

---

# Alles schwingt!

## Dämpfung und ihre Auswirkungen auf technische Systeme

Dr.-Ing. Thomas Hipke

# Das Fraunhofer IWU im Profil

## Forschungsstandorte in Deutschland



**Chemnitz**



**Dresden**



**Zittau**



**Wolfsburg**



Prof. Drossel



# Das Fraunhofer IWU im Profil

## Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Institutsleitung

Prof. W.-G. Drossel (geschäftsführend)

Prof. D. Landgrebe

Prof. M. Putz

Wissenschaftsbereich Mechatronik und Funktionsleichtbau Prof. W.-G. Drossel	Wissenschaftsbereich Umformtechnik und Fügen Prof. D. Landgrebe	Wissenschaftsbereich Werkzeugmaschinen, Produktionssysteme und Zerspanungstechnik Prof. M. Putz
Hauptabteilung Mechatronik	Hauptabteilung Blechumformung	Hauptabteilung Werkzeugmaschinen und Automatisierung
Hauptabteilung Funktionsintegration/Leichtbau	Hauptabteilung Massivumformung	Hauptabteilung Produktionssysteme
Hauptabteilung Textiler Leichtbau	Hauptabteilung Fügen	Hauptabteilung Zerspanungstechnik und Abtragen

Strategie und Internationales	
Forschungsplanung	Öffentlichkeitsarbeit

Betrieb	
Technik	Verwaltung

Prof. Drossel



---

**Grundlagen zur Dämpfung**

**Dämpfungsmessung**

**Vergleich von Dämpfungswerten**

**Relevanz für Werkzeugmaschinen**

**Dämpfung von Durfill**

---

# Grundlagen zur Dämpfung

Dämpfungsmessung

Vergleich von Dämpfungswerten

Relevanz für Werkzeugmaschinen

Dämpfung von Durfill

# Schwingungsdämpfung

Die Dämpfung beeinflusst Schwingungen und an WZM damit

- die Formgenauigkeit
- die Bahngenauigkeit
- den Werkzeugverschleiß

Ziel ist es, Bewegungsenergie in Wärmeenergie umzuwandeln.

Man unterscheidet

- Werkstoffdämpfung
- Reibungsdämpfung
- Verdrängungsdämpfung
- überlagerte Dämpfung

Das heißt,

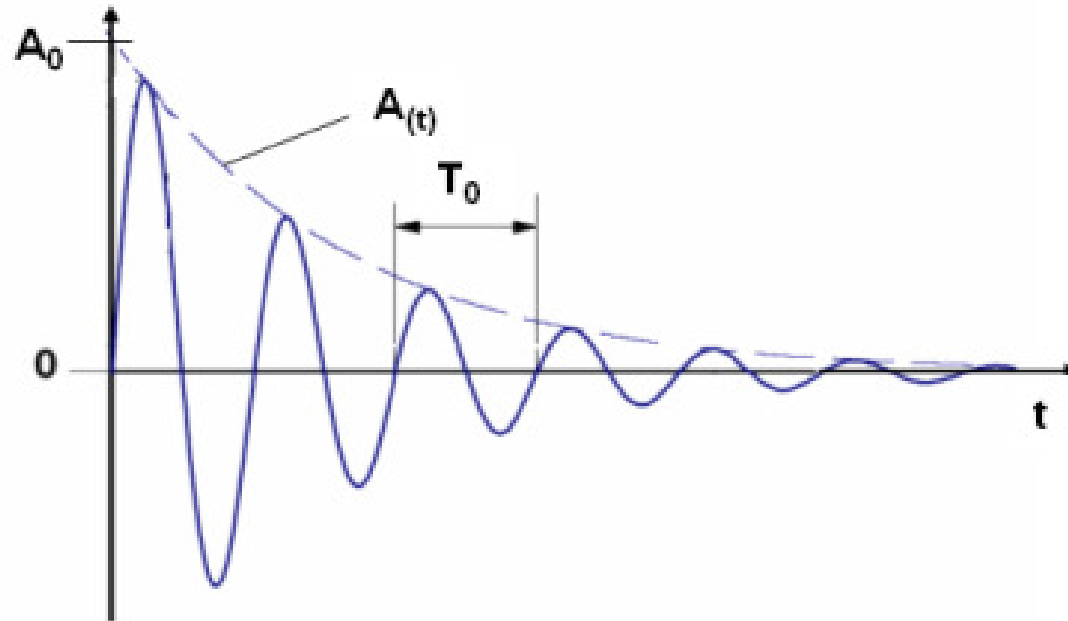
um Dämpfung zu erzeugen,

muss erst einmal etwas schwingen!

“Strukturdämpfung” = resultierende Dämpfung eines konkreten Bauteils (Struktur)

# Kennwerte

$$\delta = 1/\tau$$

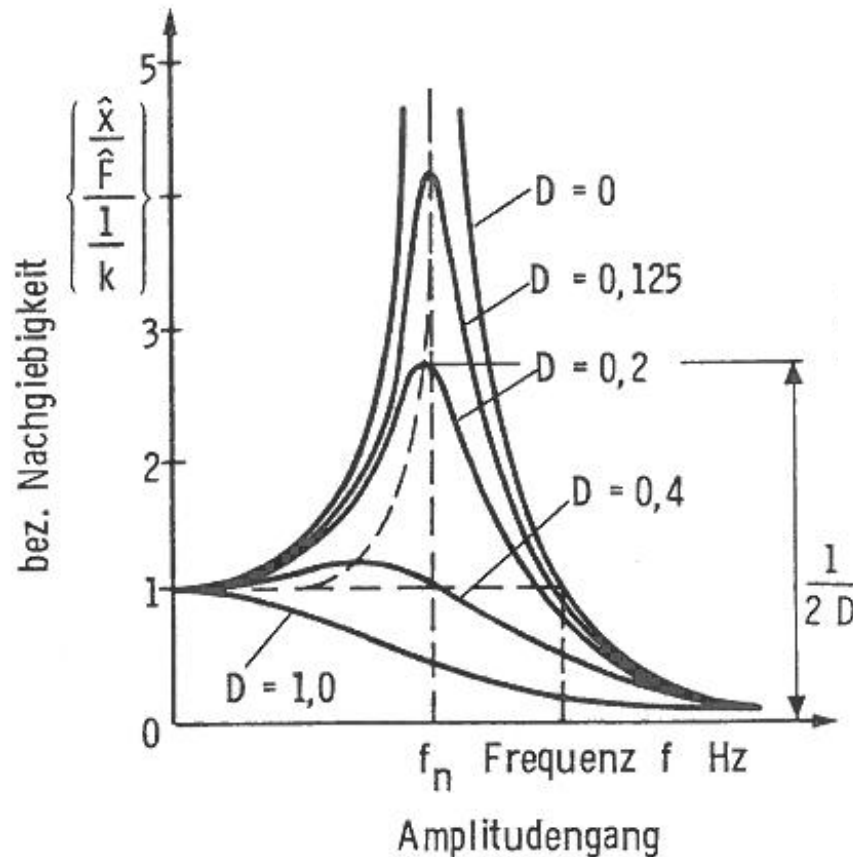


$$D = \frac{\ln \frac{\hat{X}_1}{\hat{X}_z}}{2\pi(z-1)}$$

$$L = \frac{\delta}{f_n} = \pi \cdot d = \pi \cdot D \cdot 2$$

- D ...Dämpfung [-]
- L ...logarithmisches Dekrement [-]
- $\delta$  ...Abklingkonstante [1/s]
- $f_n$  ...n-te Eigenfrequenz [Hz]
- d ...Verlustfaktor [-]

# Kennwerte



$$D = \frac{\ln \frac{\hat{X}_1}{\hat{X}_z}}{2\pi(z-1)}$$

$$L = \frac{\delta}{f_n} = \pi \cdot d = \pi \cdot D \cdot 2$$

- D ... Dämpfung [-]
- L ... logarithmisches Dekrement [-]
- $\delta$  ... Abklingkonstante [1/s]
- $f_n$  ... n-te Eigenfrequenz [Hz]
- d ... Verlustfaktor [-]



---

Grundlagen zur Dämpfung

## Dämpfungsmessung

Vergleich von Dämpfungswerten

Relevanz für Werkzeugmaschinen

Dämpfung von Durfill

# Messung

## Proben

Verwendete Rohrprofile (St37)\*:

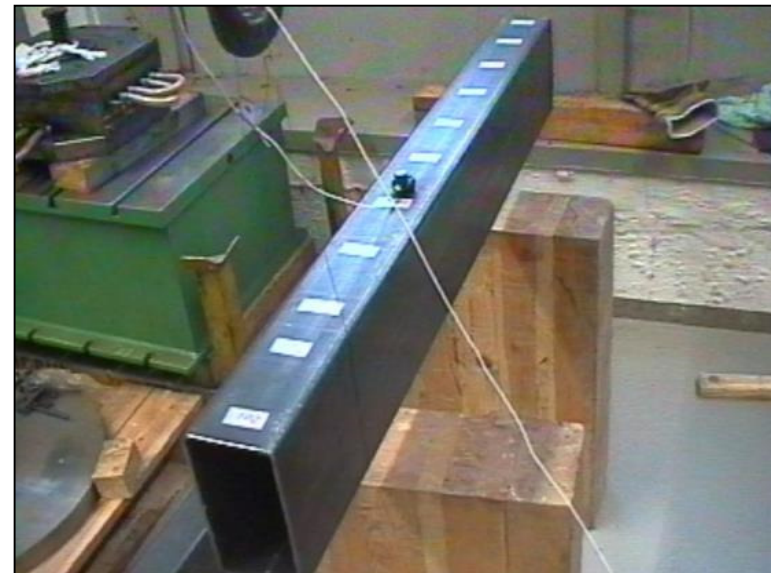
160 x 80 x 4 mm	Länge: 1.000 mm
160 x 80 x 3 mm	Länge: 1.000 mm
160 x 80 x 4 mm	Länge: 1.000 mm
160 x 80 x 5 mm	Länge: 1.000 mm
120 x 60 x 4 mm	Länge: 1.000 mm
80 x 40 x 4 mm	Länge: 1.000 mm

## Auswertung

- Aufnahme der Ausschwingkurve
- Bestimmung des logarithmischen Dekrementes
- Berechnung der Dämpfung

## Versuchsaufbau

- Balken auf 2 Drähten gelagert
- Erregung mittels Impulshammer



# Messung



**Eindimensionaler  
Beschleunigungsaufnehmer**

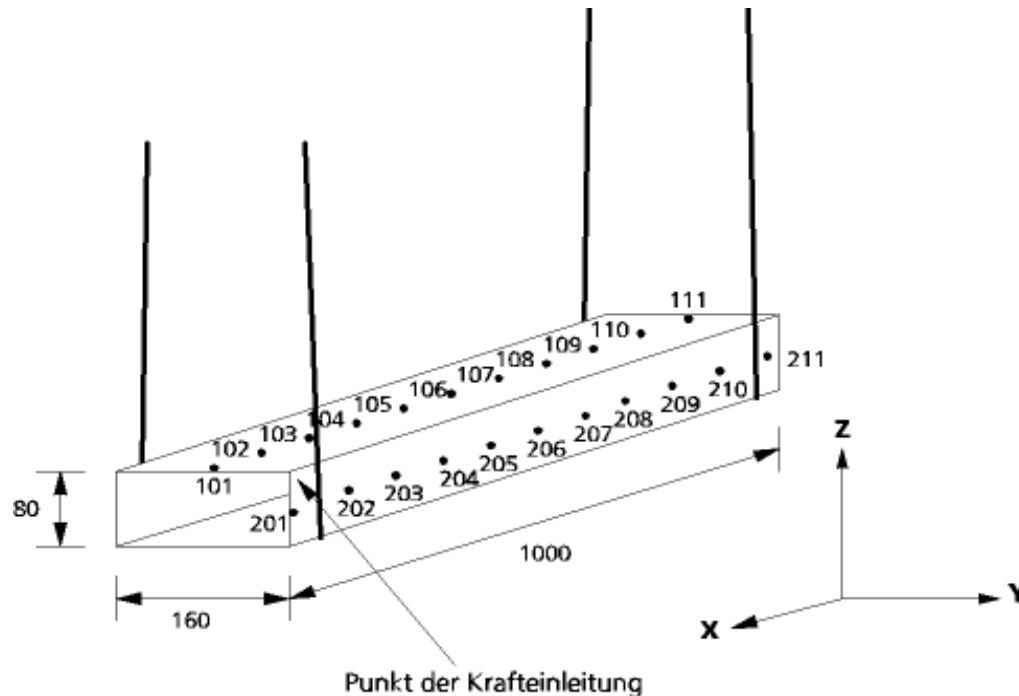


**Impulshammer**



**Triaxialer  
Beschleunigungsaufnehmer**

# Modalanalyse



**Anregung der Struktur in raumdiagonaler Richtung an einer Balkenecke.**

**Ermittlung der Antwortfunktion an jedem Messpunkt mittels Beschleunigungsaufnehmer.**

**Beschleunigungssensor mit kleiner Masse ( $< 5g$ ), damit keine Beeinflussung durch Sensor auftritt.**

**Ermittlung der Beschleunigung in Z-Richtung und in Y-Richtung**

---

Grundlagen zur Dämpfung

Dämpfungsmessung

**Vergleich von Dämpfungswerten**

Relevanz für Werkzeugmaschinen

Dämpfung von Durfill

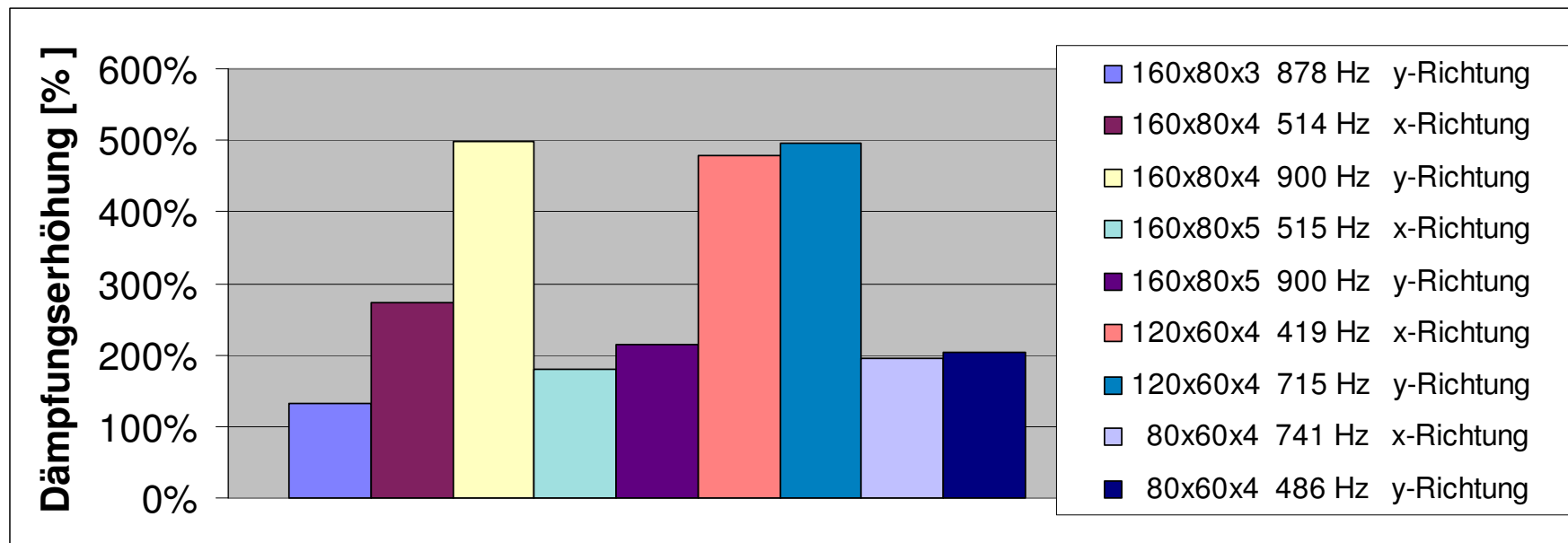
# Werkstoffdämpfung

Kennwerte		Mineral- beton	Al-Schaum AlMg1SiCu	CFK (längs zur Faser)	CFK (quer zur Faser)	Grauguss GG20	Stahl St 37
Dichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]	2,1...2,4	0,6	1,5	1,5	7,15	7,85
Druckfestigkeit	[MPa]	100..180	12,7			720	
Zugfestigkeit	[MPa]	10....20	6,2	1300	50	200...300	350....470
E-Modul	[GPa]	30...45	4,5	80		88...113	210
Poisson'sche Zahl	[-]	0,2...0,3	0,33			0,26	0,28
Dämpfung	[-]	0,02....0,03	0,01....0,03			0,003	0,002
Therm. Ausdehnungskoeffizient	[10 <sup>-6</sup> *K <sup>-1</sup> ]	12....20	23	-0,5	15	10	12
Wärmeleitfähigkeit	[W/(m*K)]	1,3....2,0	18...19			50	50
Spez. Wärmekap.	[J/(kg*K)]	0,9....1,1	0,92			0,5	0,45

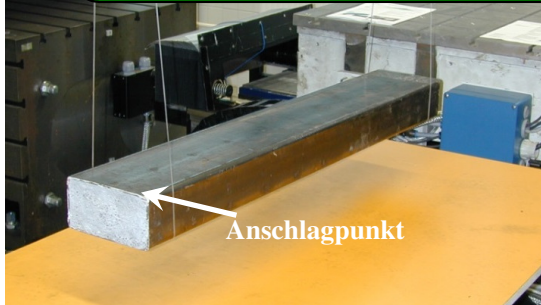
# Strukturdämpfung

## Aussagen

- generell deutliche Dämpfungserhöhung durch den Einsatz von Metallschaum
- keine Abhängigkeit von der Frequenzlage und -form oder der Rohrform zu erkennen



# Vergleich Metallschaum-Mineralbeton



Das Einbringen von Metallschaum in ein Stahlprofil ist mit einer Masseerhöhung um etwa 40 % verbunden.

Der Mineralbeton bewirkt eine Massenerhöhung um ca. 170 % gegenüber dem leeren Profil.

Profil		Frequenz [Hz]	Relativvergleich der Dämpfung	Gewicht [kg]
<i>Eigenschwingform 1. Ordnung in z-Richtung</i>				
<b>leer</b>	Mittel Profile 2 und 3	494	1,0	14
<b>Beton</b>	Mittel Profile 1 und 2	426	1,7	38
<b>Schaum</b>	Mittel Profile 3 und 4	470	2,7	20
<i>Eigenschwingform 1. Ordnung in y-Richtung</i>				
<b>leer</b>	Mittel Profile 2 und 3	900	1,0	14
<b>Beton</b>	Mittel Profile 1 und 2	746	3,8	38
<b>Schaum</b>	Mittel Profile 3 und 4	836	5,0	20



---

Grundlagen zur Dämpfung

Dämpfungsmessung

Vergleich von Dämpfungswerten

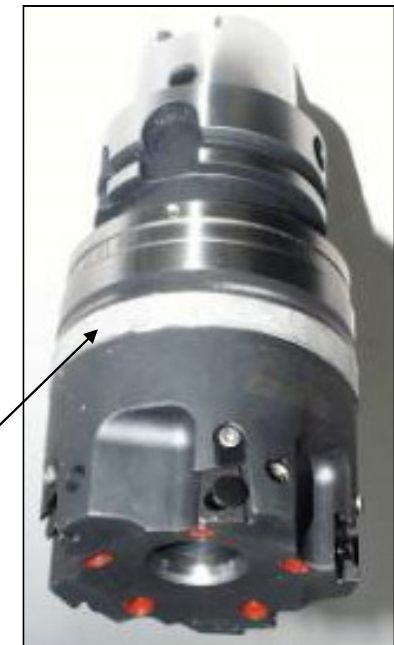
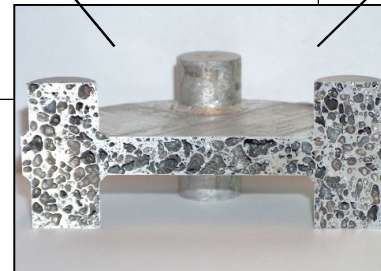
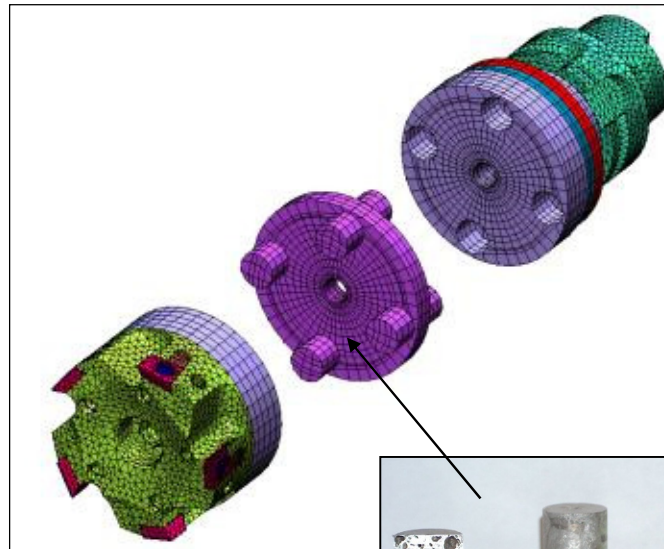
**Relevanz für Werkzeugmaschinen**

Dämpfung von Durfill

# Fräswerkzeug



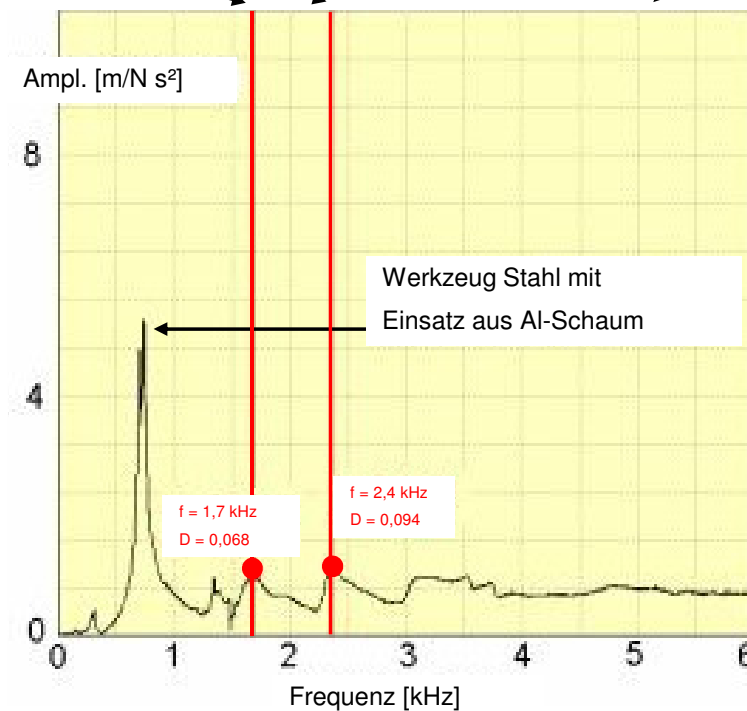
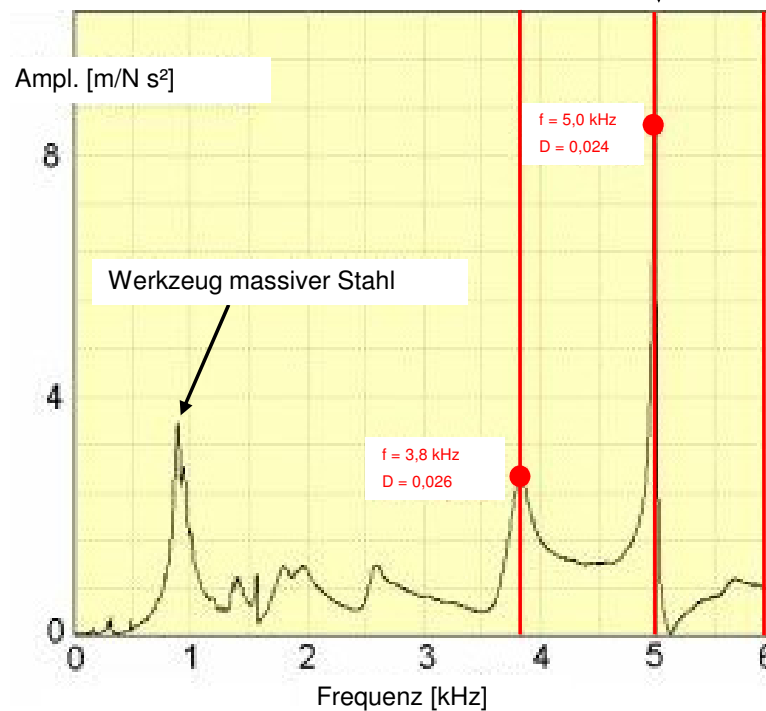
- Aluminiumschaum-Scheibe liegt direkt im Kraftfluss
- Scheibe eingeklebt
- keine Probleme mit Torsion



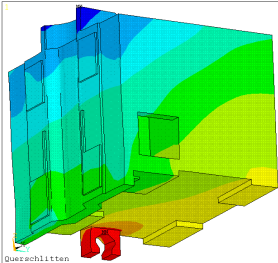
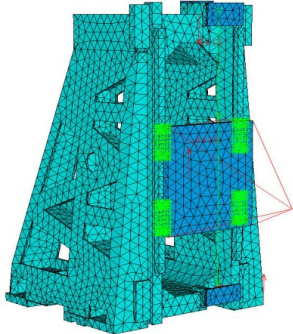
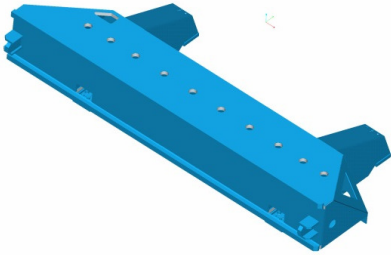

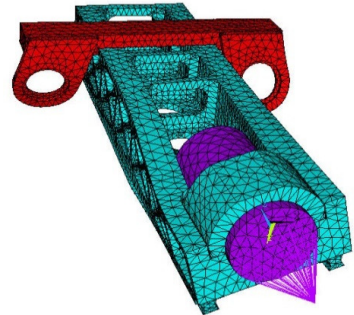
# Dämpfung im Fräswerkzeug

... sehr gute Dämpfung zwei typischer Frequenzen ...

... aber nicht aller Frequenzen!  
... Anstieg der Amplitude der ersten Eigenfrequenz ⚡



# Vergleich von WZM-Baugruppen

Parameter	Querschlitzen	Ständer	Querbalken Fräsmaschine	Universal-Schlitten Fräsmaschine	HSC Z-Schlitten
					
<b>Jahr</b>	1999	2002	2004	Serie seit 2004	Serie seit 2007
<b>Δ m [%]</b>	- 45 %	+ 4,5 %	- 3 %	-20 %	- 20.1 %
<b>Δ S [%]</b>	- 15 %	+ 12 %	+ 21 %	+ 0 %	+ 3,7 %
<b>Δ D [%]</b>	<b>720 %</b>	<b>380 %</b>	<b>270 %</b>	<b>320%</b>	unbekannt
<b>Δ € [%]</b>	380 %	180 %	170%	140 %	130%

m: Masse; S: Steifigkeit; D: Dämpfung; €: Gesamtkosten

Prof. Drossel

---

Grundlagen zur Dämpfung

Dämpfungsmessung

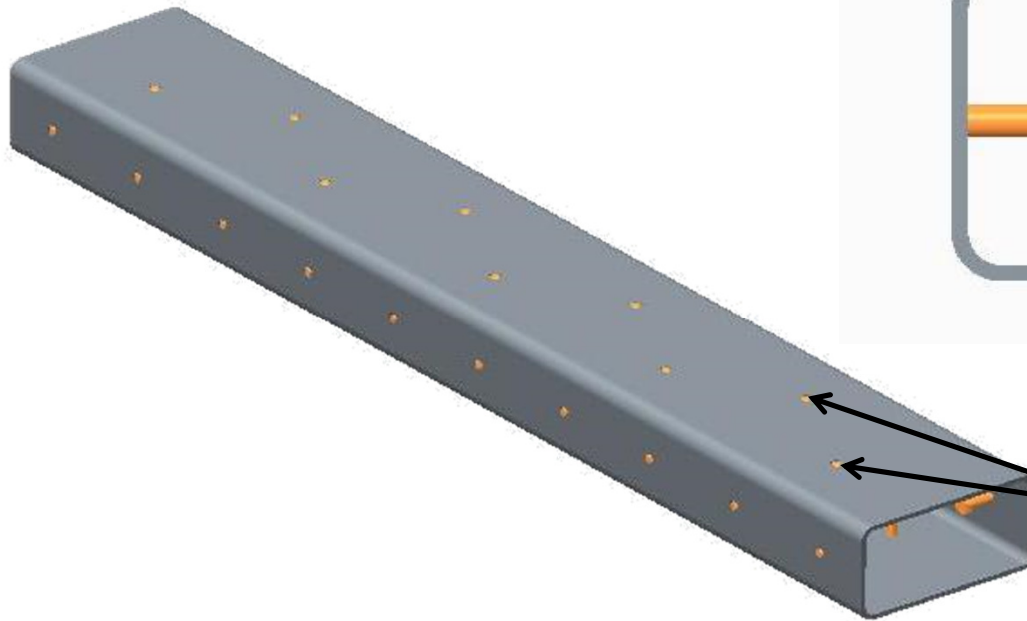
Vergleich von Dämpfungswerten

Relevanz für Werkzeugmaschinen

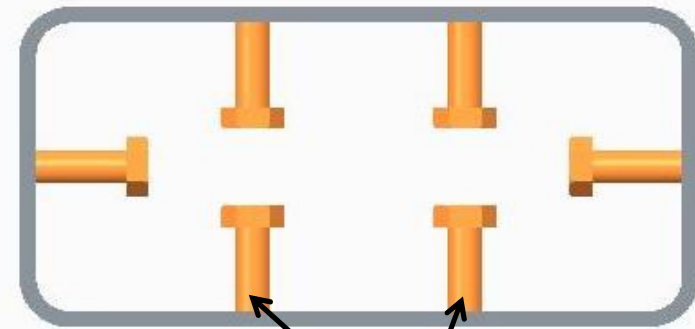
**Dämpfung von Durfill**

# Profilgeometrie

- **Hohlprofil:** 160 mm x 80 mm
- **Wandstärke:** 4 mm
- **Länge:** 1.000 mm
- **Material:** S235 (St37)



Bei bestimmten Füllungen muss ein zusätzlicher Formschluss gebildet werden → Einschweißen von Ankern



Zylinderschrauben  
M8 x 25 als Formschluss  
mit Profil verschweißt  
(Anzahl: 38/m)

# Versuchsplan

Nummer	Anzahl	Zusatz	Füllung
1	1		Leer
2	1	Anker	Leer mit Anker
3	1	Anker	Leichtbeton „LVM“
4	1	Anker	Feinbeton „ton 904“
5	1	Anker	Durfill
6	1	Anker	Epuself
7	1		Epoxy + Glashohlkugeln
8	1		Aluminiumschaum (Foamtech) geklebt

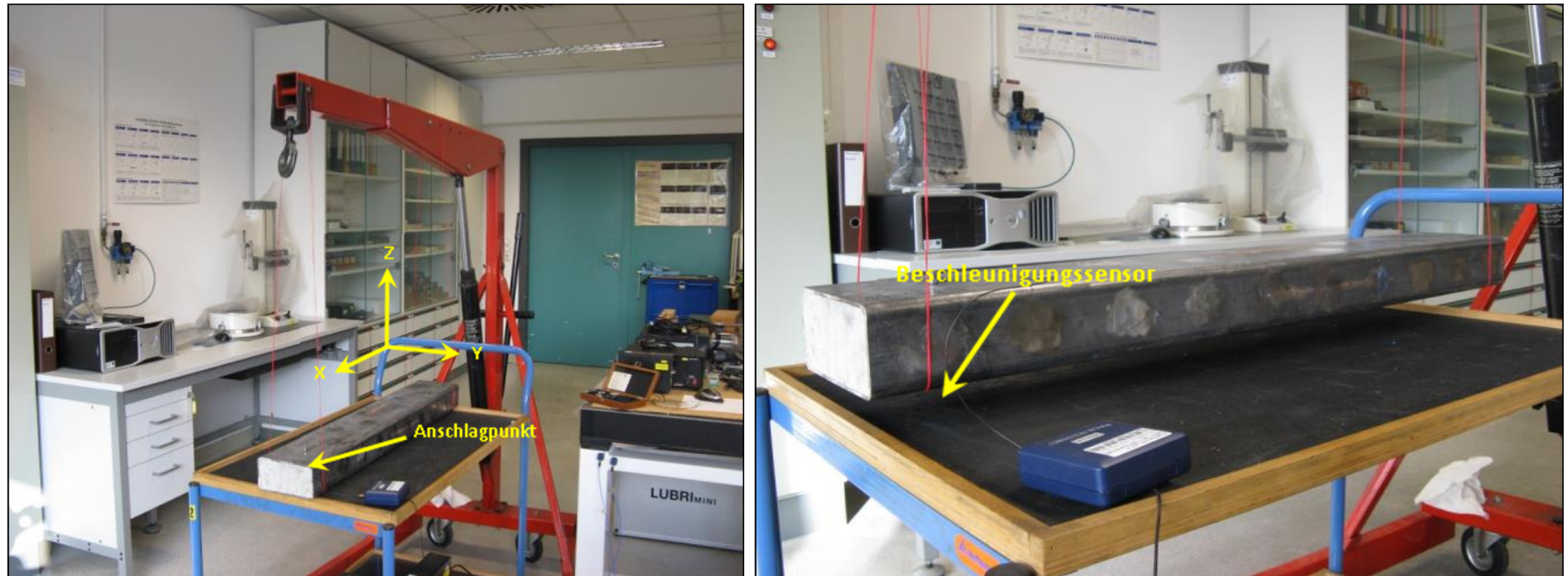


# Massevergleich

Nummer	Anzahl	Zusatz	Füllung	Profilmasse
1	1		Leer	13,4 kg
2	1	Anker	Leer mit Anker	13,8 kg
3	1	Anker	Leichtbeton „LVM“	13,8 kg / 30,7 kg
4	1	Anker	Feinbeton „ton 904“	13,8 kg / 37,5 kg
5	1	Anker	Durfill	13,8 kg / 38,4 kg
6	1	Anker	Epuself	13,8 kg / 37,8 kg
7	1		Epoxy + Glashohlkugeln	13,4 kg / 20,9 kg
8	1		Schaum (Foamtech) geklebt	13,4 kg / 18,0 kg



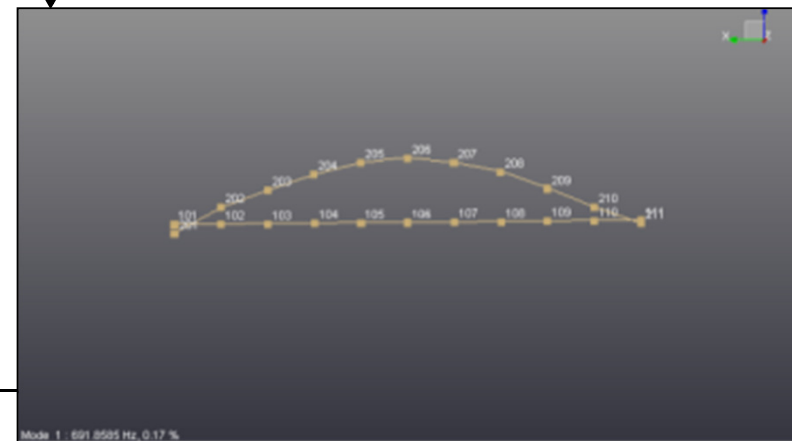
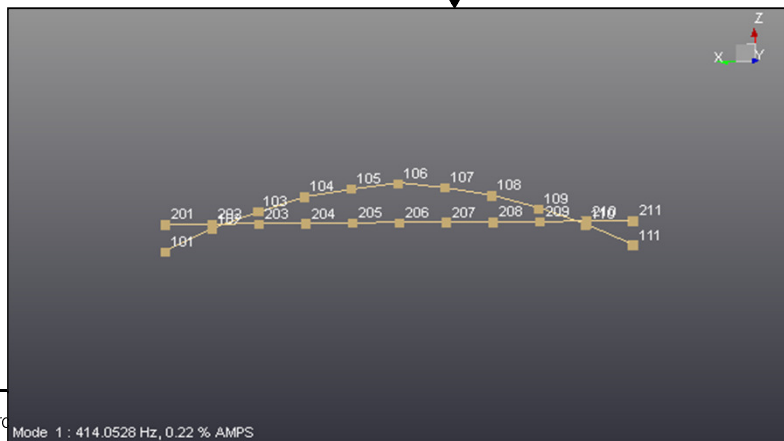
# Versuchsaufbau



# Modalanalyse-Ergebnisse

Gemessen wurden jeweils die ersten beiden Eigenschwingformen in z- und y-Richtung, es handelt sich hierbei jeweils um die erste Biegeschwingung

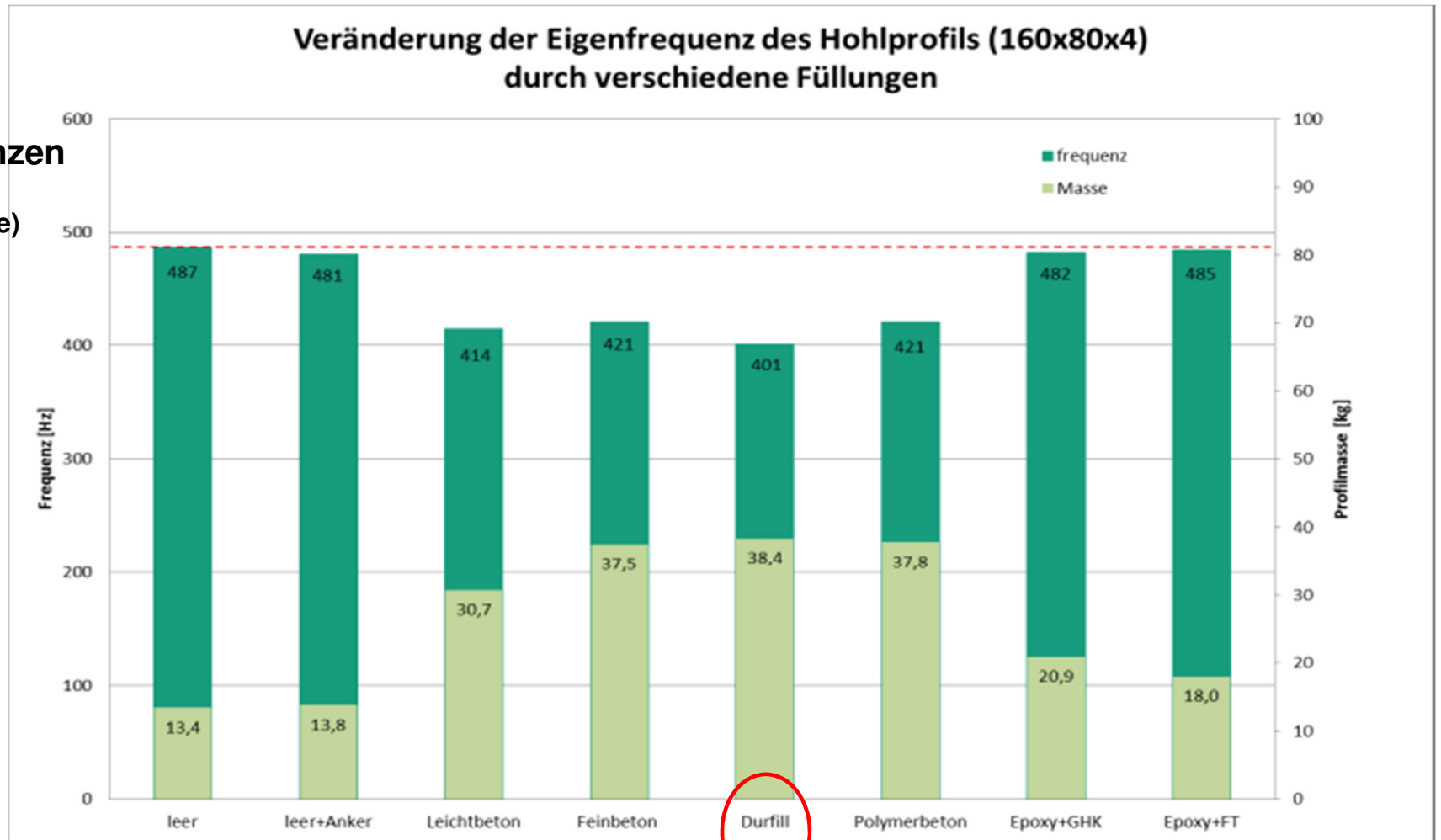
Profil	Masse [kg]	Mode Z1		Mode Y1		Mode Z2		Mode Y2		
		Eigen- frequenz	Dämpfung	Eigen- frequenz	Dämpfung	Eigen- frequenz	Dämpfung	Eigen- frequenz	Dämpfung	
		[Hz]	[-]	[Hz]	[-]	[Hz]	[-]	[Hz]	[-]	
Balken_1	leer	13,30	486,50	0,07	902,00	0,01	-	-	-	-
Balken_2	leer+Anker	13,80	480,70	0,05	886,00	0,01	-	-	-	-
Balken_3	Leichtbeton	30,70	414,10	0,22	691,90	0,17	978,3	2,06	1625,5	0,21
Balken_4	Feinbeton	37,50	420,70	0,18	728,00	0,19	1120,4	0,21	1746,6	0,24
Balken_5	Durfill	38,40	401,10	0,38	670,60	0,41	1010,1	0,68	1627,1	0,55
Balken_6	Polymerbeton	37,80	420,50	0,13	724,00	0,18	1097,9	0,17	1742,8	0,21
Balken_7	Epoxy+GHK	20,90	482,30	0,05	794,50	0,03	1146,1	0,12	1822,3	0,06
Balken_8	Epoxy+FT	18,00	484,90	0,14	813,80	0,07	1096,3	0,55	1801,8	0,49



Prof. Dr.

# Auswertung: Frequenz, Masse

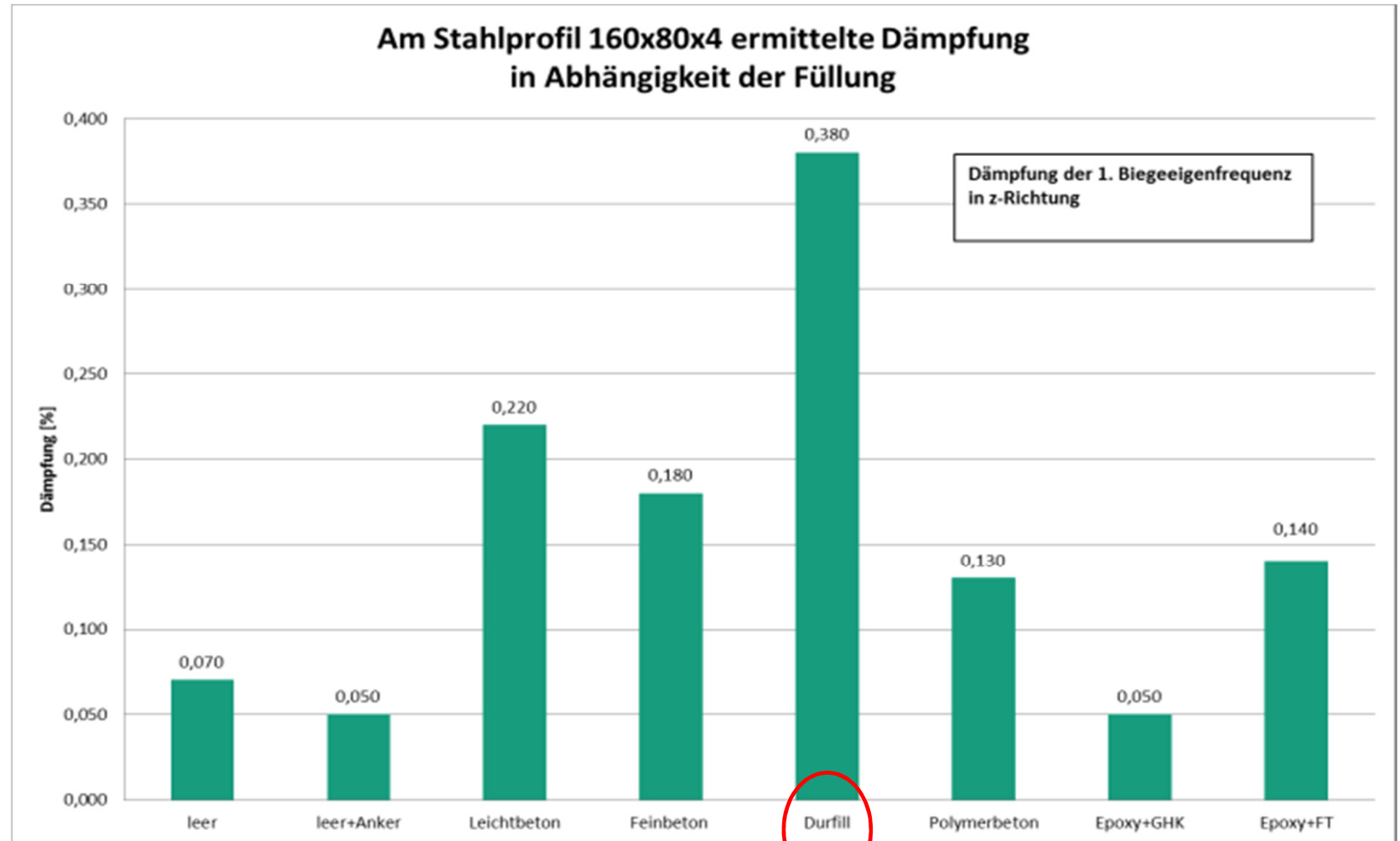
Vergleich der gemessenen 1. Eigenfrequenzen in z-Richtung (über schmale Seite)



Prof. Drossel

# Auswertung: Dämpfung

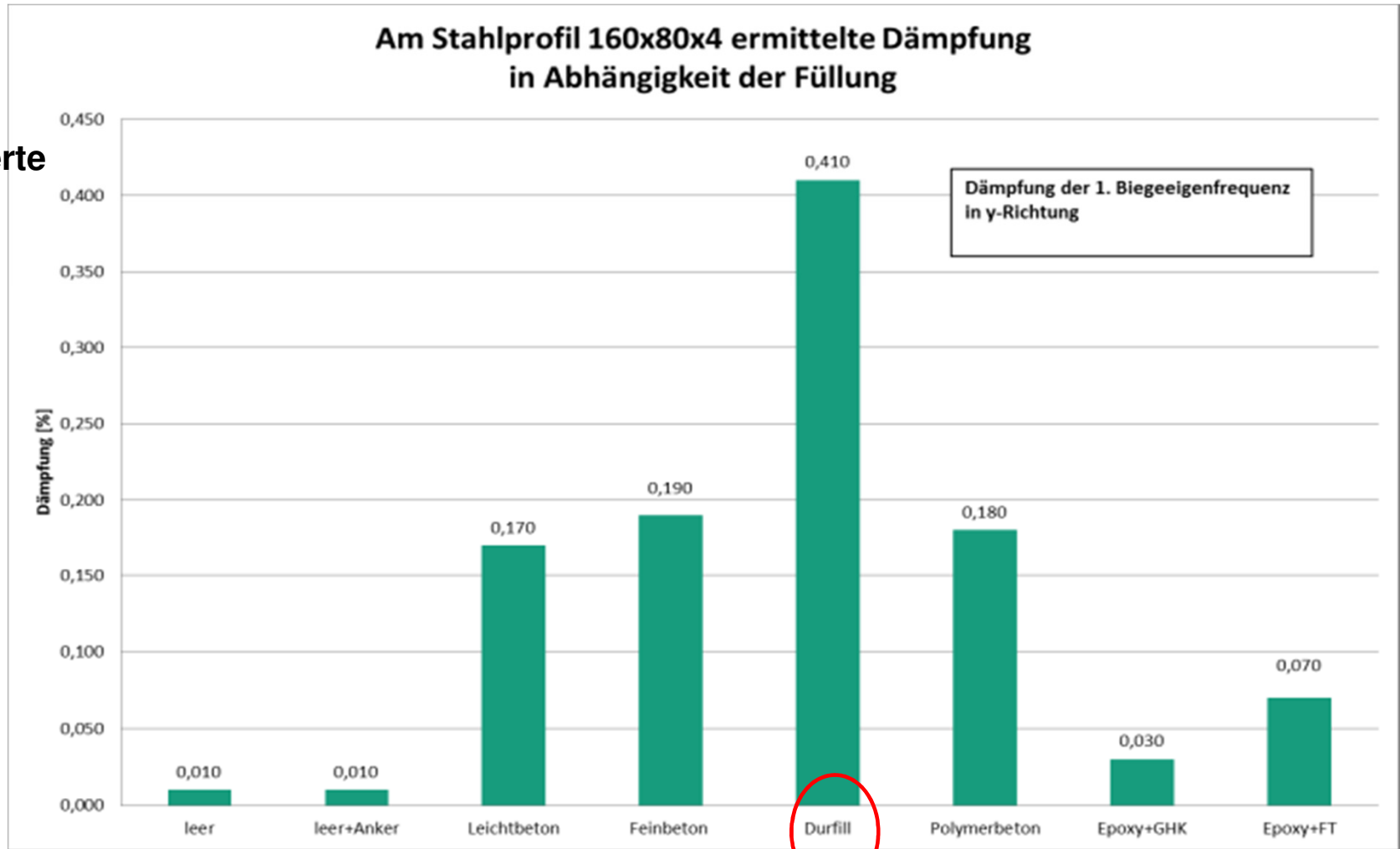
Vergleich der Dämpfungswerte (jeweils erste Biegeschwingung in z-Richtung)



Prof. Drossel

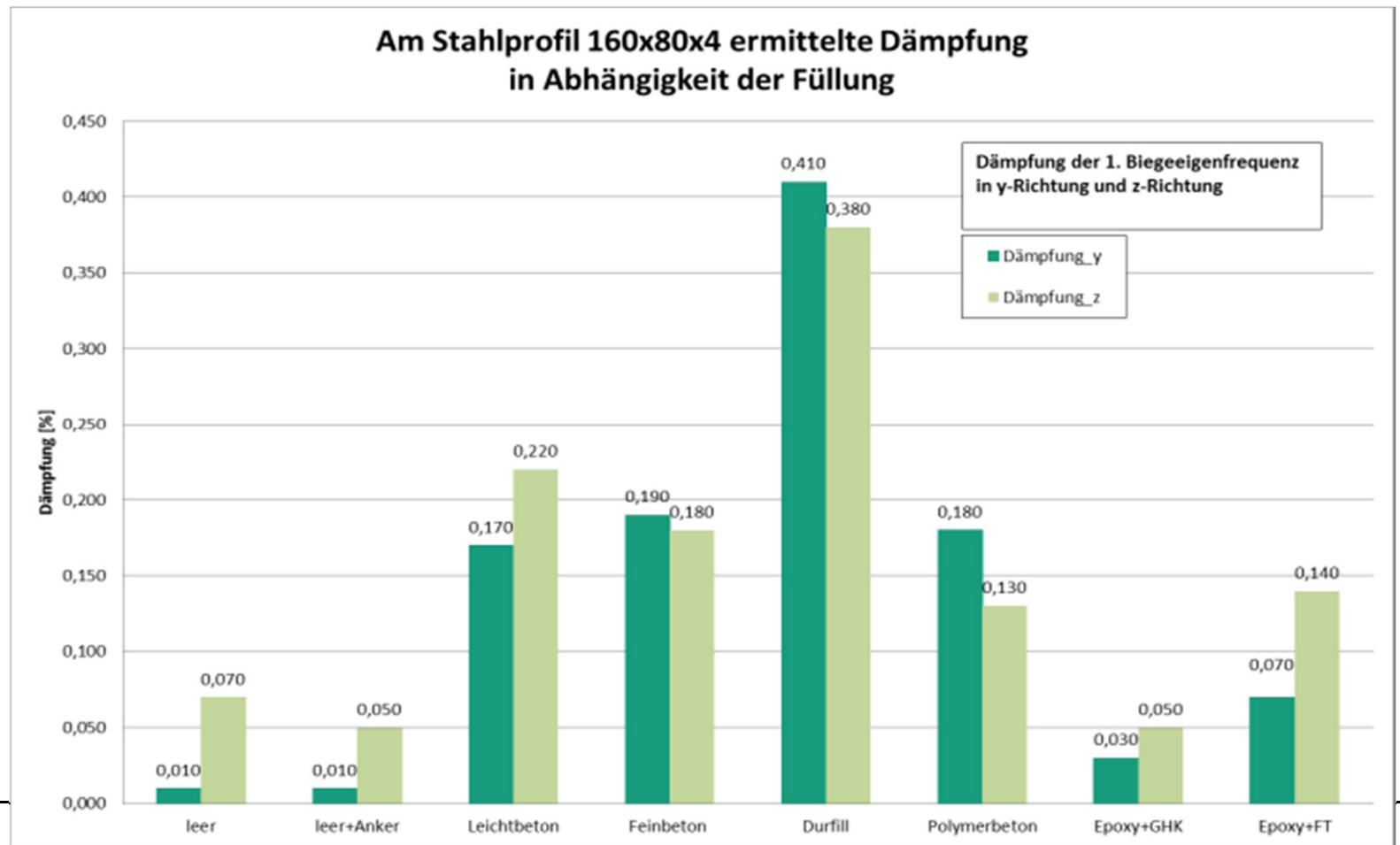
# Auswertung: Dämpfung

Vergleich der Dämpfungswerte (jeweils erste Biegeschwingung in y-Richtung)



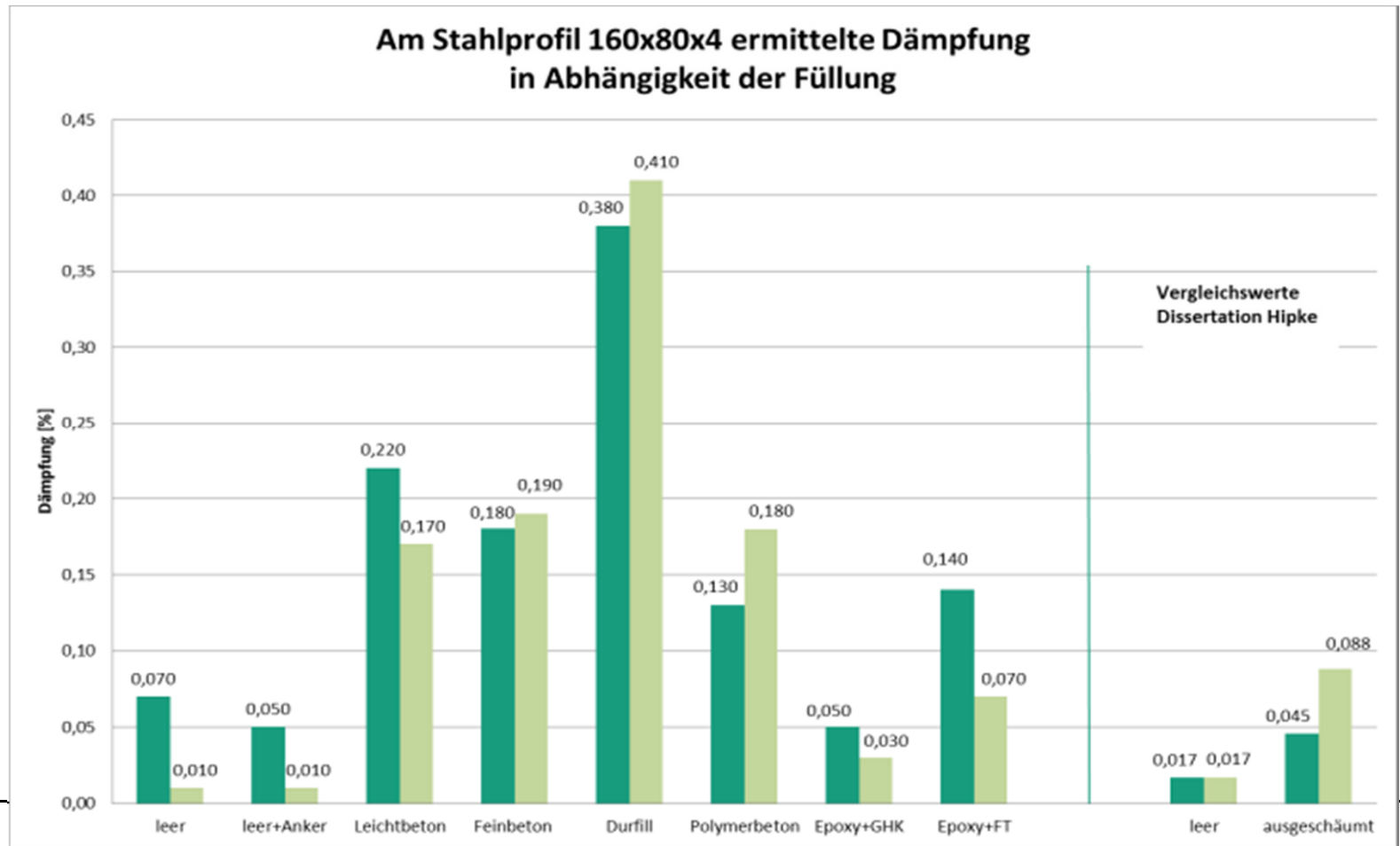
Prof. Drossel

## Vergleich der Dämpfungswerte (erste Biegeschwingung in z-Richtung und in y-Richtung)



Prof. Drossel

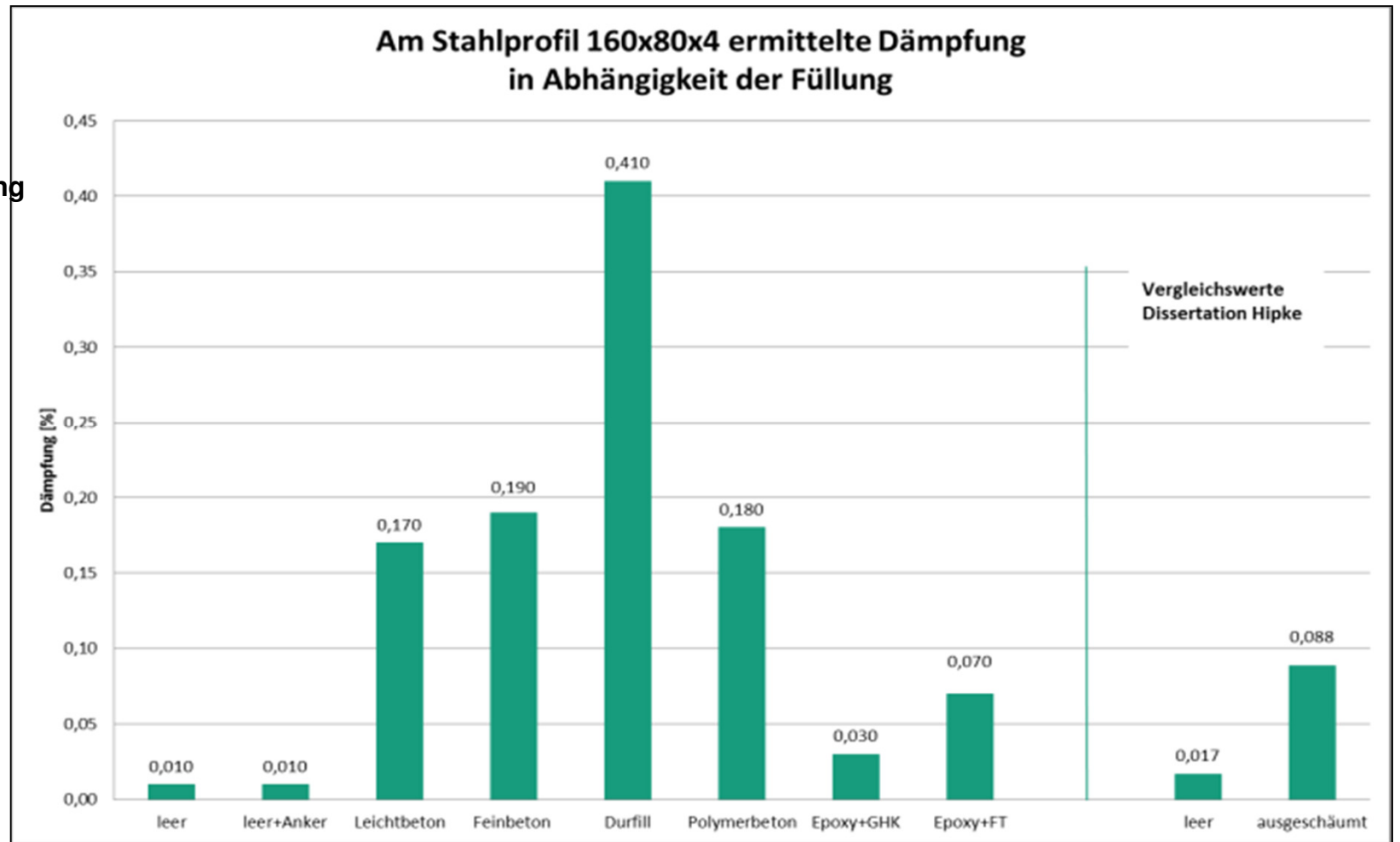
## Vergleich der Dämpfungswerte (erste Biegeschwingung in z-Richtung und in y-Richtung)



Prof. Drossel

# Auswertung: Dämpfung

Vergleich der Dämpfungswerte (erste Biegeschwingung in y-Richtung)

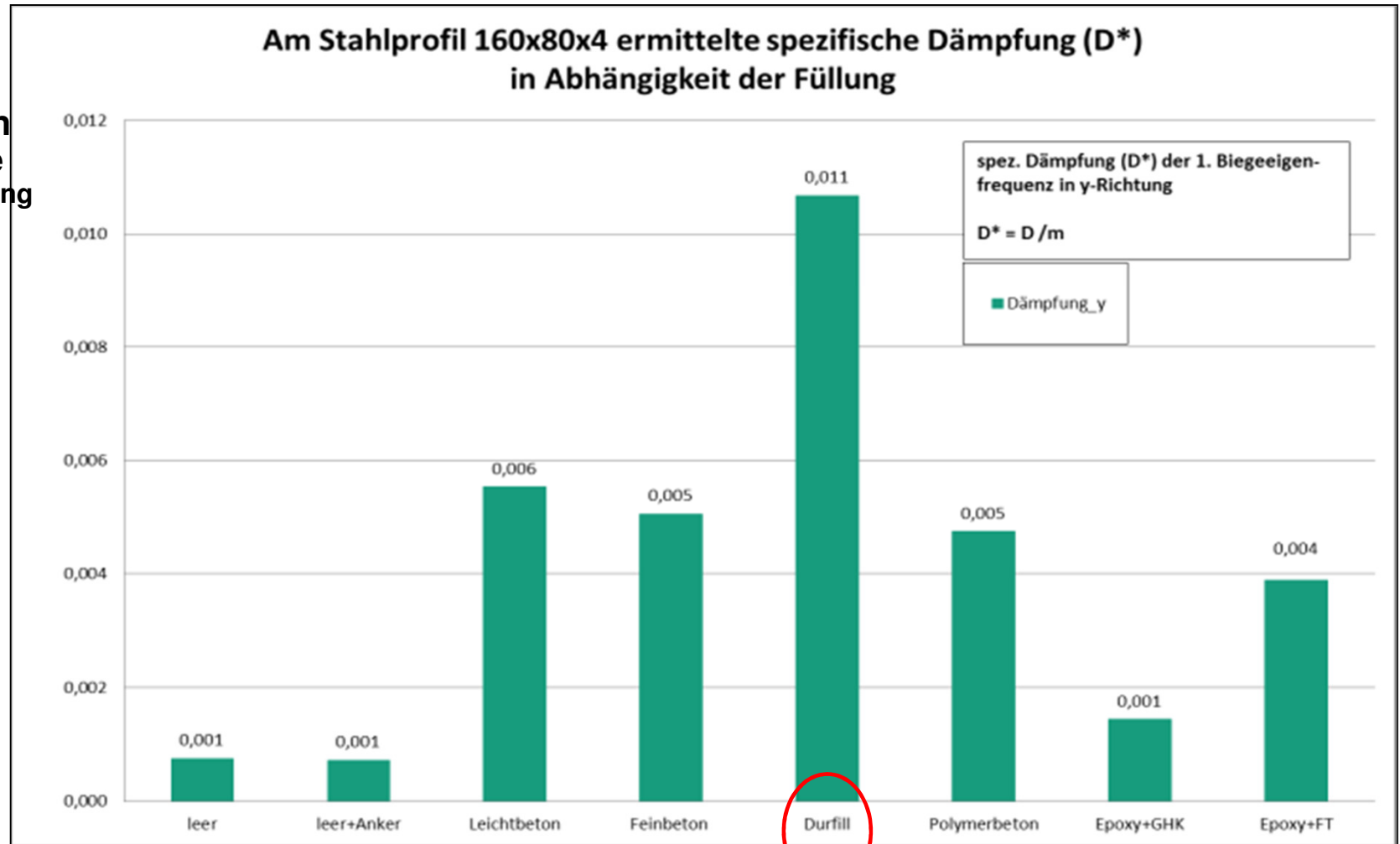


Prof. Drossel



# Auswertung: Dämpfung/Masse

Vergleich der massebezogenen Dämpfungswerte (erste Biegeschwingung in y-Richtung)



Prof. Drossel



## Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

**Dr.-Ing. Thomas Hipke**  
**Abteilungsleiter Funktionsintegrierter Leichtbau**

**Reichenhainer Straße 88**  
**09126 Chemnitz**

**Telefon: +49 (371) 5397 -1456**

**Mobiltelefon: +49 (160) 90602744**

**Fax 1 (PC): +49 (371) 5397 -61456**

**Fax 2: +49 (371) 5397 -1796**

**E-Mail: [Thomas.Hipke@iwu.fraunhofer.de](mailto:Thomas.Hipke@iwu.fraunhofer.de)**

**Web: <http://www.iwu.fraunhofer.de/de/schaumzentrum.html>**