

Titel

Optimierung der Entwicklungsprozesse durch die systemische Prüfung der Interaktion Maschine-Werkzeug am Beispiel Winkelschleifer

IGF-Nr.: 19881 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW), Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid

Forschungseinrichtung 2: IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe



Ansprechpartner beim IFW:

Dr. Hans-Jürgen Gittel
07022 786 7698
gittel@fgw.de

Ansprechpartner beim IPEK:

Dr. Thomas Gwosch
0721 608 47253
thomas.gwosch@kit.edu

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 19881 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 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 Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

In der Entwicklung handgeführter Elektrowerkzeuge (z.B. Winkelschleifer) ist es wichtig, früh die Entwicklungsstände auf ihre Tauglichkeit hin zu überprüfen. Dabei spielen die Beanspruchungen aus der Anwendung eine maßgebliche Rolle, die bei Winkelschleifern durch den Kontakt zwischen dem Werkzeug (der Schleifscheibe) und dem Werkstück (z.B. einer zu schrumpfenden Schweißnaht) entstehen. Die Einflüsse aus diesem Wirkkontakt können nicht direkt durch reine Drehmomentaufprägung am Winkelschleifer ersetzt werden, wie es heute oft an den in DIN EN 60745-2-3 [1] zur Qualifizierung von Winkelschleifern vorgesehenen Bremsenprüfständen durchgeführt wird. Bei der Interaktion wirken nicht nur Drehmomente auf den Winkelschleifer, sondern es treten auch Normal- und Querkraften auf. Diese dynamischen Änderungen und Kraft- und Momentenspitzen, die aus der Wechselwirkung zwischen Werkstück und Werkzeug resultiert, spielt eine bedeutende Rolle, wie das vorherige Projekt gezeigt hat. Zusätzlich zum Wirkkontakt zwischen Werkzeug und Werkstück haben die Elektrowerkzeuge selbst auch einen erheblichen Einfluss auf Performance, Schleifqualität und Lebensdauer der Schleifscheiben, da Schwingungen von dem Winkelschleifer sich makroskopisch im Schleifbild widerspiegeln und mikroskopisch zum Zerschlagen des Schleifkorns führen. Die Abbildung 1 zeigt ein Diagramm, welches den Q-Wert (Verhältnis Abtrag am Werkstück/Abtrag an der Schleifscheibe) und die Produktivität (Abtrag/Zeiteinheit) von Schrumpscheiben in Kombination mit zwei verschiedenen Winkelschleifern zeigt. Es gibt keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen Produktivität, Werkzeugstandzeit und Abtragverhältnis. Es sind aber sehr wohl die unterschiedlichen Optimierungsstrategien der Werkzeughersteller und ihr Fokus auf die Optimierung auf den bei ihnen zum Testen verwendeten Winkelschleifertyp erkennbar. Durch Anpassung der Rezeptur der Schleifscheibe können diese Eigenschaften stark beeinflusst werden. Für diese Entwicklungen sind jedoch umfangreiche Tests mit verschiedenen Winkelschleifertypen (Hersteller und Maschinencharakteristik) notwendig.

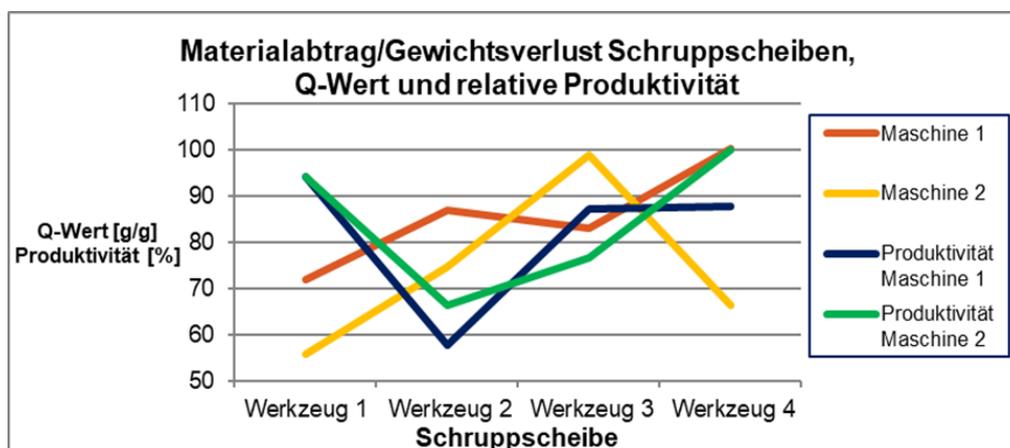


Abbildung 1: Von Firmen des PA bereitgestellte Testergebnisse mit Keramikkorn-Schleifscheiben, 4 verschiedener Hersteller auf zwei verschiedenen Winkelschleifertypen

Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer Prüfmethode und die Bereitstellung eines Entwicklungsleitfadens für die Elektrowerkzeug- und Schleifmittelhersteller zur Lebensdaueruntersuchung von Elektrowerkzeugen und Erprobung von Schleifmittelrezepturen mit Hilfe von Prüfständen.

Dabei lag der Fokus auf der anwendungsäquivalenten Abbildung von mechanisch-dynamischen Belastungen, die aus dem Werkzeug-Werkstück-Kontakt sowie dem Werkzeug unter Berücksichtigung der Anwendung entstehen.

Der innovative Beitrag und die angestrebten Forschungsergebnisse lassen sich in drei wesentlichen Punkten zusammenfassen:

Werkzeugprüfung:

Entwicklung und Aufbau eines Prüfstandes, der unterschiedliche Maschinen simulieren kann und damit halbautomatische Untersuchungen an verschiedenen Schleifmitteln ermöglicht

Geräteprüfung:

Entwicklung und Aufbau eines Prüfstandes und Methoden, um das dynamische Verhalten von Maschine und Werkzeug in verschiedenen Anwendungen abbilden zu können

Erkenntnisse:

Weiterentwicklung des Verständnisses über das System Mensch-Maschine-Schleifmittel-Werkstück in manuellen Versuchen und Prüfstandtests

Die angestrebten Forschungsergebnisse liefern Methoden und Erkenntnisse für die Implementierung innovativer Prüftechnik bei KMUs, um die dort auftretenden realen Belastungen zu erfassen und in zukünftigen Elektrowerkzeugprüfständen und Schleifscheibenprüfständen abzubilden und damit realitätsnah zu testen. Auf diese Weise lässt sich der Anteil der manuellen Prüfungen durch innovative Prüftechnik deutlich und nachhaltig reduzieren. Damit sollen die Kostennachteile von KMUs bei manuellen Prüfungen gegenüber Ländern mit niedrigerem Lohnniveau geschlossen werden.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Das Vorgehen, um die Hypothesen zu überprüfen und letztlich die Zielsetzung zu erreichen ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt.

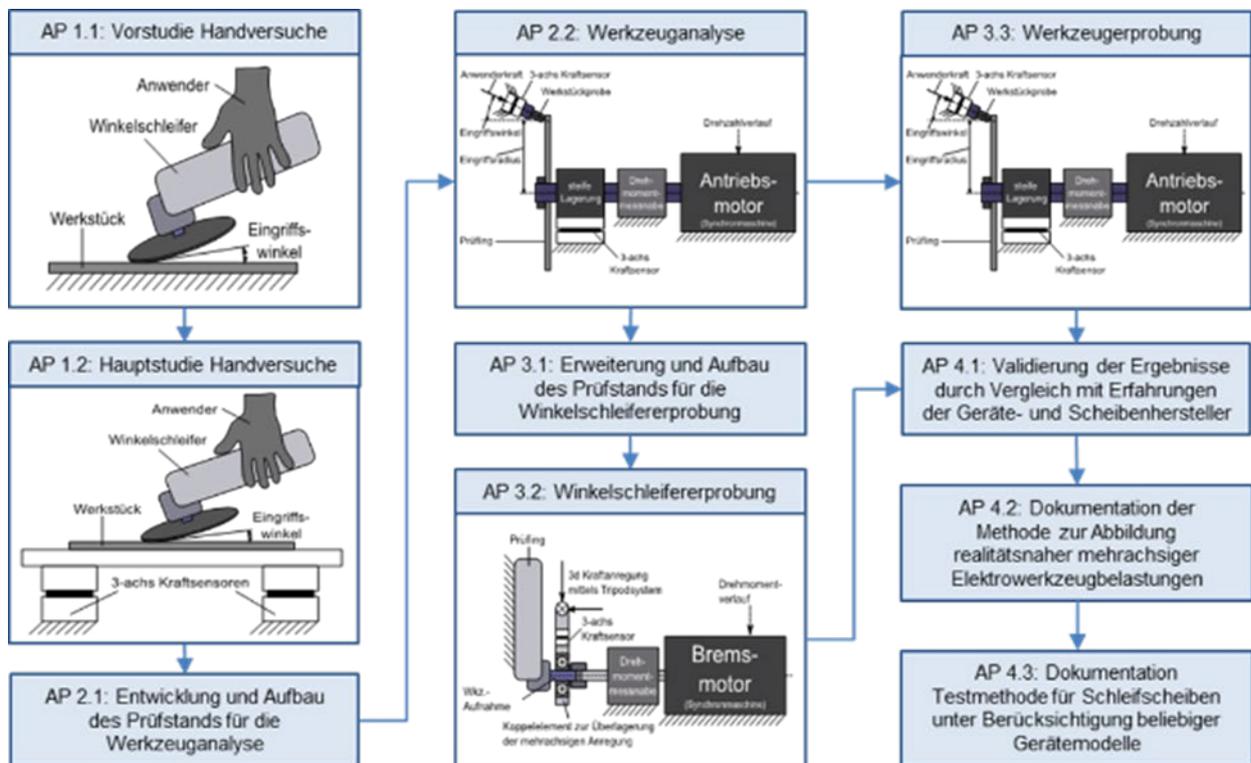


Abbildung 2: Lösungsweg mit einzelnen Arbeitspaketen

In Arbeitspaket 1.1 wurden in manuellen Versuchen die relevanten Einflussparameter auf die wirkenden Kräfte zwischen Werkstück und dem Werkzeug identifiziert und daraus die Untersuchungsparameter von Werkzeug und Maschine für die Hauptstudie festgelegt. In der Hauptstudie (AP 1.2) wurden die Kräfte zwischen Werkstück und dem Werkzeug in Form einer statistisch abgesicherten Datenbasis ermittelt. In Arbeitspaket 2.1 wurde ein Prüfstand gebaut, der in AP 2.2 genutzt wurde, um mit Hilfe der Kräfte aus AP 1.2 das Verhalten des Werkzeugs und damit letztendlich die Kräfte an der Werkzeugaufnahme des Winkelschleifers zu ermitteln. In Arbeitspaket 3.1 wurde der Prüfstand aus Forschungsvorhaben IGF 18196 N erweitert, um Winkelschleifer in AP 3.2 zu untersuchen. In AP 3.3 wurde das Verschleißverhalten (Standzeit) und die Schleifkraftänderungen bei verschiedenen Schleifscheibentypen in Kombination mit unterschiedlichen virtuellen Winkelschleifern ermittelt.

Zur Validierung des Vorgehens wurden in Arbeitspaket 4.1 die Ergebnisse der Dauerlauferprobung (Bauteilausfälle) am Prüfstand mit Schadensfällen aus manuellen Versuchen abgeglichen. Die Schadensfälle aus dem Feld wurden durch den projektbegleitenden Ausschuss (Gerätehersteller) bereitgestellt. Parallel hierzu wurden die Schleifscheibenuntersuchungen mit Ergebnissen des projektbegleitenden Ausschusses (Schleifscheibenhersteller) verglichen und die Methode für ein

Prüfsystem für Schleifscheiben mit verschiedenen Gerätemodellen erstellt. Alle Erkenntnisse wurden in AP 4.2 für die Elektrowerkzeuge und in AP 4.3 für die Schleifscheiben in einem Entwicklungsleitfaden zusammengetragen, so dass die Elektrowerkzeug- und Schleifmittelhersteller die Einflüsse und Abhängigkeiten der beanspruchungs- und verschleißbezogenen Parameter auf die Gerätelebensdauer und Komponentenentwicklung sowie Schleifmittel dargelegt bekommen.

Zusammenfassung

Die erzielten Ergebnisse können von den angesprochenen Branchen, der Schleifmittelindustrie und der Gerätehersteller, für die Umsetzung neuer Produkte, der Reduzierung der Entwicklungszeit und der Reduzierung der Entwicklungskosten genutzt werden. Dies wird insbesondere durch den Nachweis der automatisierten Prüfung und durch die Erkenntnisse der Versuchsergebnisse ermöglicht.

Werkzeugprüfung

Im Forschungsvorhaben wurden Methoden und ein Prüfstand für Schleifscheiben entwickelt, der unterschiedliche Maschinen simulieren kann und damit halbautomatische Untersuchungen an verschiedenen Schleifmitteln ermöglicht. Damit wurden dynamische Übertragungsmodelle für verschiedene Schleifscheiben für die Geräteerprobung entwickelt. Zudem wurde der Einfluss von Schleifscheiben auf die Belastung des Antriebsstrangs quantifiziert. Ebenfalls wurden neue Erkenntnisse über das Verhalten von Trennscheiben erlangt, die den Schleifscheibenherstellern bisher nicht in diesem Umfang bekannt waren. Die in diesem Vorhaben aufgeworfenen Fragen können nur durch weitere Forschungsaktivitäten vollends aufgeklärt werden. Sollten sich die aufgestellten Hypothesen bewahrheiten, könnten diese einen entscheidenden Einfluss auf zukünftige Entwicklungen und damit auf die Produkte haben. Die Schleifscheibenhersteller könnten durch die Nutzung dieses Wissens ihre Produkte besser auf Maschinen abstimmen, indem sie deren Schwingverhalten nutzen. Auf der anderen Seite könnten Maschinenhersteller dies nutzen, um effizientere Maschinen herzustellen. Maschinen könnten dadurch mit geringeren Drehzahlen arbeiten, wodurch die Sicherheit für den Benutzer erhöht werden könnte.

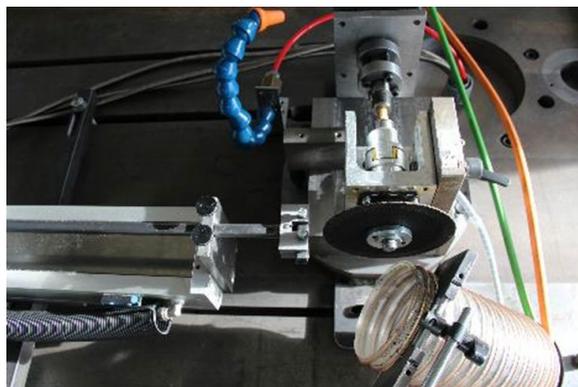


Abbildung 3: Prüfstands Aufbau Trennen

Durch den Transfer des Wissens, wie bestehende Systeme so angepasst werden können, dass diese in der Lage sind, realitätsgetreuere Testergebnisse zu erzeugen, könnten Schleifscheibenhersteller deren automatisierte Prüfung ausbauen. Da aktuell die kosten- und zeitgünstigere automatisierte Prüfung nur einen Bruchteil des Prüfumfangs ausmacht, wären hier enorme Kosten- und Zeitersparnisse zu erzielen. Deutsche KMUs können dadurch ihre Marktnachteile gegenüber Ländern mit geringeren Lohnkosten ausgleichen und zeitgleich durch die verringerten Testzeiten ihre Entwicklungszeiten verkürzen.

Geräteprüfung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Methoden und ein Prüfstand für Winkelschleifer entwickelt, um das dynamische Verhalten von Maschine und Werkzeug in verschiedenen Anwendungen abzubilden. Damit wurden Dauerlauftests für verschiedene Anwendungen durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass die Prüfstandtests die gleiche mechanische Belastung wie manuelle Tests abbilden und damit ein gleiches Tragbild im Winkelgetriebe ergeben.

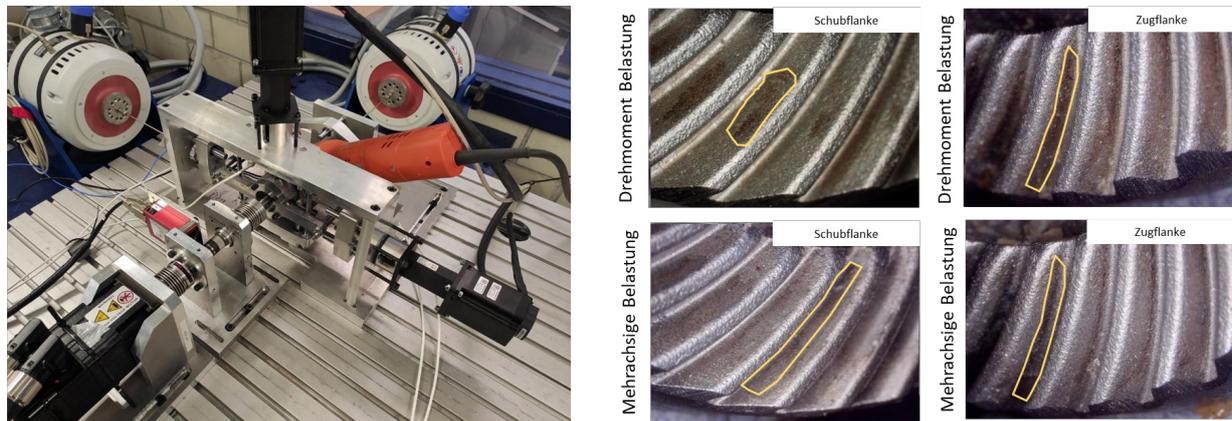


Abbildung 4: Entwickelter Prüfstand zur Aufprägung einer mehrachsigen Belastung sowie Schubflanke und die Zugflanke des Tellerrads nach Prüfstandtests mit reiner Drehmomentbelastung und mehrachsigen Belastung [1]

Mit Konzepten zur Aufprägung und Entkopplung dynamischer Kräfte auf ein schnell rotierendes System können Gerätehersteller neue Prüfstände entwickeln, um automatisiert realitätsnahe dynamische Dauerlaufuntersuchungen durchzuführen. Mit der vorgestellten Prüftechnik können die Einflüsse von Werkzeugen auf Geräte durch Transferfunktionen virtuell abgebildet und isoliert untersucht werden, da es erstmals möglich ist, statische und dynamische Kräfte isoliert von dem Drehmoment bzw. der Drehzahl aufzuprägen.

In dem Forschungsvorhaben wurden weitere Erkenntnisse zur Prüftechnik bei der Entwicklung von Geräten aufgezeigt. Es wurden ein Prüfaufbau und Proben zur eigenfrequenzfreien Messung der dynamischen Kräfte in manuellen Versuchen bis 500 Hz in verschiedenen Anwendungen aufgezeigt. Es wurde aufgezeigt, dass bisherige statische Bremsenprüfstände im industriellen Umfeld trotz dynamischem Anteil durch Drehmomentschwingungen sich von der entwickelten Prüftechnik mit mehrachsiger Anregung unterscheiden.

Erkenntnisse

Im Forschungsvorhaben wurde mit der dynamischen Kraft eine zentrale Bewertungsgröße für die Wechselwirkung im System Mensch-Maschine-Schleifmittel-Werkstück vorgestellt. Es wurde statistisch nachgewiesen, dass die dynamische Kraft mit der Produktivität einen wichtigen Kostentreiber in der Produktion beeinflusst und mit den Vibrationen und damit mit der Gesundheit und dem Komfort des Benutzers korreliert. Als Einflussfaktoren auf die dynamische Kraft wurde gezeigt, dass die Andruckkraft, die Geräteklasse und der Scheibenklasse einen Einfluss auf die dynamische Kraft haben. Zusätzlich wurde eine repräsentative Verteilung der Kräfte und Geschwindigkeiten aus über 200 Versuchen als Basis für Tests bei den Herstellern bereitgestellt.

[1] M. Dörr, J. Mertens, T. Gwosch und S. Matthiesen, „A New Dynamical Test Bench for Multi-Axial Loading of Angle Grinders,“ *KIT Scientific Working Papers*, Nr.159, 02.2021.

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.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Dr. Hans-Jürgen Gittel unter Rufnummer 07022 786 7698.