

Titel

Entwicklung einer Schwingungsdämpfung über das Flanschsystem für scheibenförmige Trennwerkzeuge

IGF-Nr.: 15600 N

Forschungsstellen

Forschungsstelle 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe,
Remscheid (IFW-RS)

Forschungsstelle 2: Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der
Leibniz Universität Hannover (IFW-H)



Leibniz
Universität Hannover



Institut für Fertigungstechnik
und Werkzeugmaschinen

Ansprechpartner beim IFW-Remscheid:

Dr. Christian Pelshenke
02191 / 5921.0
pelshenke@fgw.de

Ansprechpartner beim IFW-Hannover:

Dr. Jens Köhler
0511 / 762.2563
koehler@ifw.uni-hannover.de

Danksagungen

Die Durchführung der vorliegenden Forschungsarbeit wurde dankenswerter Weise vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen - Otto von Guericke - e.V. (AiF) aufgrund eines Beschluss des Bundestags finanziell gefördert.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



ALLIANZ
INDUSTRIE
FORSCHUNG

Ausgangssituation

Kreissägeblätter sind die Werkzeuge mit der höchsten Effizienz wenn es um das Trennen der unterschiedlichsten Werkstücke geht. So werden Trennschnitte in hohen Taktzeiten bei mehreren hundert Grad heißen Stahlbrammen ebenso vollführt wie bei tief gefrorenem Fisch.

Ungünstig bei den Werkzeugen ist das Durchmesser-zu-Dicken-Verhältnis. Aufgrund dessen sind die Werkzeuge sehr sensitiv gegenüber Schwingungsanregungen (axialen Schwingungen). Diese Schwingungen verschlechtern die Güte des Trennschnittes, erhöhen die Werkzeugbelastungen und die Geräuschemission. Eine einfache Versteifung durch Dickenerhöhung des Werkzeuges ist bei dem Ziel, eine dünne Schnittfuge zu generieren, kontraproduktiv. Ebenso sind Lösungsansätze, welche die Schnitttiefe durch höhere radiale Werkzeugführungen zu stark einschränken, nicht zielführend.

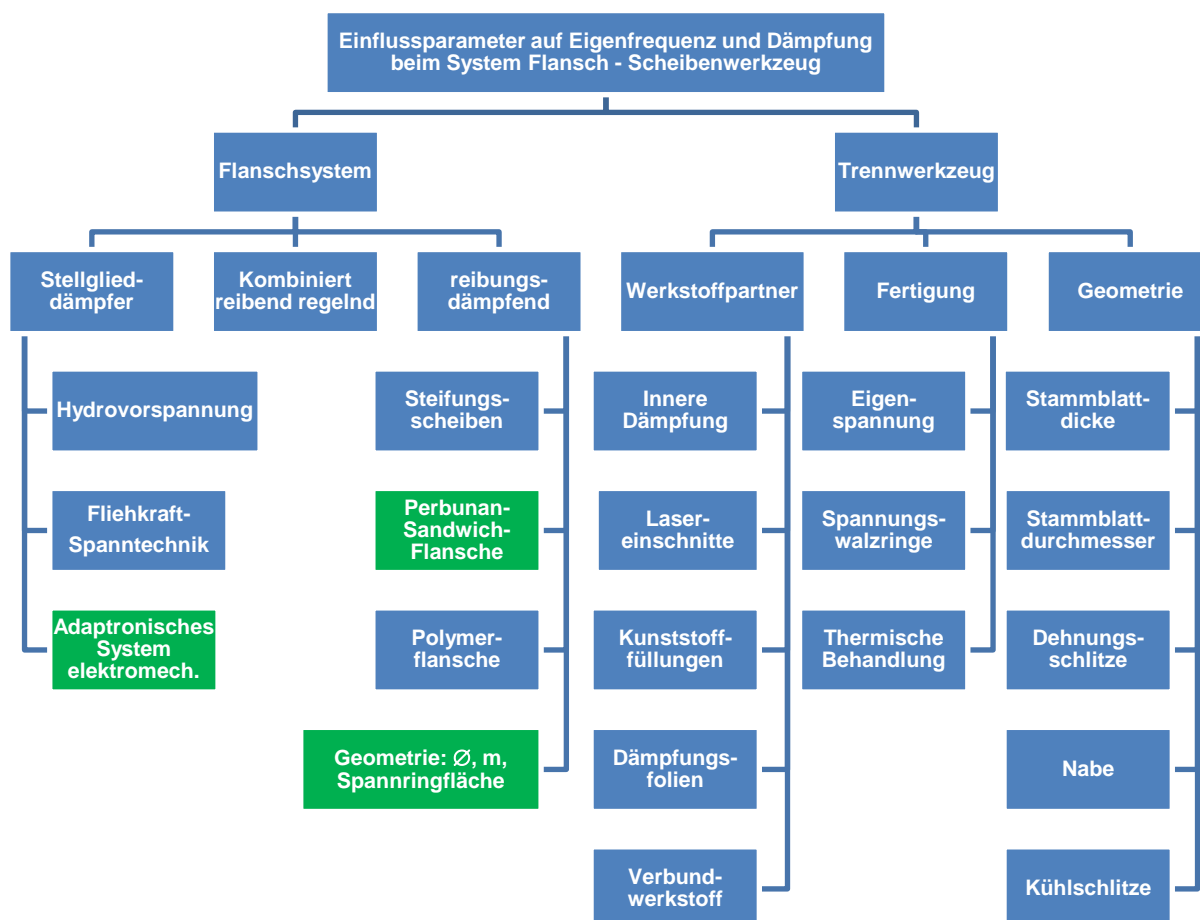


Abbildung 1: Möglichkeiten der Beeinflussung des Schwingungsverhaltens von Flansch und Trennblatt

Eine Lösung zu finden, die einerseits das Prozessergebnis des Trennschnittes verbessert, gleichzeitig aber die Produktivität durch breitere Trennfugen oder geringere Schnitttiefen nicht verringert und auf der anderen Seite kostengünstig auch an vorhandene Systeme zu adaptieren ist, war die Herausforderung des Forschungsvorhabens.

Einen geeigneten Ansatzpunkt liefert hierbei die Werkzeugaufnahme. Das Schwingungsverhalten des Flansch–Werkzeug–Systems hängt von vielen Faktoren ab. Mögliche Einflussfaktoren sind detailliert in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. dargestellt. Dabei spielen insbesondere auch Wechselwirkungen zwischen Werkzeug und Werkzeugaufnahmen eine tragende Rolle. Mitentscheidend für einen stabilen Lauf des Werkzeuges ist das Flanschsystem.

Forschungsziel

Hauptziel des durchgeführten Vorhabens war die Entwicklung von schwingungsgedämpften Flanschsystemen für Holz- und Gesteinsbearbeitungswerkzeuge, die eine Verringerung der Schnittfugenweite und die Verbesserung der Schnittflächenqualität ermöglichen. Weiterhin sollen eine niedrigere Geräuschabstrahlung und kleinere Schnittverluste, vor allem bei hochwertigen oder umweltbeeinflussenden Werkstoffen, erzielt werden.

Aufgrund der vielfachen Anregungen – sowohl maschinenseitig, als auch prozesseitig – liegen mehrere Freiheitsgrade in dem schwingenden System vor, die entsprechend angeregt zu unterschiedlichen Schwingungsmoden führen. Zudem sind aufgrund der jeweils individuellen und unterschiedlichen Maschinen- und Werkzeugcharakteristika Schwingungsmoden nicht einheitlich und bedarf wissenschaftlichen Untersuchungen.

Um das Forschungsziel zu erreichen wurden im Wesentlichen zwei Ansätze verfolgt:

Über geeignete Dämpfungsmaterialien im Flanschbereich soll Schwingungsenergie dissipiert werden und über ein zu adaptierendes Piezosystem sollen gezielt Eigenfrequenzen gedämpft werden.

Teilziel 1: Flanschdämpfungssystem mit passiven Zusatzmaterialien

Im Teilziel 1 wurden Flanschdämpfungssysteme für die Holz- und die Gesteinsbearbeitung entwickelt, die auf passiven Zusatzmaterialien basieren. Dazu werden Möglichkeiten zur passiven Dämpfung durch unterschiedliche Flansch-

geometrien und -auslegungen untersucht und dämpfende Zusatzmaterialien, welche durch innere Reibung Schwingungsenergie dissipieren, in die Kontaktzone zwischen Werkzeugflansch und Werkzeug eingebracht. Am fertigen System werden die Auswirkungen auf das Schwingungsverhalten des Werkzeugsystems im Prozess untersucht.

Teilziel 2: Flanschdämpfungssystem basierend auf Piezoaktorik

Parallel dazu wurde ein Werkzeugflansch entwickelt, in den Piezoaktoren integriert sind, mit deren Hilfe auftretende Schwingungen des Werkzeugblatts gedämpft werden. Die Piezoaktoren werden so auf dem Umfang des Flansches verteilt, dass sie einen Teil der im Blatt auftretenden mechanischen Schwingungsenergie in elektrische Energie umwandeln können, um diese dann phasenverschoben zur Dämpfung wieder in das Werkzeugblatt einzubringen. Die zum Aufbau des elektrischen Netzwerks benötigten Bauelemente benötigen aufgrund der Einfachheit des Verfahrens nur einen geringen Bauraum. Daher wird eine Integration der Schaltung in den Werkzeugflansch angestrebt. Da die externe Schaltung aus passiven Bauelementen besteht, die die Schwingungsenergie des Werkzeugs nutzen, ist eine externe Energie- bzw. Datenübertragung vom Stator auf das rotierende Werkzeug nicht notwendig.

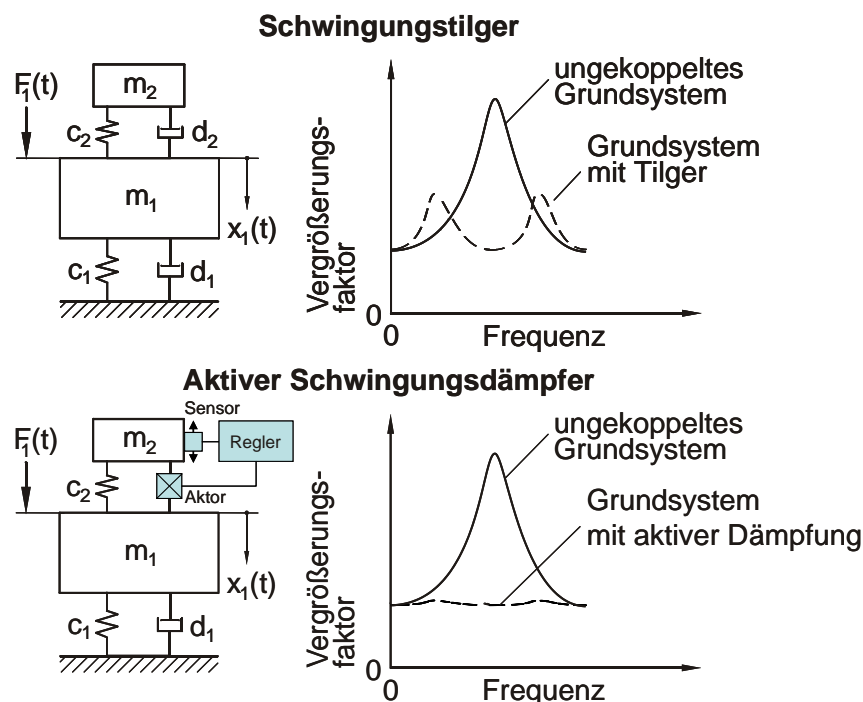


Abbildung 2: Passive und aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsdämpfung

Mit Hilfe von passiven und aktiven Dämpfungsmaßnahmen lassen sich mechanische Strukturschwingungen reduzieren. Abbildung 2 zeigt die Wirkungsweise eines passiven und eines aktiven Zusatzsystems zur Schwingungsdämpfung anhand des resultierenden Frequenzgangs.

Einen viel versprechenden Ansatz, Schwingungen an mechanischen Strukturen zu dämpfen, bietet die Integration von Aktorik und Sensorik in die Struktur. Der Einsatz so genannter „intelligenter Werkstoffe“ wie z.B. piezokeramischer Aktoren ermöglicht die direkte Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie und umgekehrt. Diese Art der Aktorik kann bedingt durch ihre hervorragenden mechanischen und dynamischen Eigenschaften je nach elektrischer Ansteuerung zur Feinpositionierung, zur Kompensation von Verlagerungen oder zur Schwingungsdämpfung eingesetzt werden.

Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurden neben der Flanschgeometrie und des Flanschwerkstoffes Systeme zur Dämpfung von Werkzeugschwingungen sowohl auf Basis von Dämpfungsfolien als auch auf Basis von Piezoaktoren entwickelt, eingesetzt und umfangreich untersucht. Ausgehend von der Analyse der Referenzprozesse für die Holz- und Gesteinsbearbeitung wurden grundlegende Untersuchungen zum Einflussverhalten des Flanschzugmoments, des Flanschaußendurchmessers und der Flanschorientierung auf Planlaufabweichungen und das Abklingverhalten von Holzkreissäge- und Trennschleifwerkzeugen durchgeführt. Weiterhin wurde das Eigenschwingungsverhalten der entwickelten Dämpfungssysteme wurde die Dämpfungswirkung anhand von Schwingungsanalysen an Kreissägeblättern und Trennschleifscheiben quantifiziert.

Für die Systemanalyse des Holzbearbeitungsprozesses ergaben die Messergebnisse der axialen Planlaufabweichungen und des Abklingverhaltens, dass sich grundsätzlich die Orientierungen von Flanschsystem und Kreissägewerkzeug zueinander bei optimaler Ausrichtung positiv auswirken. Eine Orientierung von „Berg“ auf „Tal“ des Werkzeuges zum Flansch ist dabei günstiger, als wenn sich beispielsweise zwei Materialerhöhungen von jeweils Werkzeug und Flansch gegenüber stehen.

Die in der Holzbearbeitung durchaus üblichen trapezförmigen Flansche zeigen mit wachsendem Flanschzugmoment (Abbildung 3) aufgrund ihrer Hinterdrehung und geringen Steifigkeit am radial äußeren Rand eine Abhebung vom Werkzeug, welches die effektive radiale Einspannlänge verkürzt. Hierdurch erhöht und damit verschlechtert sich ab einem bestimmten Anzugsmoment die Abklingzeiten und der axiale Planlauf.

Zur Dämpfung von Werkzeugschwingungen auf Basis von Dämpfungsfolien wurden unterschiedliche Materialien diverser Hersteller ausgewählt und analysiert.

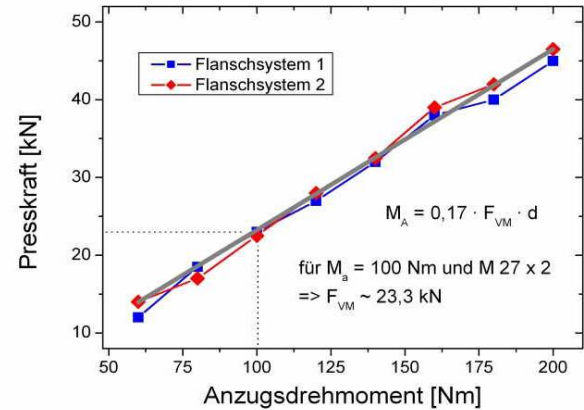


Abbildung 3: Spannkraftermittlung in Abhängigkeit vom Spanndrehmoment an Flanschsystemen

Die Ermittlungen von axialen Planlaufabweichungen, Eigenfrequenzlagen und Abklingzeiten nach impulsförmiger Anregung zeigte, dass zwischen Werkzeug und Flansch eingebrachte Materialien unterschiedliche Einflüsse auf diese Messgrößen haben. Über eine Vorauswahl wurden Materialien mit günstigen Eigenschaften selektiert (Abbildung 4).

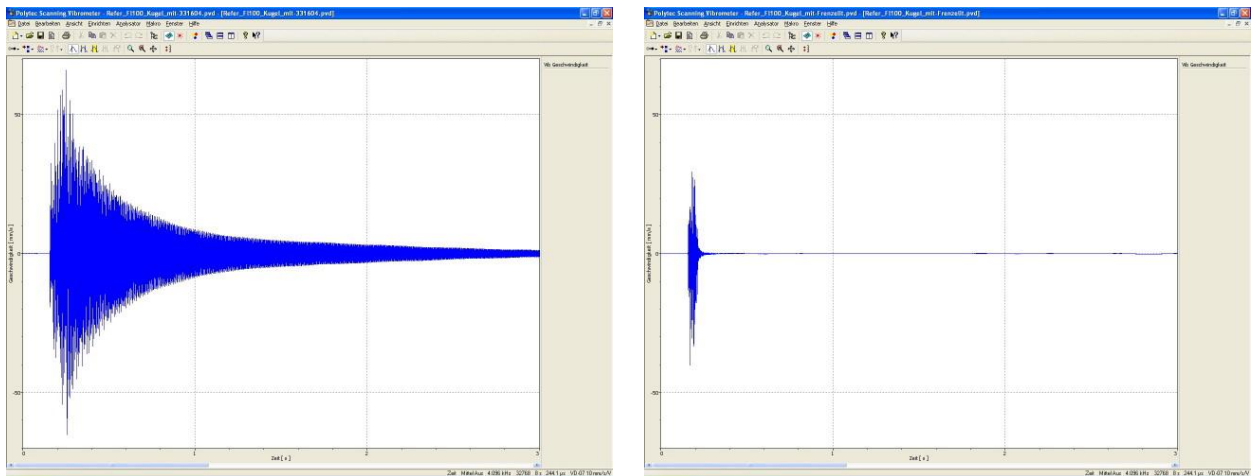


Abbildung 4: Abklingverhalten nach einheitlicher impulsförmiger Anregung für unterschiedliche Dämpfungsmaterialien

Bei den Prüfstandsversuchen mit Holzkreissägeblättern konnten Dämpfungsmaterialien eruiert werden, welche die Abklingzeit deutlich verringern. Anschließende Messungen auf Holzbearbeitungsmaschinen zeigten, dass im Trenprozess die Maschinensteifigkeit eine bedeutende Rolle spielt, da die Betriebsschwingungen sich bei nicht ausreichender Maschinensteifigkeit dominant auswirken.

Praxisversuche an Holzbearbeitungsmaschinen zeigten bei gegebener Maschinensteifigkeit unter Verwendung von geeigneten Dämpfungsmaterialien eine deutliche

Reduzierung der Prozessschwingungen und eine Verbesserung der axialen Planlaufabweichung im Schnittprozess (Abbildung 5).

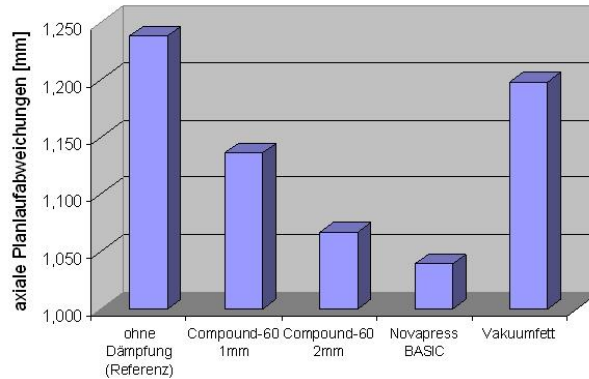


Abbildung 5: Axiale Planlaufabweichung im Schnitt (Formatkreissäge)

Mittels einer rechnerischen Modalanalyse und in einer Frequenzanalyse nach impulsförmiger Anregung des Versuchswerkzeugs konnten für die Eigenfrequenzen unter Verwendung von Dämpfungsmaterial leichte Verschiebungen zu niedrigeren Werten hin beobachtet werden. Die Amplituden der Eigenfrequenzen verringern sich hingegen unter dem Einsatz von Dämpfungsfolien deutlich.

Während des Trennvorgangs wurden jeweils die A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel aufgenommen. Hier zeigt sich eine geringfügige Schallreduktion unter Verwendung von Dämpfungsmaterialien.

Zur Dämpfung von Werkzeugschwingungen wurde ein Dämpfungssystem auf Basis von Piezoaktoren entwickelt und aufgebaut. Im erarbeiteten Konzept wurde eine Integration des Piezosystems zwischen dem Sägeblatt und dem Maschinenflansch sowohl bei der Holz- als auch bei der Gesteinssäge realisiert. Bei der Entwicklung der Dämpfungssysteme wurde ein modularer Aufbau verfolgt. Damit konnten beide Systeme mit einem geringen Aufwand in Bearbeitungsmaschinen integriert werden.

Eine Validierung der Theorie zur Schwingungsdämpfung wurde an einem Ein-Massen-Schwinger umgesetzt. Dabei kam ein Aktormodul zum Einsatz, das in den Dämpfungssystemen für Holz- und Gesteinsbearbeitung verwendet wurde. Die Messergebnisse zeigen, dass eine Schwingungsminderung um 52 % mit dem Aktormodul und der entsprechenden Schaltung möglich ist (**Abbildung 6**). Weiterhin wurde das Einflussverhalten der Elektronikkomponenten, wie Induktivität und der Widerstand, auf die Dämpfungswirkung gezeigt.

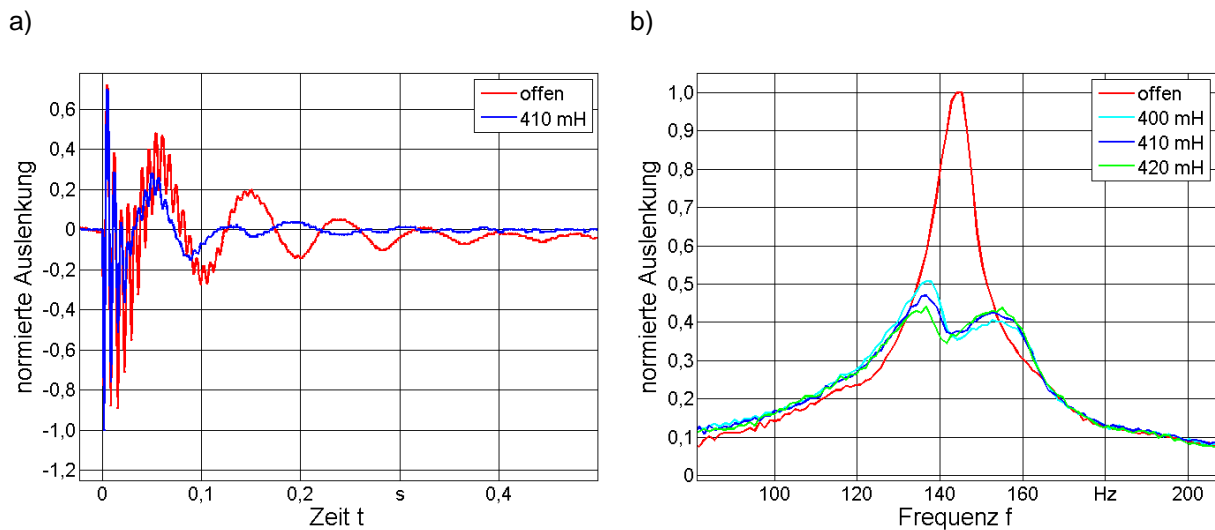


Abbildung 6: Abklingverhalten des Ein-Massen-Schwingers mit geöffneten Elektroden des Piezoaktors und in Abhängigkeit der Induktivität

Das aufgebaute Dämpfungssystem wurde in einer Baustellenkreissäge AVOLA getestet (**Abbildung 7**). Das Sägeblatt wird hierbei als Kontinuumsschwinger betrachtet.

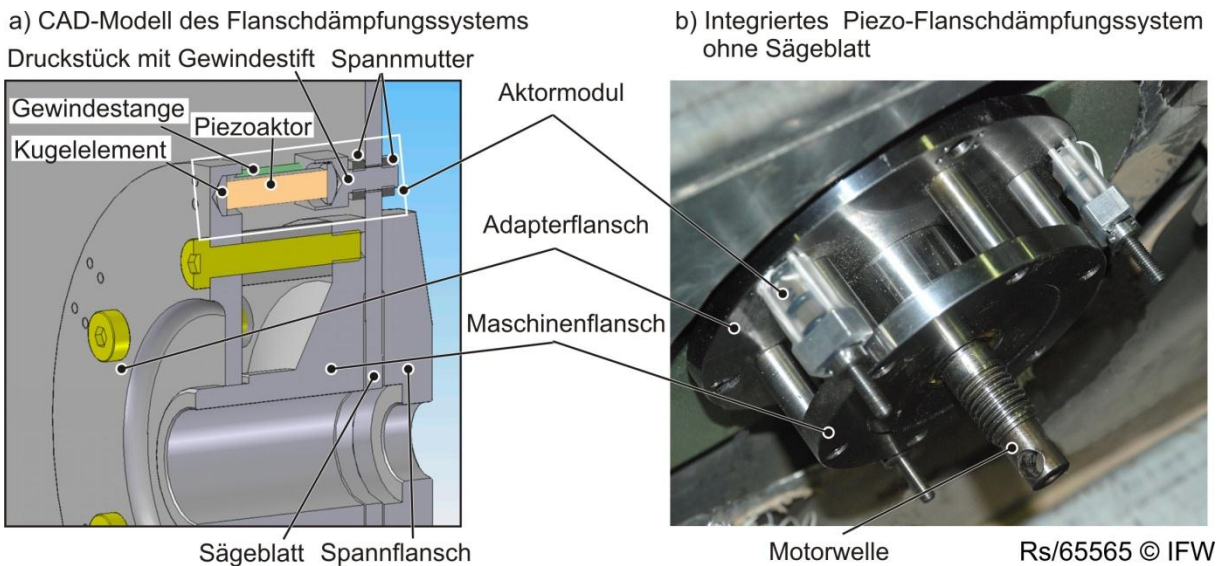
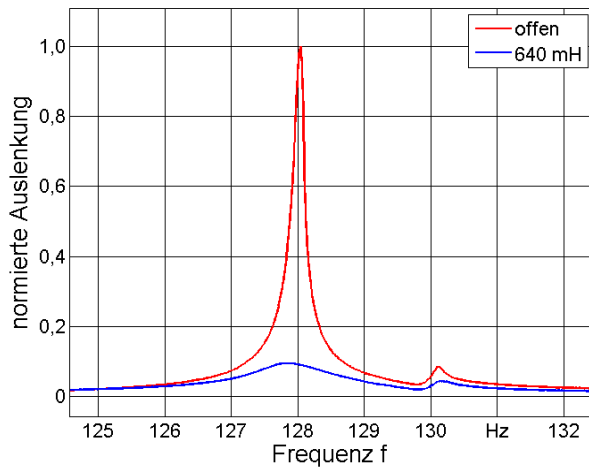


Abbildung 7: CAD-Modell des Dämpfungssystems für die Holzsäge AVOLA

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass eine gezielte Dämpfung einzelner Schwingungsamplituden bzw. einzelner Eigenschwingungsformen des Kreissägeblatts bis zu 90 % möglich ist. Dies ist allerdings mit einer geringfügigen Anregung der benachbarten Eigenmode verbunden (Abbildung 8).

a)



b)

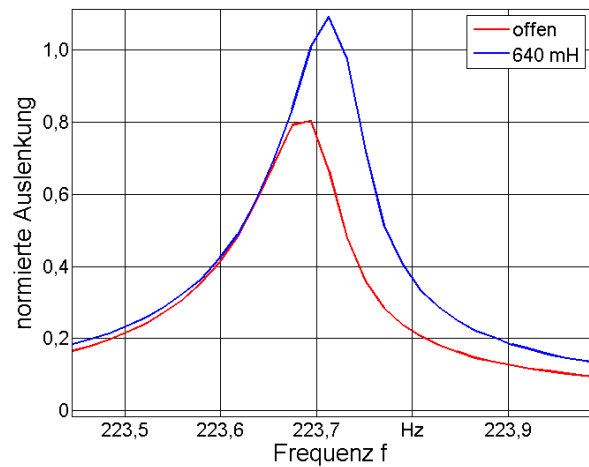


Abbildung 8: Vergrößerte Darstellungen zur Dämpfung der ersten Eigenschwingungen

Aufgrund der größeren Ebenheit der Flanschoberflächen im Vergleich zu denen der Trennschleifwerkzeugoberflächen im Flanscbereich verringert sich auf der Gesteinsbearbeitungsmaschine die „statische“ Planlaufabweichung mit wachsendem Flanschanzugsmoment. Aufgrund der massiveren Bauweise der Flansche im Vergleich zu den Flanschsystemen bei den Holzbearbeitungsmaschinen findet hier keine Abhebung des radial äußeren Bereiches bei hohen Anzugsmomenten statt. Eine Verbesserung des Planlaufs beim größeren Flanschanzugsmoment ist damit zu begründen, dass dadurch eine günstigere Ausrichtung des Sägeblatts zwischen dem Maschinen- und Spannflansch gegeben ist. Die steigende Abklingzeit rührt aus einer Abnahme der Dämpfung. Eine höhere Dämpfungswirkung ist bei geringeren Anzugsmomenten durch das Setzverhalten und nichtlinearen Reibeffekten zwischen dem Sägeblatt und dem Flansch zu erklären.

Bei der Gesteinsbearbeitung zeigten die Dämpfungsmaterialien ebenfalls positive Auswirkungen auf die axiale Planlaufabweichung, die Abklingzeiten nach impulsförmiger Anregung und auf den axialen Planlauf im Schnitt. Ebenso werden unter Verwendung von Dämpfungsmaterialien die Amplitudenhöhen der Eigenfrequenzen zum Teil erheblich reduziert.

Das auf Basis von Piezoaktoren aufgebaute Dämpfungssystem wurde in die Gesteinsbearbeitungsmaschine integriert und getestet. Neben der Eigenschwingungsanalyse der Trennschleifscheibe wurde das entwickelte Dämpfungssystem ebenfalls im Prozess untersucht. Das integrierte System weist ähnliches Verhalten wie bei der Holzkreissägemaschine auf. Die Untersuchungen zeigen eindeutig, dass eine ein-modale selektive Dämpfung von bestimmten Eigenschwingungen möglich ist, wobei die Dämpfungswirkung bei kleineren Moden höher ist als bei größeren. Dies ist hauptsächlich auf die unterschiedliche Lage der Schwingungsbäuche bei den unterschiedlichen Eigenformen zurückzuführen. Die

Dämpfungswirkung ist umso größer, je näher die Piezoaktoren zu den Bäuchen angeordnet sind. Hierbei ist eine Dämpfung einzelner Eigenschwingungsformen der Trennschleifscheibe bis zu 72 % realisierbar.

Aus den Betrachtungen zur Steifigkeit und der geometrischen Auslegung des Flansches kann festgehalten werden, dass grundsätzlich zylindrische Flansche mit erhöhter Steifigkeit bessere Eigenschaften im Hinblick auf das Abklingverhalten und die axiale Planlaufabweichung zeigen. Grundsätzlich zeigt eine höhere Gesamtsteifigkeit des Maschinen-Werkzeugsystems im Hinblick auf die Dämpfungswirkung positivere Eigenschaften. Bei zu geringen Maschinensteifigkeiten überlagern Betriebsschwingungen vom Antriebsaggregat die Prozessschwingungen ganz erheblich.

Bei den Dämpfungsfolien konnten Materialien identifiziert werden, die eine deutliche Reduktion der Abklingzeiten und Verringerung der Amplitudenhöhen generieren. Dabei ist die Dämpfungswirkung auch von der verwendeten Foliendicke abhängig. Dabei ist allerdings auf die individuelle Einbautiefe zwischen Werkzeug und Spann- und Maschinenflansch zu achten.

Aus den Ergebnissen zur Dämpfung des Werkzeugs mittels Piezoaktoren geht hervor, dass einzelne Eigenfrequenzen gezielt gedämpft werden können. Dabei ist eine Anfachung der benachbarten Frequenzen zu beobachten, die sich negativ im Prozess auswirken können. Die Erzielung einer höheren Dämpfungswirkung kann unter Verwendung von adaptiven Multimode-Schaltungen erreicht werden, bei der mehrere ausgeprägte Schwingungen identifiziert und gedämpft werden.

Zusammenfassung

Im Rahmen des IGF-Vorhabens wurden neben der Flanschgeometrie und des Flanschwerkstoffes Systeme zur Dämpfung von Werkzeugschwingungen sowohl auf Basis von Dämpfungsfolien als auch auf Basis von Piezoaktoren entwickelt, eingesetzt und umfangreich untersucht. Ausgehend von der Analyse der Referenzprozesse für die Holz- und Gesteinsbearbeitung wurden grundlegende Untersuchungen zum Einflussverhalten des Flanschzugsmoments, des Flanschaußendurchmessers und der Flanschorientierung auf Planlaufabweichungen und das Abklingverhalten von Holzkreissäge- und Trennschleifwerkzeugen durchgeführt. Weiterhin wurde das Eigenschwingungsverhalten der entwickelten Dämpfungssysteme und die Dämpfungswirkung anhand von Schwingungsanalysen an Kreissägeblättern und Trennschleifscheiben quantifiziert.

Für die Systemanalyse des Holzbearbeitungsprozesses ergaben die Messergebnisse der axialen Planlaufabweichungen und des Abklingverhaltens, dass sich grundsätzlich die Orientierungen von Flanschsystem und Kreissägewerkzeug zueinander bei optimaler Ausrichtung positiv auswirken. Eine Orientierung von „Berg“ auf „Tal“ des

Werkzeuges zum Flansch ist dabei günstiger, als wenn sich beispielsweise zwei Materialerhöhungen von jeweils Werkzeug und Flansch gegenüber stehen.

Die in der Holzbearbeitung durchaus üblichen trapezförmigen Flansche zeigen mit wachsendem Flanschzugmoment aufgrund ihrer Hinterdrehung und geringen Steifigkeit am radial äußeren Rand eine Abhebung vom Werkzeug, welches die effektive radiale Einspannlänge verkürzt. Hierdurch erhöht und damit verschlechtert sich ab einem bestimmten Anzugsmoment die Abklingzeiten und der axiale Planlauf.

Zur Dämpfung von Werkzeugschwingungen auf Basis von Dämpfungsfolien wurden unterschiedliche Materialien diverser Hersteller ausgewählt und analysiert.

Die Ermittlungen von axialen Planlaufabweichungen, Eigenfrequenzlagen und Abklingzeiten nach impulsförmiger Anregung zeigte, dass zwischen Werkzeug und Flansch eingebrachte Materialien unterschiedliche Einflüsse auf diese Messgrößen haben. Über eine Vorauswahl wurden Materialien mit günstigen Eigenschaften selektiert.

Bei den Prüfstandsversuchen mit Holzkreissägeblättern konnten Dämpfungsmaterialien eruiert werden, welche die Abklingzeit deutlich verringern. Anschließende Messungen auf Holzbearbeitungsmaschinen zeigten, dass im Trennprozess die Maschinensteifigkeit eine bedeutende Rolle spielt, da die Betriebsschwingungen sich bei nicht ausreichender Maschinensteifigkeit dominant auswirken.

Mittels einer rechnerischen Modalanalyse und in einer Frequenzanalyse nach impulsförmiger Anregung des Versuchswerkzeugs konnten für die Eigenfrequenzen unter Verwendung von Dämpfungsmaterial leichte Verschiebungen zu niedrigeren Werten hin beobachtet werden. Die Amplituden der Eigenfrequenzen verringern sich hingegen unter dem Einsatz von Dämpfungsfolien deutlich.

Während des Trennvorgangs wurden jeweils die A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel aufgenommen. Hier zeigt sich eine geringfügige Schallreduktion unter Verwendung von Dämpfungsmaterialien.

Zur Dämpfung von Werkzeugschwingungen wurde ein Dämpfungssystem auf Basis von Piezoaktoren entwickelt und aufgebaut. Im erarbeiteten Konzept wurde eine Integration des Piezosystems zwischen dem Sägeblatt und dem Maschinenflansch sowohl bei der Holz- als auch bei der Gesteinssäge realisiert. Bei der Entwicklung der Dämpfungssysteme wurde ein modularer Aufbau verfolgt. Damit konnten beide Systeme mit einem geringen Aufwand in Bearbeitungsmaschinen integriert werden.

Eine Validierung der Theorie zur Schwingungsdämpfung wurde an einem Ein-Massen-Schwinger umgesetzt. Dabei kam ein Aktormodul zum Einsatz, das in den Dämpfungssystemen für Holz- und Gesteinsbearbeitung verwendet wurde. Die Messergebnisse zeigen, dass eine Schwingungsminderung um 52 % mit dem Aktormodul und der entsprechenden Schaltung möglich ist. Weiterhin wurde das Einflussverhalten der Elektronikkomponenten, wie Induktivität und der Widerstand, auf die Dämpfungswirkung gezeigt.

Das aufgebaute Dämpfungssystem wurde in einer Baustellenkreissäge AVOLA getestet. Das Sägeblatt wird hierbei als Kontinuumsschwinger betrachtet. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass eine gezielte Dämpfung einzelner Schwingungsamplituden bzw. einzelner Eigenschwingungsformen des Kreissägeblatts bis zu 90 % möglich ist. Dies ist allerdings mit einer geringfügigen Anregung der benachbarten Eigenmode verbunden.

Aufgrund der größeren Ebenheit der Flanschoberflächen im Vergleich zu denen der Trennschleifwerkzeugoberflächen im Flanschbereich verringert sich auf der Gesteinsbearbeitungsmaschine die „statische“ Planlaufabweichung mit wachsendem Flanschanzugsmoment. Aufgrund der massiveren Bauweise der Flansche im Vergleich zu den Flanschsystemen bei den Holzbearbeitungsmaschinen findet hier keine Abhebung des radial äußeren Bereiches bei hohen Anzugsmomenten statt. Eine Verbesserung des Planlaufs beim größeren Flanschanzugsmoment ist damit zu begründen, dass dadurch eine günstigere Ausrichtung des Sägeblatts zwischen dem Maschinen- und Spannflansch gegeben ist. Die steigende Abklingzeit rührt aus einer Abnahme der Dämpfung. Eine höhere Dämpfungswirkung ist bei geringeren Anzugsmomenten durch das Setzverhalten und nichtlinearen Reibeffekten zwischen dem Sägeblatt und dem Flansch zu erklären.

Bei der Gesteinsbearbeitung zeigten die Dämpfungsmaterialien ebenfalls positive Auswirkungen auf die axiale Planlaufabweichung, die Abklingzeiten nach impulsförmiger Anregung und auf den axialen Planlauf im Schnitt. Ebenso werden unter Verwendung von Dämpfungsmaterialien die Amplitudenhöhen der Eigenfrequenzen zum Teil erheblich reduziert.

Das auf Basis von Piezoaktoren aufgebaute Dämpfungssystem wurde in die Gesteinsbearbeitungsmaschine integriert und getestet. Neben der Eigenschwingungsanalyse der Trennschleifscheibe wurde das entwickelte Dämpfungssystem ebenfalls im Prozess untersucht. Das integrierte System weist ähnliches Verhalten wie bei der Holzkreissägemaschine auf. Die Untersuchungen zeigen eindeutig, dass eine einmodale selektive Dämpfung von bestimmten Eigenschwingungen möglich ist, wobei die Dämpfungswirkung bei kleineren Moden höher ist als bei größeren. Dies ist hauptsächlich auf die unterschiedliche Lage der Schwingungsbäuche bei den unterschiedlichen Eigenformen zurückzuführen. Die Dämpfungswirkung ist umso größer, je näher die Piezoaktoren zu den Bäuchen angeordnet sind. Hierbei ist eine Dämpfung einzelner Eigenschwingungsformen der Trennschleifscheibe bis zu 72 % realisierbar.

Aus den Betrachtungen zur Steifigkeit und der geometrischen Auslegung des Flansches kann festgehalten werden, dass grundsätzlich zylindrische Flansche mit erhöhter Steifigkeit bessere Eigenschaften im Hinblick auf das Abklingverhalten und die axiale Planlaufabweichung zeigen. Grundsätzlich zeigt eine höhere Gesamtsteifigkeit des Maschinen-Werkzeugsystems im Hinblick auf die Dämpfungswirkung positivere Eigenschaften. Bei zu geringen Maschinensteifigkeiten überlagern Betriebschwingungen vom Antriebsaggregat die Prozessschwingungen ganz erheblich.

Bei den Dämpfungsfolien konnten Materialien identifiziert werden, die eine deutliche Reduktion der Abklingzeiten und Verringerung der Amplitudenhöhen generieren. Dabei ist die Dämpfungswirkung auch von der verwendeten Foliendicke abhängig. Dabei ist allerdings auf die individuelle Einbautiefe zwischen Werkzeug und Spann- und Maschinenflansch zu achten.

Aus den Ergebnissen zur Dämpfung des Werkzeugs mittels Piezoaktoren geht hervor, dass einzelne Eigenfrequenzen gezielt gedämpft werden können. Dabei ist eine Anfachung der benachbarten Frequenzen zu beobachten, die sich negativ im Prozess auswirken können. Die Erzielung einer höheren Dämpfungswirkung kann unter Verwendung von adaptiven Multimode-Schaltungen erreicht werden, bei der mehrere ausgeprägte Schwingungen identifiziert und gedämpft werden.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn Dr. Christian Pelshenke unter 02191 5921.0.