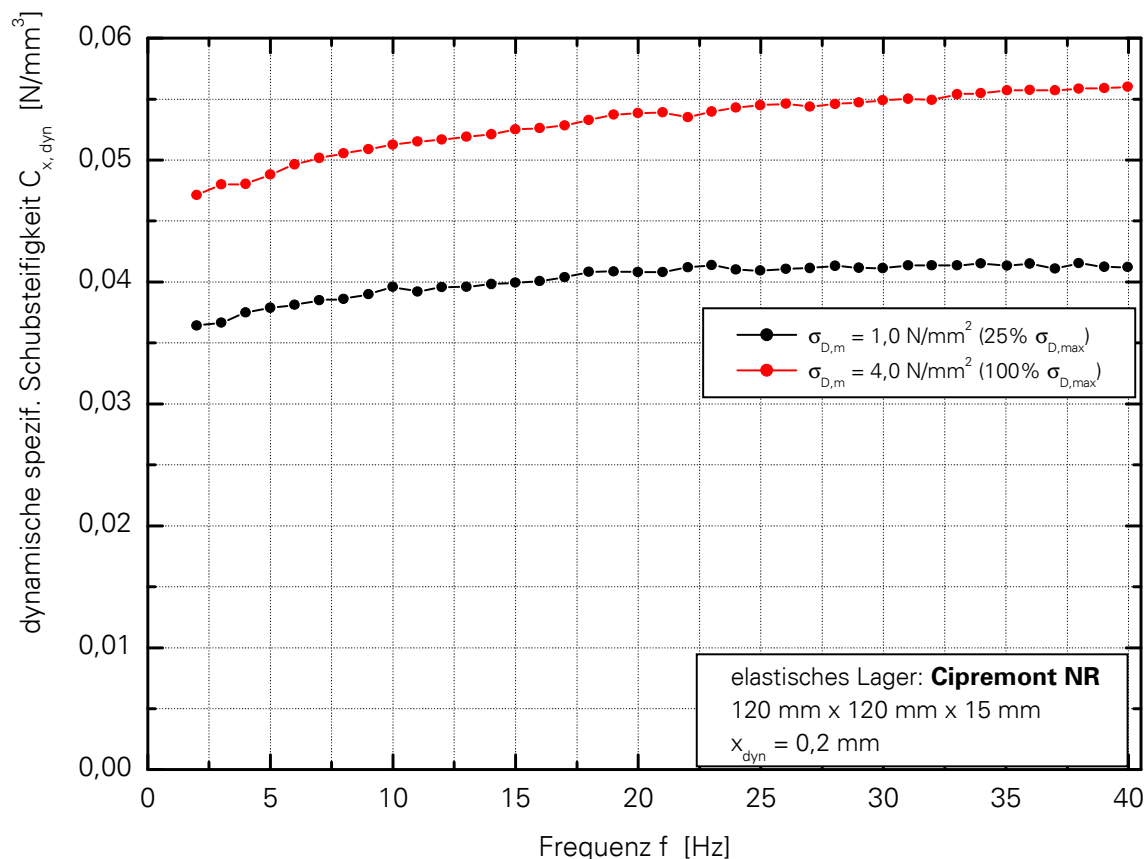


Bild 31: Dynamische spezifische Schubsteifigkeit von Cipremont NR, d = 15 mm

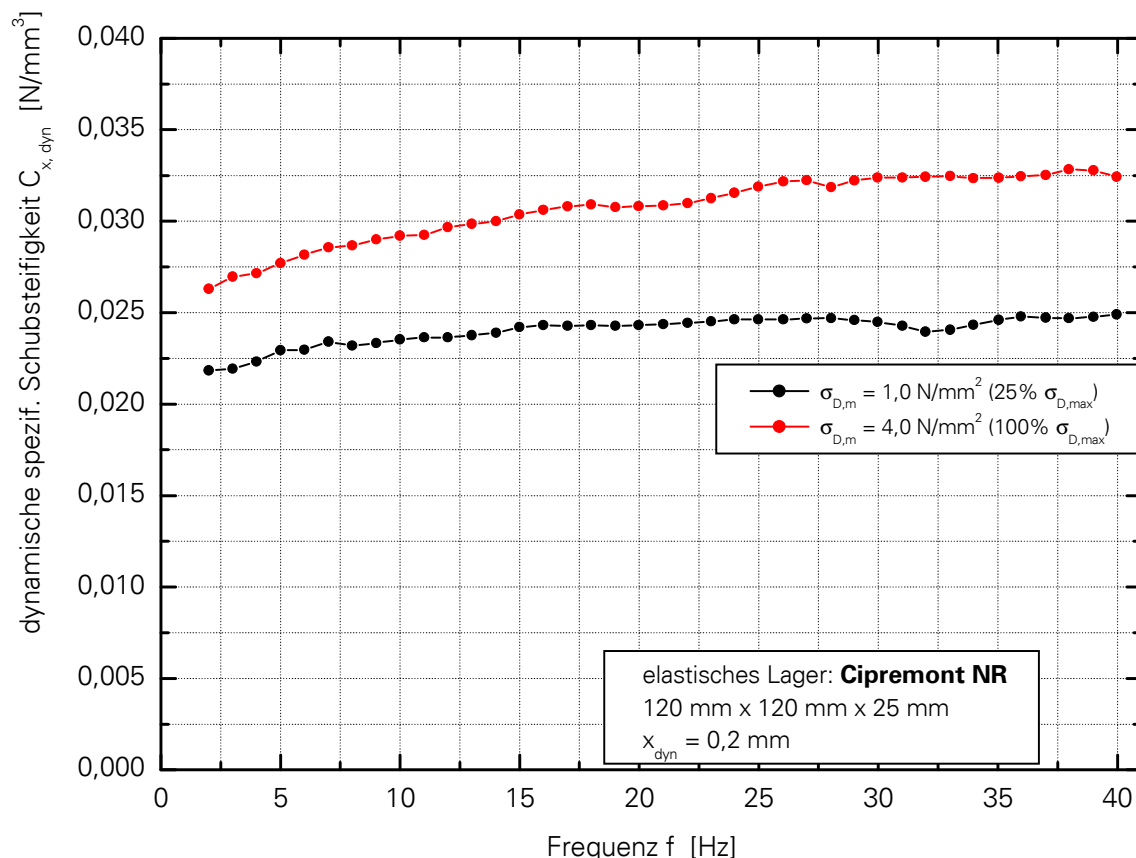


Bild 32: Dynamische spezifische Schubsteifigkeit von Cipremont NR, d = 25 mm

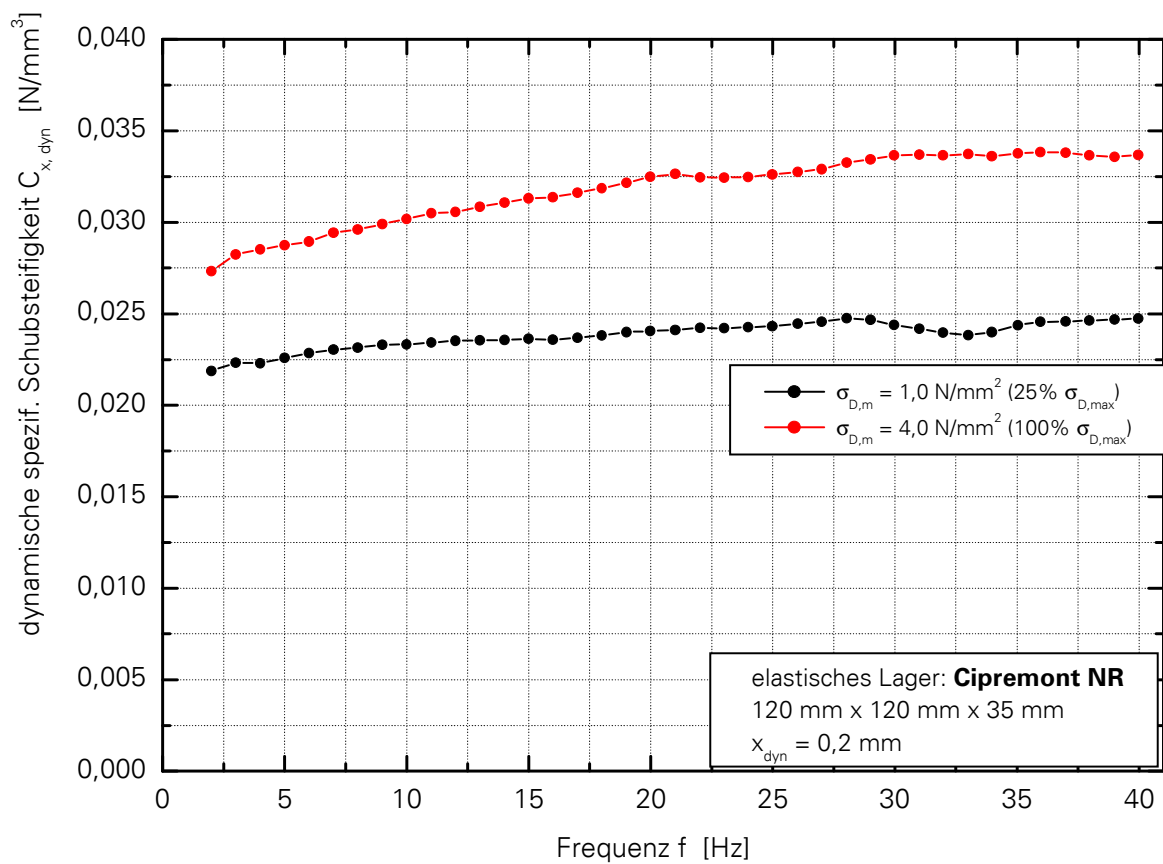


Bild 33: Dynamische spezifische Schubsteifigkeit von Cipremont NR, $d = 35$ mm

3.5.2 Dynamischer Schubmodul

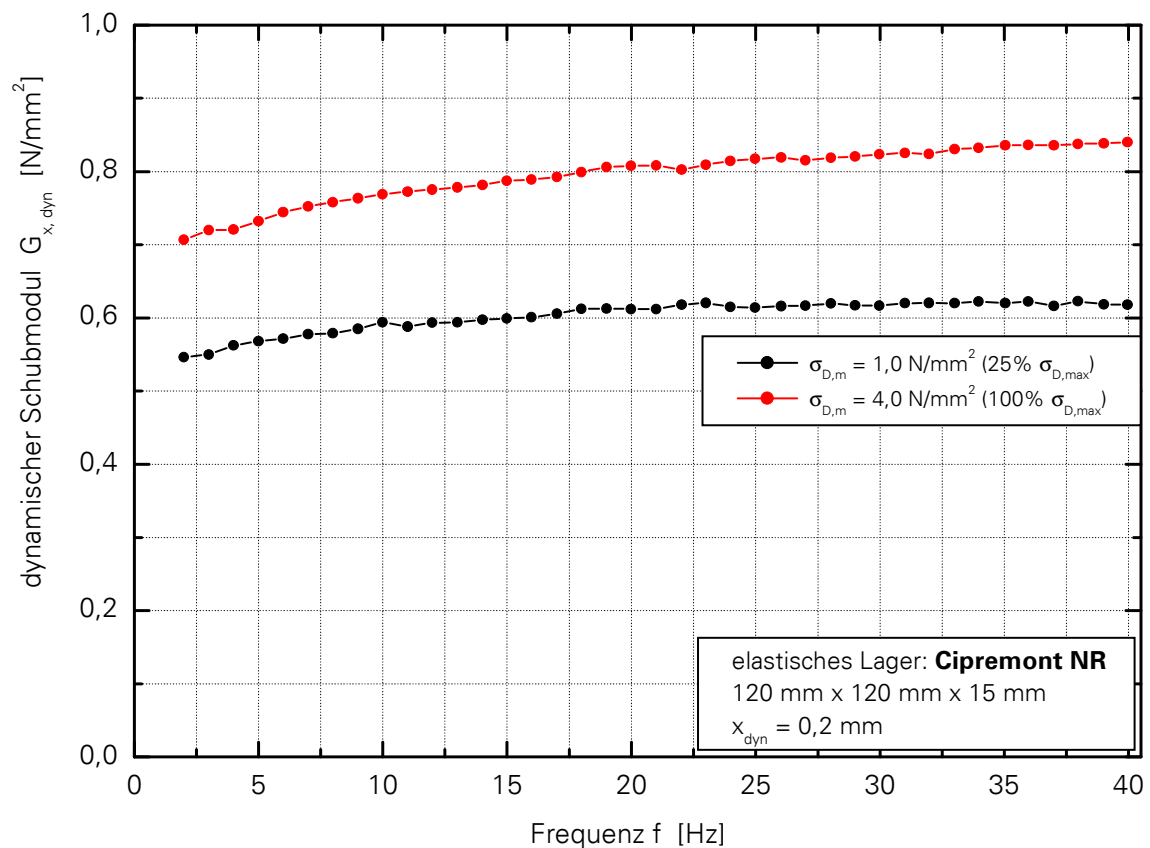


Bild 34: Dynamischer Schubmodul von Cipremont NR, $d = 15$ mm

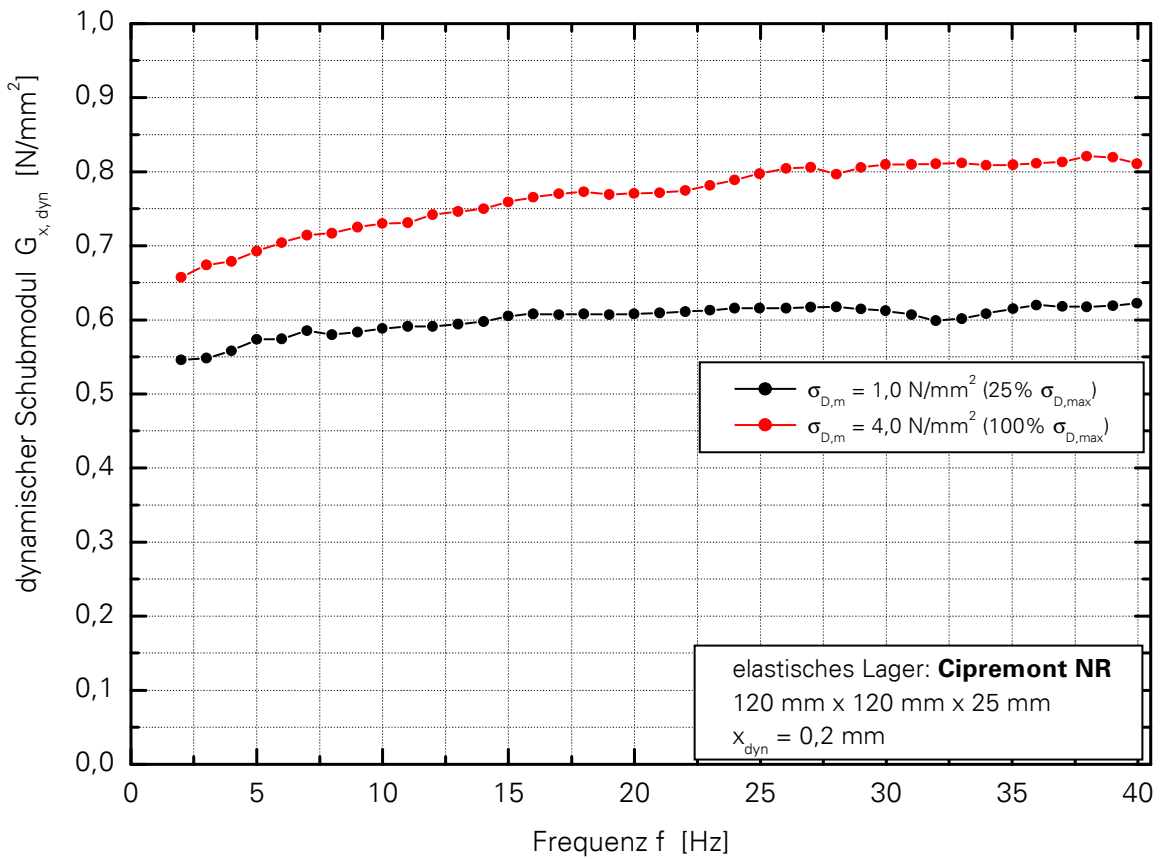


Bild 35: Dynamischer Schubmodul von Cipremont NR, $d = 25$ mm

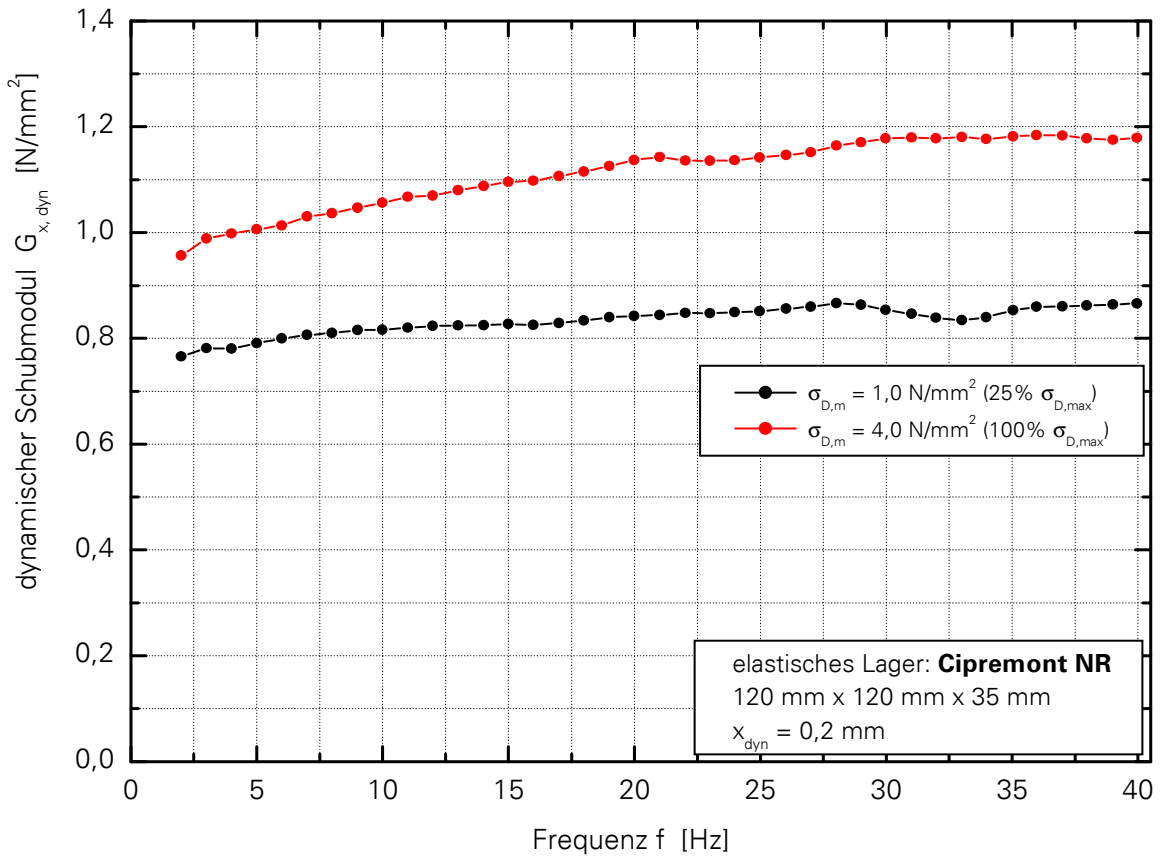
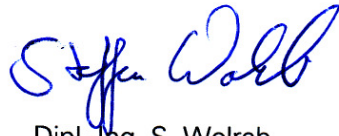


Bild 36: Dynamischer Schubmodul von Cipremont NR, $d = 35$ mm



Dipl.-Ing. S. Wolrab



Prof. Dr.-Ing. habil. K. G. Eulitz

Prof. Dr.-Ing. Waldemar Stühler

Technische Universität Berlin
Institut für Mechanik
Mechanische Schwingungslehre
und Maschinendynamik

Ostpreußendamm 179 a
☎ 030 - 771 18 45, TU 31 42 27 15
Fax 030 - 771 70 95

12207 Berlin, den 2009-07-14

**Bestimmung des statischen und dynamischen Materialverhaltens
von elastischen Streifenlagern des Typs Cipremont**

Stellungnahme zum Prüfbericht 03/09 vom 6.5.2009

der Technischen Universität Dresden

Fakultät für Maschinenwesen

Institut für Festkörpermechanik

- Experimentelle Mechanik und Betriebsfestigkeit -

Die durchgeführten Prüfungen lehnen sich an die Anforderungen des Entwurfes vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) zur „Eignungsprüfung von elastischen Elementen im Zulassungsverfahren für die Schwingungsisolierung von Gebäuden“ in der Fassung vom 05.12.2007 an und wurden von mir begleitet und überwacht. Alle Ergebnisse sind korrekt ermittelt worden und können zur Bemessung des Produktes als Erschütterungs- und Körperschall-Schutzelement zu Grunde gelegt werden.

W. Stühler

(Prof. Dr.-Ing. W. Stühler)

