

**Titel**

# **Einflüsse der Spannungseinbringung bei der Kreissägeblatttherstellung auf das dynamische Prozessverhalten**

IGF-Nr.: 17950 N

---

## **Forschungsstelle**

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



Ansprechpartner beim IFW-Remscheid:

Dipl. Phys. Ralph Keßler  
02191 / 5921.127  
kessler@fgw.de

---

## **Danksagungen**

Das IGF-Vorhaben 17950 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. (FGW), Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Bundestags gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## **Ausgangssituation**

Kreissägewerkzeuge sind durch ein extrem hohes Durchmesser-zu-Dicken-Verhältnis gekennzeichnet, um möglichst schmale Trennfugen zu erreichen. Allerdings sind die Werkzeuge auch gerade aufgrund dieses hohen Verhältnisses sehr sensitiv gegen axiale Auslenkungen. Diese Schwingungen verschlechtern Arbeitsergebnis sowie Schnittqualität und belasten sowohl den Bediener als auch das Werkzeug. Standzeiten werden hierdurch deutlich verkürzt. Um Werkzeugschwingungen zu reduzieren existieren mehrere Ansätze. Neben Dämpfungsmechanismen ist eine geeignete Konditionierung des Werkzeugs eine Möglichkeit.

Kreissägeblätter verfügen aufgrund ihrer geometrischen Abmessungen, Massen und Materialzuständen über Eigenfrequenzen, die in ihrem Anregungsbereich zu Resonanzen führen. In diesem Resonanzbereich treten starke, axiale Amplituden auf. Durch den Trennprozess sind Erregerfrequenzen fest vorgegeben, da diese durch die Zahnteilung, die Drehfrequenz und Spindelanregungen festliegen. Um die Eigenfrequenzen nun von den Erregerfrequenzen zu separieren, können die Eigenfrequenzen des Werkzeugs verschoben werden. Dieses geschieht beispielweise durch das gezielte Einbringen von Eigenspannungen.

Genau hier setzt das Forschungsvorhaben an, indem es produkt- und verfahrensorientiert Korrelationen erarbeitet, die den Zusammenhang zwischen definiert eingebrachten Spannungen und dem tatsächlichen, dynamischen Verhalten aufzeigt.

Raumfest, statisch gemessenen Eigenfrequenzen spalten im Campbell-Diagramm in eine vorwärts und rückwärts laufenden Welle auf und dienen nicht hinlänglich zur Bestimmung der kritischen Drehzahlen, da die Identifizierung der rücklaufenden Welle unter Umständen nicht erfolgen kann. Dieses trifft gerade für hochdynamische und hochkomplexe Systeme zu.

Hier bietet sich an, das Messgitter eines Laserdoppler-Systems synchron mit dem Messobjekt mitrotieren zu lassen. Dadurch werden werkzeugfeste Messdaten erzielt, aus denen die entsprechenden, veränderten und realen Betriebsschwingungen unter Einsatzdrehzahl erst hinlänglich bestimmt werden können.

---

## **Forschungsziel**

Ziele des Forschungsvorhabens sind die Ermittlung des statischen und dynamischen Werkzeugverhaltens in Abhängigkeit der eingebrachten Eigenspannung, das Erfassen der Korrelation der eingebrachten Spannungen zum dynamischen Werkzeugverhalten und letztlich die Entwicklung eines Modells als anwendungsorientierter Handlungsleitfaden zur Bereitstellung neuer und verbesserter Produkte.

Dabei wurden, im Vergleich zu früheren Vorhaben auf diesem Gebiet, hier erstmals die Wirkung der Spannungseinbringung im Hinblick auf die Eigenfrequenzlagen und Schwingungsmoden direkt am rotierenden Kreissägeblatt drehzahlabhängig gemessen.

---

### Forschungsergebnisse

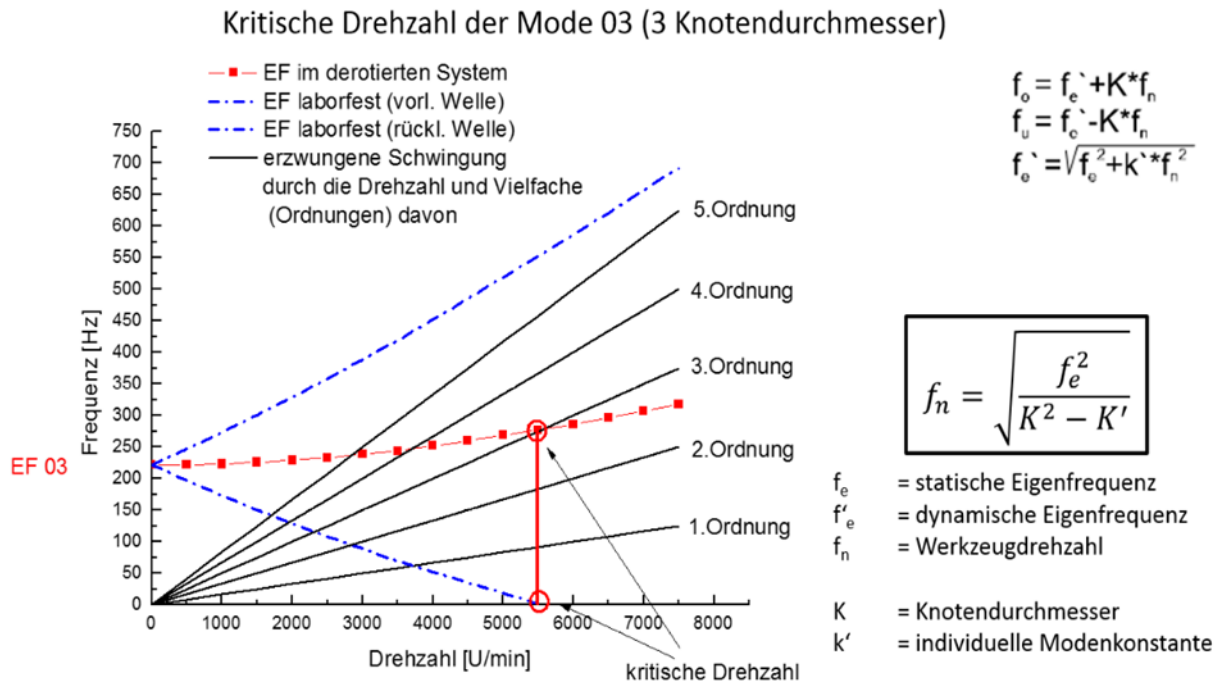
Eigenfrequenzen lassen sich fertigungstechnisch durch einzubringende Eigenspannungen verschieben. Ein Ziel des Spannens der scheibenförmigen Werkzeuge ist die Separation der Eigenfrequenzen von möglichen Erregerfrequenzen. Ein weiteres Ziel ist es, dem Kreissägeblatt die richtige makroskopische Grundspannung zu verleihen, um einerseits im Prozess die nötige Stabilität zu erlangen und andererseits auch durch den Prozess selbst auftretenden Spannungsänderungen, etwa durch einen Temperaturgradienten im Werkzeug, entgegen zu wirken.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die unterschiedlichen Prozessparameter, die zum Spannen von Kreissägewerkzeuge durch mechanisches Walzen erforderlich sind, weiter entwickelt und hinsichtlich ihrer Eignung evaluiert. Die Parameter Walzradius, Walzdruck und Anzahl der Walzungen wurden jeweils variiert und mit den Auswirkungen auf das dynamische Verhalten und dem Spannungszustand der Werkzeuge korreliert.



Abbildung 1: Wechsel vom Laborfesten (links) in das objekt feste System (rechts)

Im statischen Fall können so Eigenfrequenzen des Werkzeuges von den auftretenden Erregerfrequenzen separiert werden. Im dynamischen Fall verschieben sich die Eigenfrequenzen des Werkzeuges aufgrund einer Versteifung durch die Rotation des Werkzeuges. Diese Verschiebung verläuft nicht linear und war bisher theoretisch nicht hinreichend beschrieben. Hieraus bestand die Forderung, Eigenfrequenzen und Schwingungsmoden an rotierenden Objekten zu messen, um Systematiken aufzuzeigen und wissenschaftliche Berechnungsgrundlagen zu schaffen.



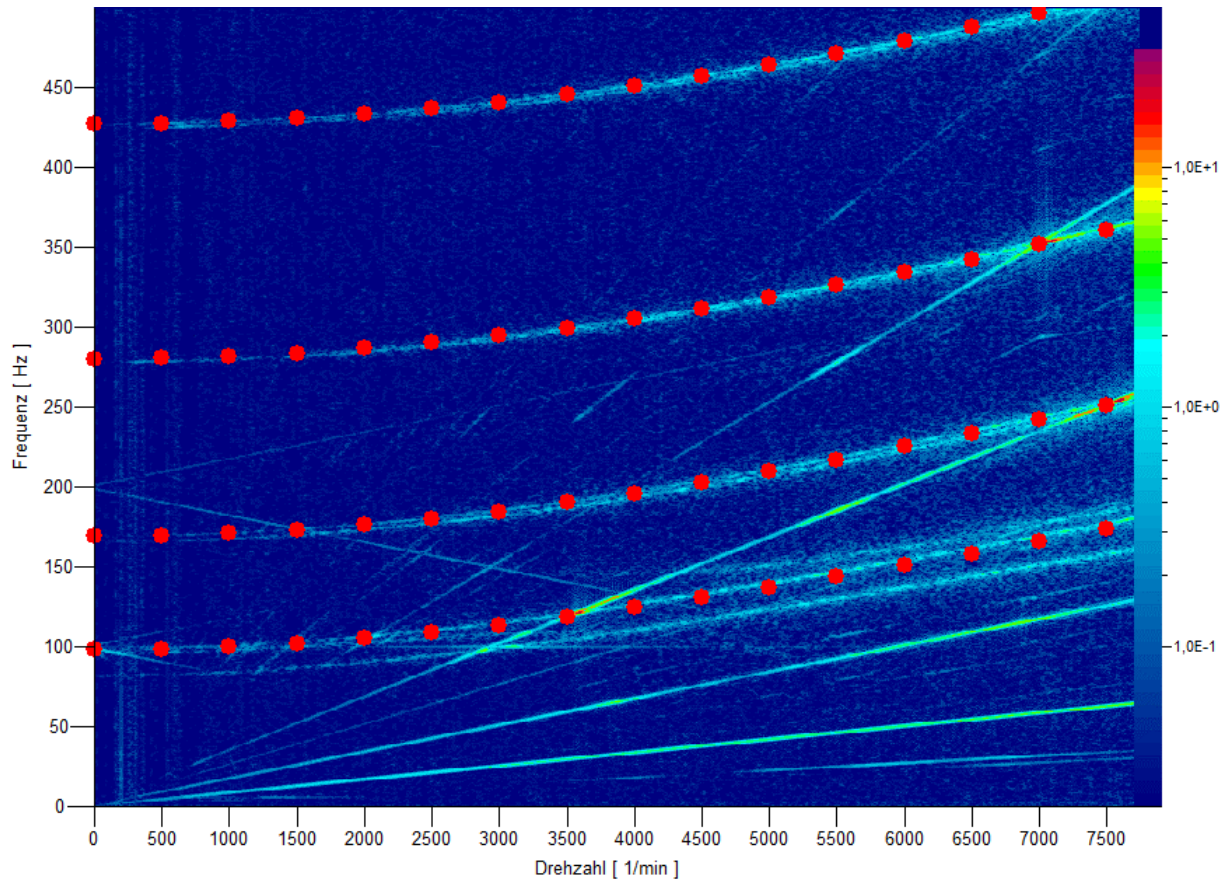
**Abbildung 2: Kritische Drehzahl im Campbell-Diagramm und deren theoretische Berechnung**

Eine optische Einheit zum Mitführen eines Messgitters machte hierbei die rotierenden Werkzeuge erst hinlänglich messtechnisch zugänglich. Bei dem dynamischen Verhalten der Werkzeuge ist der Einfluss auf mögliche kritische Betriebszustände von maßgeblicher Relevanz.

Es wurde unter Zuhilfenahme der erfassten Messungen eine Berechnungsmethode entwickelt, mit der man grundsätzlich das dynamische Verhalten der Werkzeuge aus wenigen, im statischen Zustand experimentell zu ermittelnden Eigenfrequenzen vorhersagen kann.

Zunächst wurden die Versuchssägen mit einem mechanischen Walzring, d.h. ein Walzen jeweils mit gleichem Radius auf der Vorder- und Rückseite des Kreissägewerkzeuges, versehen. Hierbei zeigten sich zum einen schon grundsätzliche Gesetzmäßigkeiten und zum anderen wurden hier die Grenzen und Bereiche der

technisch noch machbaren und sinnvollen Parameter bestimmt. Der Bombierungsradius der Walzen wurde mit 70 mm jeweils konstant gehalten.



**Abbildung 3: Gemessenes Campbell-Diagramm mit berechneten Werten (rote Punkte)**

Die Versuche ergaben eine maximal mögliche Walzkraft von etwa 18 kN (= 130% Walzdruck, WD130), eine untere Grenze wurde mit etwa 10 kN (= 70% Walzdruck, WD70) und eine mittlerer Walzkraft mit etwa 14 kN (= 100% Walzdruck, WD100) festgelegt. Das dynamische Verhalten und hier die maßgeblich relevante Verschiebung der kritischen Drehzahlen der Versuchssägen sind hauptsächlich von der Wahl des Walzradius und der Walzkraft beeinflusst. Der Walzradius WR80 (= 0,8 · Werkzeugradius) verschiebt die Drehzahlen selbst bei der stärksten verwendeten Kraft nur geringfügig. Erst der Walzradius WR65 verschiebt die Drehzahlen, auch abhängig von der Walzkraft, deutlich nach oben. Der kleinere Walzradius WR50 verstärkt diese Effekte noch etwas, ist aber gleichzeitig eine Grenze des technisch sinnvollen. Bei der Verwendung von kleineren Walzradien (WR45) wurden die Werkzeuge schon überspannt und sind so nicht mehr einsetzbar. Allerdings können überspannte Werkzeuge durch geeignete Walzringe auch wieder korrigiert werden.

Bei den Versuchssägen mit einem Walzring konnte eine maximale Verschiebung der ersten kritischen Drehzahl von  $5.500 \text{ min}^{-1}$  im ungespannten Zustand auf etwa  $6.800 \text{ min}^{-1}$  im gespannten Zustand erreicht werden. Die ermittelte RSK-Spannung dieser Werkzeuge betrug etwa  $0,85 \text{ mm}$ .

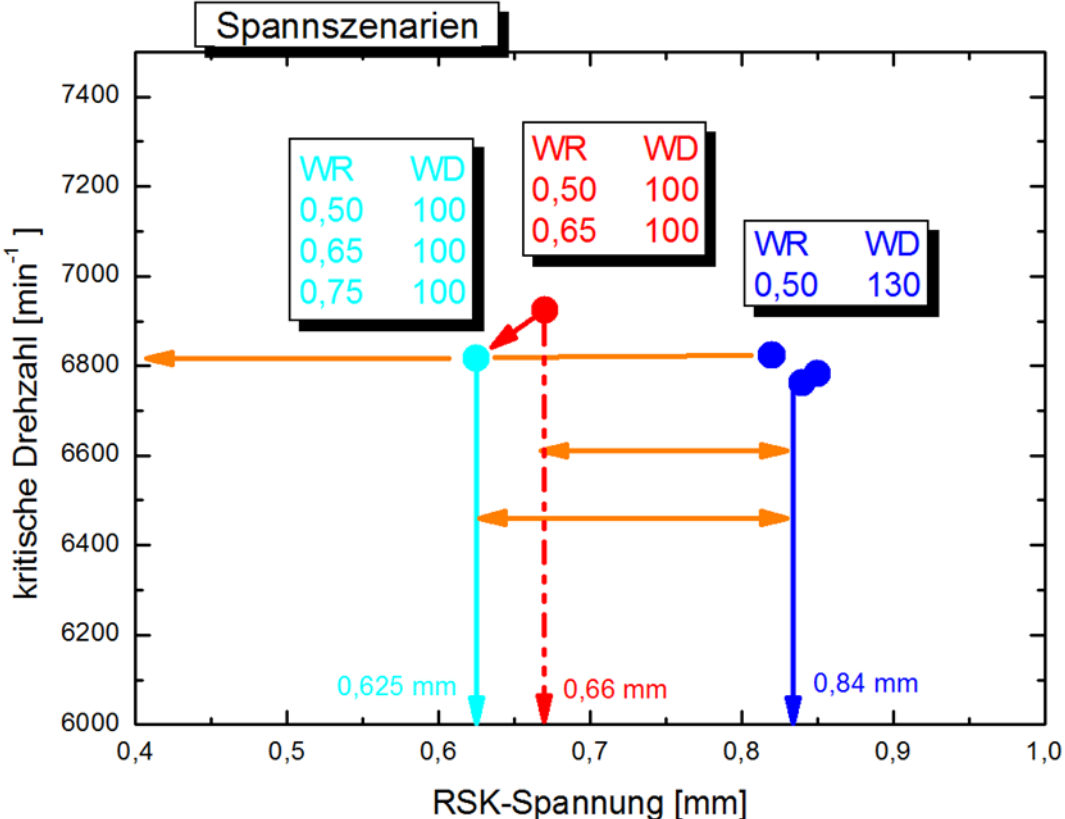


Abbildung 4: Unterschiedliche Spannszenarien



Eine Kombination „WR50WD100-WR65WD130“ führte bei zwei aufgetragenen Walzspuren zu einer noch etwas höheren ersten kritischen Drehzahl von  $6.993 \text{ min}^{-1}$ . Die Reihenfolge des Auftragens der Walzringe ist hier allerdings wichtig, denn Versuchssägen, bei denen zuerst beim größeren Radius WR65 gewalzt wurde, waren überspannt. Die Kombination mit höherem Walzdruck der ersten Spur, „WR50WD130-WR65WD130“, überspannte die Werkzeuge ebenfalls.

Erst Kombinationen mit drei Walzringen konnten die kritischen Drehzahlen noch weiter nach oben verschieben. Das Walzscenario „WR80WD130-WR65WD130-WR50WD130“ lieferte mit  $7.244 \text{ min}^{-1}$  die höchste gemessene kritische Drehzahl der gesamten Versuchsreihe. Der zuerst aufgetragene Walzradius WR80 stabilisiert offensichtlich das Werkzeug, nimmt etwas Spannung aus dem Blatt heraus, so dass anschließend die Walzradien WR65 und WR50 mit dem höchsten Druck aufgetragen werden können ohne dass die Versuchssägen überspannt wurden.

Die im Werkzeug eingebrachte Spannung korreliert mit der Verschiebung der kritischen Drehzahl derart, dass höhere Spannungen auch die kritischen Drehzahlen nach oben verschieben. Im Fall einer einzelnen aufgetragenen Walzspur steigen die kritischen Drehzahlen annähernd linear mit dem Wert des makroskopischen RSK Spannungswertes an. Für den jeweiligen Werkzeugtyp gibt es eine maximale RSK-Spannung, welche die Grenze zum „Überspannen“ des Werkzeuges markiert. Bei den Werkzeugen vom Typ A (3,2 mm Stammblattdicke) lag diese Grenze bei etwa 1 mm, bei den dünneren vom Typ C (2,2 mm Stammblattdicke) bei etwa 0,6 mm. Bei mehreren aufgetragenen Walzringen erhöht sich das Niveau der Verschiebung der kritischen Drehzahlen. Durch mehrere Walzringe können daher grundsätzlich höhere kritische Drehzahlen bei vergleichsweise niedrigeren RSK Spannungen im Blatt eingestellt werden. Der größere Walzradius WR80 reduziert die eingebrachte Spannung ohne die kritischen Drehzahlen in gleicher Weise zu verringern. Mit ihm konnten sogar überspannte Werkzeuge (C1 und C3) „zurückgeholt“ werden. Hier liegt das Potential, das Verhältnis Werkzeugspannung zur Höhe der kritischen Drehzahl gezielt auf den jeweiligen Einsatz anwendungsbezogen einzustellen.

---

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](http://www.fgw.de), angefordert werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Herrn  
Ralph Keßler unter +49 (0) 2191 5921.127.