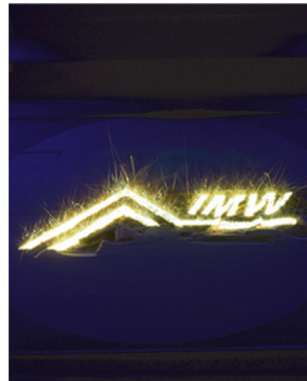


## Erweiterung der Forschungseinrichtungen am IMW und Einsatzpotentiale in der Akustikforschung

Maume, E.; Rehmet, R.

*Durch eine neu angeschaffte SLM-Anlage kann am Institut für Maschinenwesen Versuche zu einem weiteren Forschungsbereich der Akustik genutzt werden. Dabei handelt es sich um Untersuchungen an der Impedanz von gedruckten Proben, die Hohlräume aufweisen im Vergleich zu Proben ohne solche Hohlräume. Der Hintergrund dieser Versuche besteht darin, dass es mithilfe solcher Bauteile möglich sein könnte, die Schallabstrahlung von Maschinen und Anlagen zu verringern und so die Lärmbelastung zu reduzieren.*



*With a newly acquired SLM system, experiments on a further research area of acoustics can be carried out at the Institut für Maschinenwesen. These are tests with printed samples that have voids in terms of their impedance compared to samples without such voids. The background to these is that with such components it could be possible to reduce the sound radiation of machines and systems and thus to reduce noise pollution.*

### Bedarf an einer SLM-Anlage

Seit August diesen Jahres können wir am Institut für Maschinenwesen Bauteile durch selektives Laserschmelzen (eng. Selective laser melting, Abl. SLM) fertigen. Dabei wird Metallpulver mittels eines Lasers geschmolzen und so additiv ein Werkstück hergestellt.

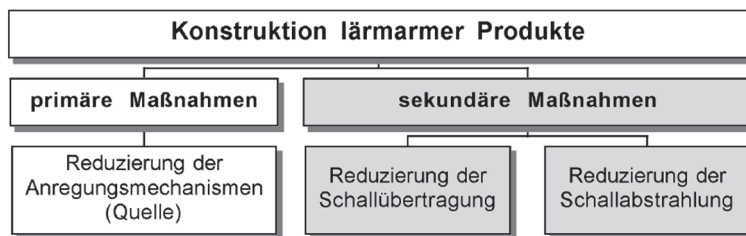
Dieses Fertigungsverfahren bietet zum einen Möglichkeiten schnell und flexibel Metallteile zu fertigen. Zum anderen ermöglicht es die Herstellung von Geometrien, die mit herkömmlichen Fertigungsverfahren wie z.B. Fräsen nicht herzustellen sind. Es ist möglich Bauteile mit belastungsgerechten Strukturen im Inneren aus einem Stück herzustellen. Ebenso können Teile mit Hohlräumen und Kanälen im Inneren, die die Eigenschaften der Bauteile beeinflussen, gedruckt werden. Es besteht also nicht mehr die Notwendigkeit solche Bauteile aus mehreren Elementen zusammenzufügen. Je nach Komplexität reduziert dieser Umstand die Fertigungsdauer. Vor allem aber kann die Stabilität des Bauteils erhöht werden.

Es wurde eine „TruPrint 1000“ der Firma TRUMPF GmbH + Co. KG angeschafft, die die beiden vorhandenen „EOSintM250ext“ ersetzt. Mit den alten Anlagen war es

zwar mit 250 mm x 250 mm Bauraum möglich größere Bauteile im „Selectice Laser Sintering“ Verfahren herzustellen als mit der „TruPrint 1000“. Mit der neuen Anlage haben wir nun die Möglichkeit in einem Bauraum von 100 mm Durchmesser und 100 mm Höhe komplexe Geometrien mit nur leicht verminderten Festigkeitswerten wie bei konventionellen Fertigungsverfahren zu drucken. Diese Anlagen waren jedoch aufgrund der verwendeten Herstellungsverfahren nicht mehr für unsere aktuellen Forschungsthemen geeignet, da das Verfahren nur sehr eingeschränkte Bauteilfestigkeiten erzeugt. Bei der „TruPrint 1000“ wird das Metallpulver durch schichtweises Aufschmelzen zu einem Bauteil. So entsteht ein deutlich dichteres Gefüge als es durch das Sinterverfahren der „EOSintM250ext“ möglich ist. Mit der neuen Anlage ergeben sich viele Möglichkeiten, um am IMW bereits untersuchte Forschungsgebiete zu vertiefen und auch Beiträge zu neuen Gebieten zu leisten. Im Folgenden ist ein Bereich der Akustik, in dem wir aufgrund dieser Anlage neue Versuchsmöglichkeiten haben, beschrieben.

### Verbindung zur Akustik

Im Bereich der Antriebselemente ist die Übertragungsfähigkeit von Körperschall für jedes Element ein wichtiger Faktor. Speziell bei Konstruktionen und Anlagen im Consumerbereich besitzen leisere und vibrationsärmere Anlagen einen Marktvorteil gegenüber derjenigen Konkurrenz, die diesen Aspekt weniger beleuchtet. Als Beispiel sei hier die Waschmaschine genannt, deren Schallabstrahlung möglichst klein sein soll. Durch drehende Antriebselemente, exzentrische Massen und variable Drehzahlen entstehen Körperschallanregungen im Antriebsstrang, die sich durch die Lagerung auf das Gehäuse übertragen. Die Einhausung von solchen Geräten besteht üblicherweise aus Blech, aus Kostengründen häufig mit geringer Dicke. Trifft die Körperschallschwingung auf die Bleche verhält sich die Umhausung der Waschmaschine im ungünstigsten Fall wie die Membran eines Lautsprechers und es kommt zu einer Luftschallanregung.



**Abbildung 1:** Maßnahmen zur Senkung der Schallabstrahlung von Produkten /1/

Zur Vermeidung einer solchen Luftschallanregung kann auf verschiedene Vorgehensweisen zurückgegriffen werden, vgl. /1/:

- Vermeidung der Körperschallanregung durch Optimierung der Baugruppe
- Vermeidung der Luftschallanregung durch Aussteifung der Umhausung
- Vermeidung der Körperschallübertragung vom Schallentstehungsort zum Abstrahlort durch Einbringen von Impedanzelementen

Es ist nicht immer möglich, alle Anregungen durch Körperschall zu vermeiden. Als Beispiel sei für die Waschmaschine die Exzentrizität durch die Wäsche genannt. Auch wenn dieser Ansatz grundsätzlich der ressourcen- und energiesparendste ist, lässt sich nicht jedes maschinendynamische Problem mit diesem Ansatz beseitigen.

Die Vermeidung der Luftschallanregung ist ein in einigen Konstruktionsbereichen weit verbreitetes Vorgehen. Das zugrundeliegende Funktionsprinzip basiert auf einer lokalen Änderung der Steifigkeit des Materials, am Beispiel der Waschmaschine wird dies durch Aussteifungen des Blechs umgesetzt.

Die Vermeidung von Körperschallübertragung wird häufig durch Entkopplungselemente wie zum Beispiel Elastomer-Halter für schwingende Maschinenelemente oder auch Feder-Dämpfer-Systeme umgesetzt. Auch dieses Prinzip basiert auf einer lokalen Steifigkeitsänderung, wobei hier unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen können. Solche Elemente finden sich in nahezu jeder Konstruktion, unter anderem auch in Haushaltsgeräten wie der Waschmaschine.

Es lässt sich zusammenfassen, dass, wenn die Anregung von Körperschall nicht vermieden werden kann, der Körperschall durch Steifigkeitssprünge geleitet und hierbei vermindert werden kann. Innerhalb eines Bauteils kann ein solcher Steifigkeitssprung auch durch Flächen oder Ebenen eines Konstruktionselementes umgesetzt werden, z.B. durch Einbringung von Bohrungen.

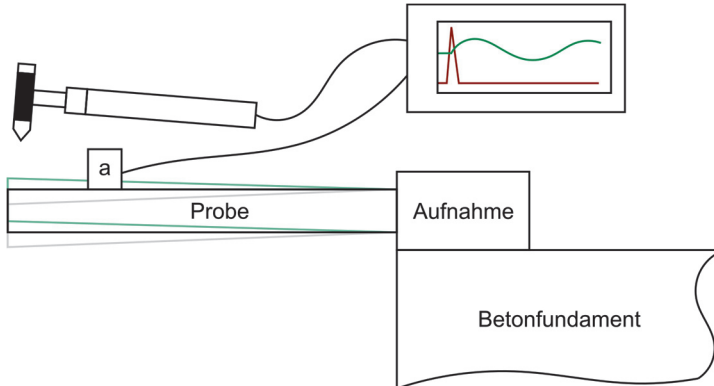
Unter Nutzung der Formgebungsfreiheiten durch den Einsatz von 3D-Druckverfahren lassen sich eine Vielzahl von Geometrien herstellen, die durch spanende Fertigung nicht umsetzbar sind. Innerhalb der Bauteile lassen sich Geometrien in Form von Kavitäten herstellen, die z. B. mit Metall-Pulver oder Luft gefüllt sind. In diesem Bereich wurden bereits für einige Maschinenelemente Untersuchungen durchgeführt, zum Beispiel für Werkzeughalter bei der Bearbeitung von Titanbauteilen, vgl. /2/.

Durch Nutzung von Geometrievariation soll in diesem Forschungsansatz untersucht werden, ob für Maschinenelemente aus dem Bereich der Antriebstechnik eine integrierte Steifigkeitsänderung sinnvoll ist.

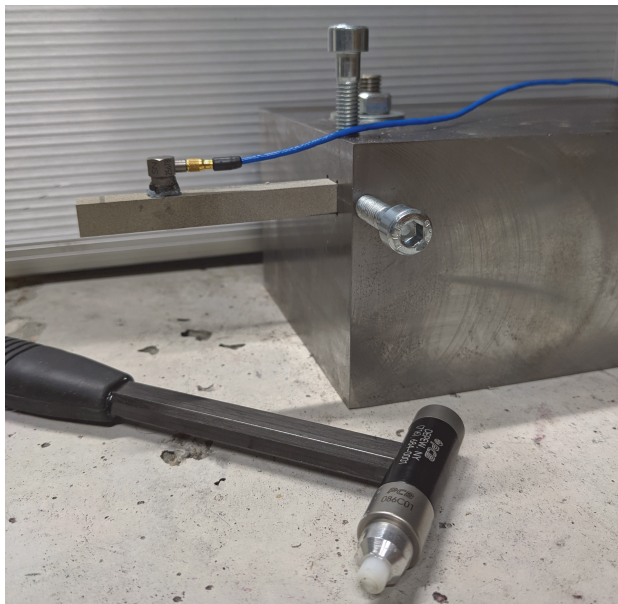
### **Bestimmung der Dämpfungseigenschaften an Materialproben**

Als Ansatzpunkt für die Untersuchung wird ein Prüfaufbau eingerichtet, der die Ausbreitung und das Abklingen von einer freien Biegeschwingung untersucht. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt. Die Anregung der frei-schwingenden Probe erfolgt durch einen Modalhammer, die Abklingkurve wird

mit einem Beschleunigungsaufnehmer untersucht. Die Masse der Probe ist gegenüber der Aufhängung und dem Betonfundament sehr klein, sodass von geringen Rückwirkungen durch die Lagerung auszugehen ist.

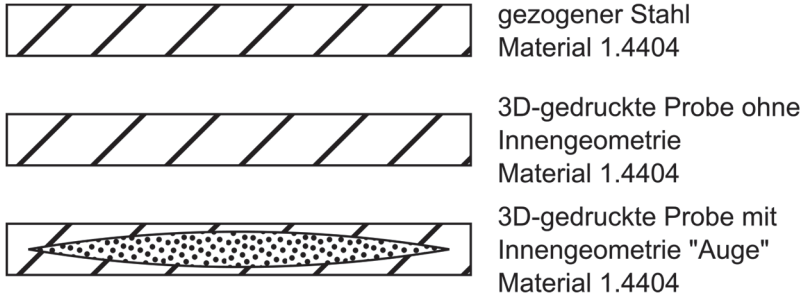


**Abbildung 2:** schematische Darstellung des Versuchsaufbau zur Bewertung der Impedanz der Proben



**Abbildung 3:** Versuchsaufbau zur Bewertung der Impedanz der Proben

Die Untersuchungen werden für Edelstahlmaterial (1.4404) ausgeführt. Die Proben werden als Stäbe mit quadratischer Grundfläche hergestellt. Es wurden jeweils drei Proben pro Variante untersucht.



**Abbildung 4:** untersuchte Proben-Geometrien

Als Probengeometrie für die Biegeschwingungsanalyse kommen drei Varianten zum Einsatz:

- Vergleichsmessung aus gezogenem Vollmaterial
- 3D-gedruckte Vollgeometrie / ohne Innengeometrie
- 3D-gedruckte Probe mit Innengeometrie

In Abbildung 4 sind die Proben, die in Abbildung 5 zu sehen sind, schematisch im Schnitt dargestellt.



**Abbildung 5:** Versuchsproben (Links: gezogener Stahl; Mitte: 3D-gedruckte Probe ohne Innengeometrie; Rechts: 3D-gedruckte Probe mit Innengeometrie)

## Ergebnisse der Vorstudien

Die Analyse der Messdaten zeigt, dass es sich um eine gedämpfte Schwingung handelt, deren Amplitude sich mit einer exponentiellen Funktion verringert. Als Ansatzfunktion wird daher die in Gleichung (2) genannte Funktion verwendet.

Anhand der lokalen Maxima der Schwingung werden die zwei in der Gleichung angegebenen Koeffizienten ermittelt.

$$a(t) = \hat{A} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \exp(-d \cdot t) \quad (1)$$

für Sinus-Maximum wird  $\sin(\omega \cdot t) = 1$

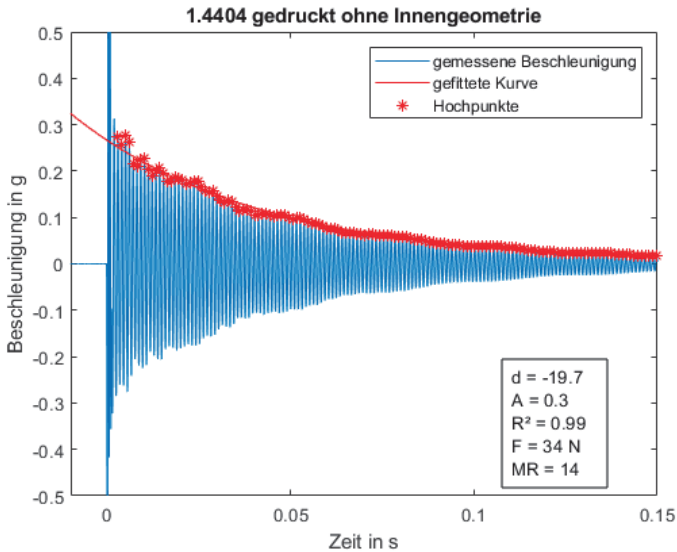
$$A(t) = \hat{A} \cdot \exp(-d \cdot t) \quad (2)$$

**Tabelle 1:** Ergebnisse der Untersuchungen

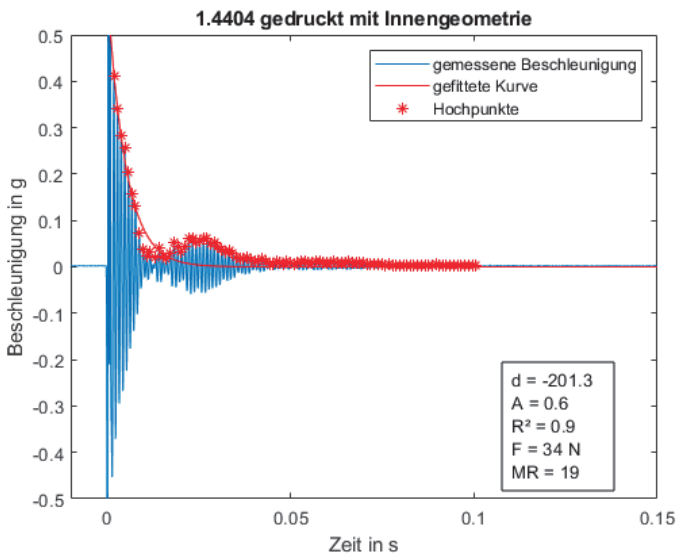
Variante	Dämpfungsexponent b (Mittelwert)	ausgewertete Frequenz
gezogener Stahl	22,3	ca. 950 Hz
3D-gedruckt ohne Innengeometrie	22,6	ca. 950 Hz
3D-gedruckt mit Innengeometrie	161,6	ca. 950 Hz

Die Ergebnisse legen nahe, dass durch Steigerung des Hohlvolumens der Dämpfungsgrad der Proben zunimmt. Zu diesem Ergebnis kommen auch ähnliche Studien, vgl. /3/. In dieser Studie wird unter anderem das Verhältnis von verschmolzenem zu unverschmolzenem Material diskutiert.

In den Abbildung 6 und Abbildung 7 sind die Messdaten nebst Auswertung für eine 3D-gedruckte Probe ohne und mit Innengeometrie dargestellt.



**Abbildung 6:** Messdaten und Auswertung einer Probe der Variante "3D-gedruckte Probe ohne Innengeometrie



**Abbildung 7:** Messdaten und Auswertung einer Probe der Variante "3D-gedruckte Probe mit Innengeometrie

Anhand der berechneten und ausgegebenen Werte ist ein direkter Vergleich der Dämpfungseigenschaften zu erkennen. Zu erwähnen ist, dass das Bestimmtheitsmaß  $R^2$ , das eine Aussage zur Treffgenauigkeit der Ansatzfunktion für die Messdaten liefert, bei einigen Proben nicht ausreichend ist. Dies spricht dafür, dass die Ansatzfunktion aus Gleichung (2) die Verhältnisse nicht vollständig abbildet. Dieser Zusammenhang ist auch in Abbildung 7 zu erkennen, da die Exponentialfunktion das Aufschwingen zwischen 0 und 0,05 Sekunden nicht abbildet. Da die Ansatzfunktion die Oberschwingung nicht abbildet, ist auch die Streuung der Ausgewerteten d-Werte sehr groß. Im nächsten Schritt muss also geprüft werden, ob eine Ansatzfunktion von höherem Grad notwendig ist.

## Zusammenfassung und Ausblick

Durch die neue SLM-Anlage am Institut kann ein Forschungsansatz im Bereich der Akustik verfolgt werden, der durch konventionelle Fertigung nicht abbildbar ist. Es konnte gezeigt werden, dass durch Nutzung von Formgebungsfreiheiten durch den 3D-Druck Einwirkungen auf die Abklingkurve eines frei schwingenden Stabes erzielt werden können. Im Zusammenhang mit dynamisch belasteten Maschinenelementen aus der Antriebstechnik kann hier ein Beitrag zu leiseren Maschinen und Anlagen geleistet werden.

In weiteren Studien werden die dynamisch-mechanischen Auswirkungen und Impedanzeigenschaften von unterschiedlichen Innengeometrien untersucht. Weiterhin wird für die Anwendbarkeit für reale Maschinenelemente die Untersuchung der Festigkeitseigenschaften notwendig.

## Literatur

- /1/ Dietz, P.; Gummersbach, F.: Lärmarm konstruieren XVIII – Systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele, Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft, 2001
- /2/ Biermann, D., Meier, H., Haberland, C., Abrahams, H., Metzger, M., Steiner, M.: Einsatz additiv gefertigter Werkzeughalter: Optimierungspotentiale bei der Drehbearbeitung von Titan durch strahlgeschmolzene Werkzeugaufnahmen; In: wt Werkstattstechnik – Online: Forschung und Entwicklung in der Produktion; Nr. 103/6, S. 481–484, 2013
- /3/ Künneke, T.; Zimmer D.: Konstruktionsregeln für additiv gefertigte Partikeldämpfer, erschienen in „Konstruktion (2021 Nr.11-12)“, VDI Verlag, 2021