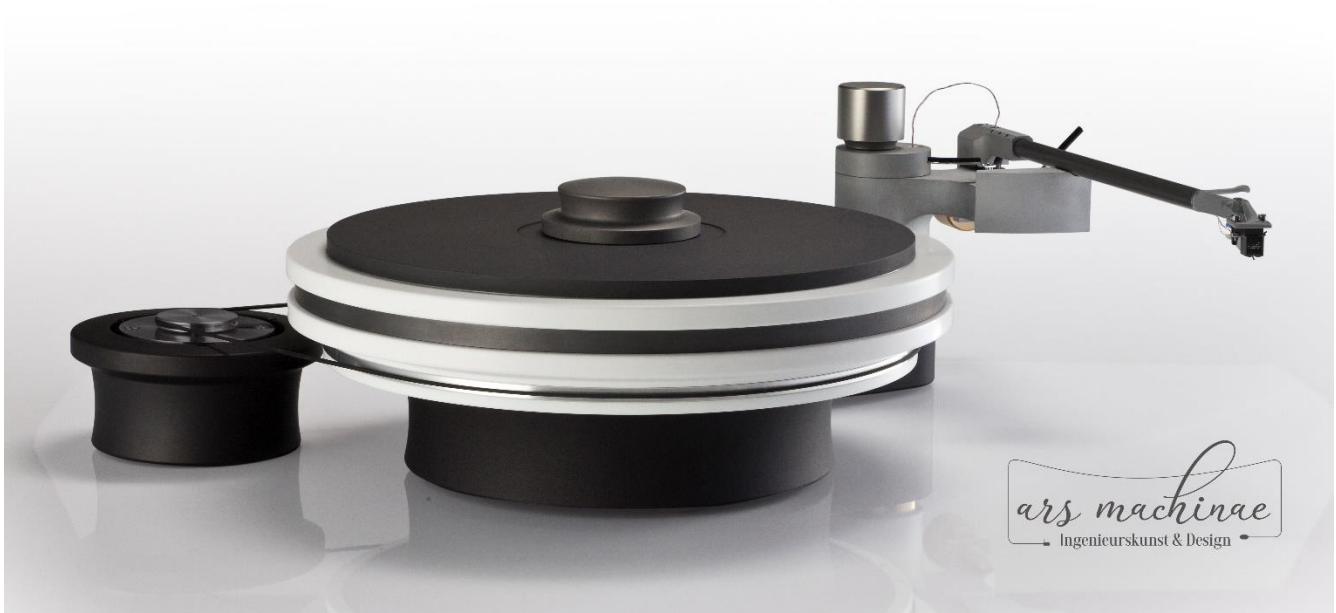


## Fallstudie

# Entwicklung und additive Fertigung einer Plattenklemme mit schwingungsdämpfenden Eigenschaften



### Projektpartner

Ars Machinae

### Branche

Audioequipment

### Herausforderung

Minimierung von Störgeräuschen bei der Musikwiedergabe eines Plattenspielers durch eine dämpfungsoptimierte Plattenklemme

### Lösung

Integration eines Partikel-dämpfers und Realisierung des Leichtbauprinzips durch Nutzung der Potentiale der additiven Fertigung

## Hintergrund

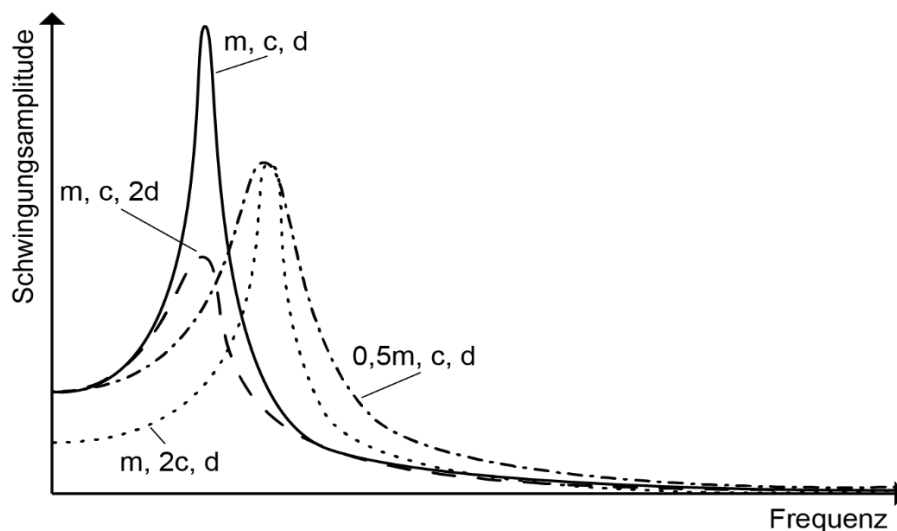
Im Anwendungsfall der analogen Musikwiedergabe spielt das Schwingungsverhalten des Abspielgeräts eine große Rolle für die Klangqualität des Musikstücks. Speziell bei Plattenspielern sind an der Musikwiedergabe verschiedene Komponenten beteiligt, die jede für sich ein eigenes Schwingungsverhalten aufweisen. Werden die Komponenten durch die Musikwiedergabe zum Schwingen angeregt, entstehen Störgeräusche, die als Rauschen wahrgenommen werden. Zur Verbesserung der Klangqualität werden die verwendeten Komponenten konstruktiv so ausgelegt, dass sie bei einer Anregung möglichst geringe Schwingungsamplituden aufweisen. Ein

Beispiel für eine solche Komponente ist die Plattenklemme (vgl. *Abbildung 1*). Sie wird in Plattenspielern benutzt, um die Schallplatte zu stabilisieren und die alterungsbedingte Unebenheit der Schallplatte auszugleichen.



*Abbildung 1: Plattenklemme*

Um das Schwingungsverhalten von Bauteilen zu evaluieren, können mittels der Finiten-Elemente-Methode (FEM) Frequenzanalysen durchgeführt werden, die als Ergebnis Schwingungskurven ausgeben. Hieraus lässt sich ablesen, bei welcher Frequenz die höchste Schwingungsamplitude auftritt. Auf die Höhe der Schwingungsamplituden kann Einfluss genommen werden, indem die Bauteileigenschaften, die das Schwingungsverhalten bestimmen, angepasst werden. Im Allgemeinen sind die drei Einflussgrößen Masse ( $m$ ) Steifigkeit ( $c$ ) und Dämpfungsgrad ( $d$ ) des Bauteils zu nennen. Wie in *Abbildung 2* zu sehen, kann durch die Variation dieser Einflussgrößen eine Reduktion der Schwingungsamplitude erfolgen.



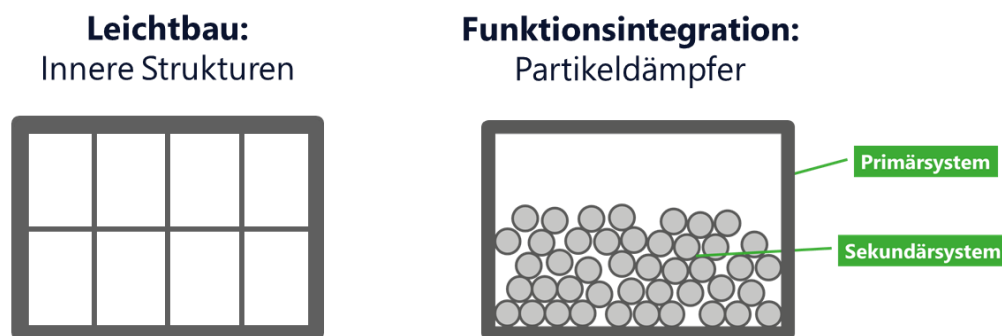
*Abbildung 2: Einflussgrößen auf die Amplitude von Schwingungen*

## Problemstellung

Die Firma Ars Machinae ist Hersteller von hochwertigen Plattenspielern und hat daher einen hohen Anspruch an die Klangqualität bei der Musikwiedergabe von Schallplatten. Hierbei steht bei der Entwicklung von Plattenspielern das Schwingungsverhalten der verschiedenen Komponenten im Fokus, um eine Musikwiedergabe ohne Störgeräusche zu ermöglichen. Hohe Schwingungsamplituden, welche als Störgeräusche wahrgenommen werden, entstehen vor allem bei einer Anregung der Komponenten im Bereich der Eigenfrequenzen. Um das Schwingungsverhalten der bestehenden Plattenklemme zu verbessern und somit die Schwingungsamplituden zu reduzieren, wird auf die Potenziale der metallpulverbasierten additiven Fertigung zurückgegriffen.

## Lösungsansatz

Zur Verbesserung des Schwingungsverhaltens der Plattenklemme werden zwei der drei genannten Einflussgrößen auf das Schwingungsverhalten des Systems angepasst. Zum einen wird durch die Realisierung des Leichtbauprinzips die Masse durch Einbringung eines Hohlraums und inneren Strukturen reduziert. Ziel ist, die Steifigkeit hierdurch nicht zu reduzieren. Zum anderen wird der Dämpfungsgrad erhöht, indem ein Partikeldämpfer in das Primärsystem integriert wird, ohne die Außengeometrie zu verändern (vgl. *Abbildung 3*).



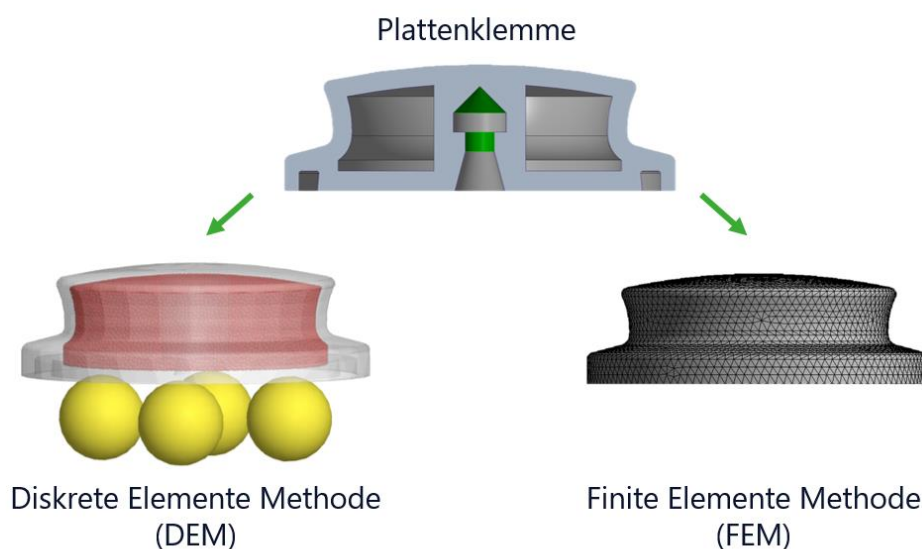
*Abbildung 3: Funktionsintegration und Leichtbau durch metallpulverbasierte additive Fertigung*

Die Plattenklemme wird durch Laserstrahlschmelzen schichtweise aus Metallpulver gefertigt. Durch die additive Fertigung können Hohlräume und komplexe innere Strukturen mit Hinterschnitten in der Bauteilgeometrie realisiert werden, wodurch Leichtbaustrukturen umgesetzt werden können. Gleichzeitig kann das Restpulver, das im Hohlraum der Plattenklemme fertigungsbedingt verbleibt und in der Regel nach dem Fertigungsprozess entfernt werden müsste, als Partikeldämpfer genutzt werden.

Die durch die Musikwiedergabe verursachten Schwingungen der Plattenklemme übertragen Energie auf die Restpulverpartikel im Inneren der Plattenklemme. Durch Reib- und Stoßvorgänge zwischen den Restpulverpartikeln und den Restpulverpartikel-Wandkontakten wird die Energie aus der Bewegung der Restpulverpartikel in Form von Wärme abgeführt. Durch diesen physikalischen Effekt kann die Schwingungsamplitude der Plattenklemme (Primärsystem) durch das Restpulver (Sekundärsystem) gedämpft und der Dämpfungsgrad des Gesamtsystems erhöht werden.

Im Vorfeld der Fertigung der Plattenklemme werden verschiedene Werkzeuge der virtuellen Produktentwicklung angewandt, um eine geeignete Konstruktion für ein optimales Schwingungsverhalten zu evaluieren. Hierfür kommen zwei unterschiedliche computergestützte Simulationsmethoden zum Einsatz (vgl. *Abbildung 4*).

Zum einen erfolgt die Untersuchung des Einflusses des Primärsystems durch eine Modalanalyse basierend auf der Finite-Elemente-Methode (FEM). Hier wird zur Bestimmung des Schwingungsverhaltens der Eigenfrequenzverlauf dargestellt. Zum anderen wird der Einfluss des Sekundärsystems auf das Primärsystem durch die Diskret-Elemente-Methode (DEM) ermittelt. Um den Dämpfungseinfluss auf das Primärsystem zu ermitteln, werden die Partikelbewegungen simuliert. Der Dämpfungsgrad, der aus der DEM-Analyse bekannt wird, wird den Parametern der Modalanalyse zugeführt.



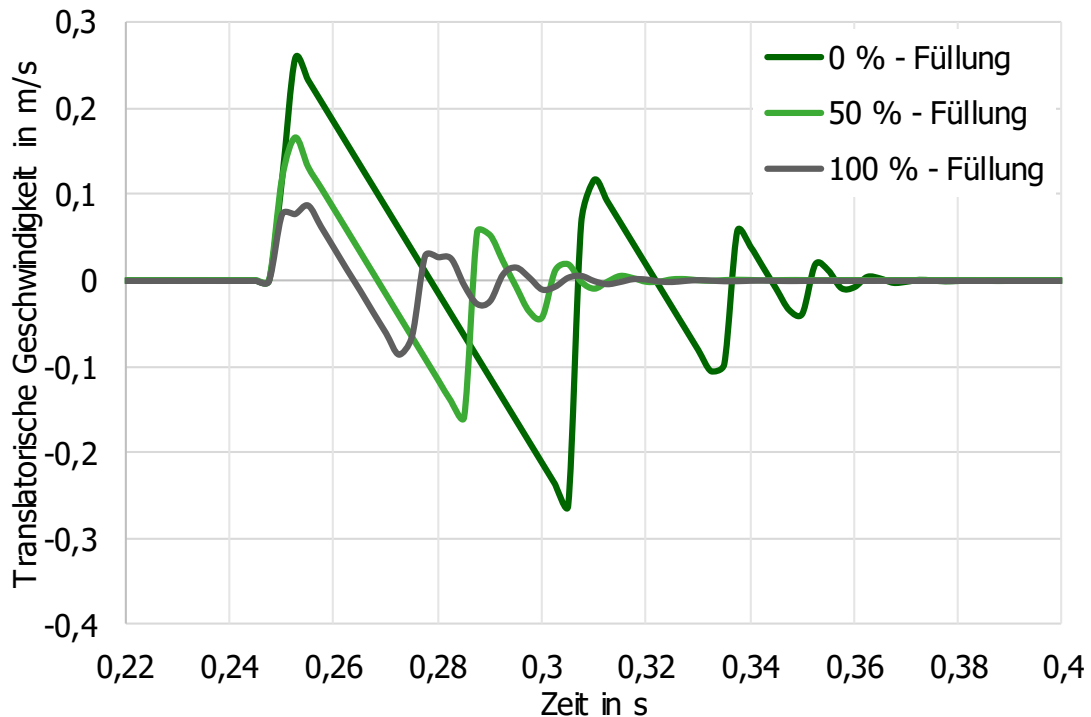
*Abbildung 4: Verwendete Simulationsmethoden*

### Erzielte Ergebnisse

Im Zuge einer ersten Modalanalyse konnte festgestellt werden, dass die kritische Eigenfrequenz des Primärsystems bei der vierten Eigenmode vorliegt und hier eine Spitze des maximalen abgestrahlten Schalldruckpegels auftritt. Somit ist in diesem Frequenzbereich das Störgeräusch am lautesten wahrnehmbar. Ziel der konstruktiven Optimierung ist daher, die vierte Eigenmode zu behindern, indem die Steifigkeit der Plattenklemme durch Einbringung innerer Strukturen in den Hohlraum erhöht wird. Hierbei wurden verschiedene Wandstärken und innere Strukturen getestet. Als innere Strukturen wurden verschiedene Gitterstrukturen und Verrippungen untersucht.

Für die Durchführung der weiteren Modalanalyse wurde der Dämpfungsgrad durch eine DEM-Analyse ermittelt. Hierbei wurde der Füllgrad des Hohlraums der Plattenklemme mit Metallpulver bestimmt, der zu einem maximalen Dämpfungsgrad führt. Die Auswertung des Kurvenverlaufs ergab einen optimalen Füllgrad von 100 % unter Berücksichtigung der Schüttdichte. Die *Abbildung 5* zeigt die Auswertung der translatorischen Geschwindigkeit über die Zeit. Es ist

erkennbar, dass das System bei einem Füllgrad von 100 % am stärksten gedämpft ist. Dies wirkt sich auf die spätere Nachbearbeitung der Plattenklemme vorteilhaft aus, da nach dem Fertigungsprozess kein überschüssiges Metallpulver aus dem Hohlraum entfernt werden muss. Der exakte Dämpfungsgrad kann über die Auswertung des Kurvenverlaufs unter Anwendung des logarithmischen Dekrements ermittelt werden.



(Prozentuale Füllung unter Berücksichtigung der Schüttdichte)

Abbildung 5: Ermittlung des optimalen Füllgrads

In *Abbildung 6* ist zu erkennen, dass sich der maximale abgestrahlte Schallpegel durch die Einbringung des Hohlraums zunächst erhöht, wodurch die Klangqualität reduziert wird. Durch die Einbringung einer Verrippung lässt sich der maximale abgestrahlte Schallpegel senken, wobei das Niveau der Plattenklemme aus Vollmaterial nicht erreicht wird. Jedoch erfolgt durch die Hohlraumeinbringung die Möglichkeit zur Integration eines Partikeldämpfers, wodurch die Dämpfung wiederum erhöht wird. Bei der Betrachtung des Gesamtsystems aus der Kombination von Leichtbau und Partikeldämpfer ist eine deutliche Verbesserung des Schwingungsverhaltens zu erkennen, da der maximale abgestrahlte Schallpegel von 63 dB auf 53 dB reduziert werden konnte. Dabei entspricht eine Reduktion von 10 dB auf Grund der logarithmischen Skalierung dem Faktor 2 der wahrgenommenen Lautstärke.

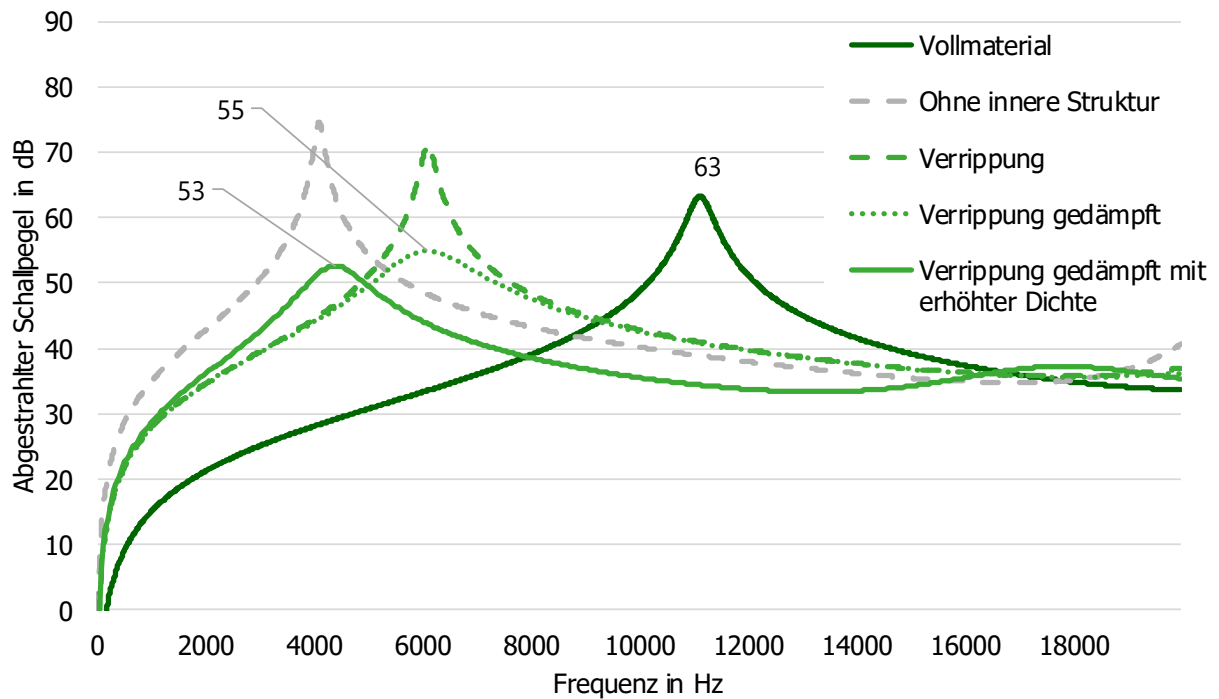


Abbildung 6: Abgestrahlter Schallpegel

## Technologietransfer

Neben der gemeinsamen (Universität Bayreuth und Ars Machinae) Entwicklung einer simulationsgestützten Methodik aus der Kombination von DEM- und FEM-Analyse wurde eine Plattenklemme mittels metallpulverbasiertem additivem Fertigungsverfahren gefertigt. Die entwickelte Methodik kann auf weitere Anwendungsfälle übertragen werden, was es der Ars Machinae zukünftig ermöglicht, die Qualität ihrer Produkte zu steigern.

### Kurzprofil des Kooperationspartners: Ars Machinae

Gnellenroth 10, 96215 Lichtenfels

post@arsmachinae.de

www.arsmachinae.de

Die Firma Ars Machinae bietet neben hochwertigen Plattenspielern und Zubehör, Dienstleistungen im Bereich der Produktentwicklung von Plattenspielern und Tonarmen an.

