

Zusammenfassung des Abschlussberichtes zum IGF-Vorhaben
Entwicklung einer beanspruchungsidentischen Prüftechnik für
Elektrowerkzeug-Komponenten

IGF-Nr.: 18196 N

Forschungsstellen

Forschungsstelle 1: IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (IPEK am KIT)

Forschungsstelle 2: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe, Remscheid (IFW)



Ansprechpartner beim IPEK am KIT:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
0721 / 608 47156
sven.matthiesen@kit.edu

Ansprechpartner beim IFW-Remscheid :

Dr. Christian Pelshenke
02191 / 5921.111
pelshenke@fgw.de

Diese Zusammenfassung enthält Auszüge aus dem Schlussbericht zum IGF-Vorhaben 18196 N [1]. Zur Zitation verwenden Sie bitte den Schlussbericht. Dieser kann bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 18196 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

Elektrowerkzeuge bestehen aus etwa 80 bis 200 Einzelteilen. Einige davon können als besonders kritisch bezüglich Funktionssicherheit und Lebensdauer eingestuft werden (vgl. Abbildung 1). Auf diese Teile wird im Entwicklungsprozess ein besonderer Fokus gelegt. Vor allem bei spezialisierten Elektrowerkzeugen für den professionellen Gebrauch steht die Forderung nach einem sehr niedrigen Leistungsgewicht, sodass die Bauteile so leicht wie möglich und damit oft nahe an ihren Beanspruchungsgrenzen auszulegen sind. Da bei Elektrowerkzeugen der Mensch, das Gerät und die Anwendung ein Gesamtsystem bilden (vgl. Abbildung 2), und deren gegenseitigen Wechselwirkungen nicht exakt vorhersagbar sind, stellt diese Auslegung eine besondere Herausforderung dar.

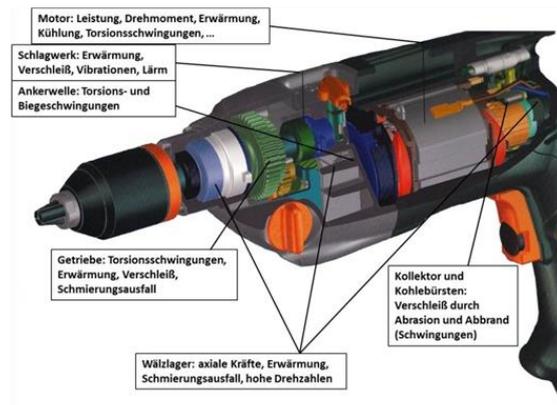


Abbildung 1: Funktions- und lebensdauerwichtige Teile am Beispiel einer Schlagbohrmaschine [2]



Abbildung 2: Das Gesamtsystem aus Anwender, Gerät und Anwendung [3]

Die beiden Teilsysteme Mensch und Anwendung beeinflussen die Funktion des technischen Systems und die Belastungen auf dessen Bauteile maßgeblich. Bei der Dimensionierung von Bauteilen sowie deren Qualifizierung oder Nachqualifizierung müssen diese untrennbaren Wechselwirkungen somit immer beachtet werden. Die alleinige rechnerische Dimensionierung von Bauteilen in frühen Entwicklungsphasen der Geräte ist aufgrund der schwer simulierbaren Interaktionen zwischen den Bauteilen nicht ausreichend. In den heute bereits erreichten Grenzbereichen der Eigenschaften bezahlbarer Materialien ist die Dimensionierung durch ausgiebige Praxistests zu begleiten, um die gesetzlichen Gewährleistungsforderungen an die Lebensdauer erfüllen zu können. Da in Prüfstandtests bislang keine ausreichende Realitätsnähe erreicht werden kann, werden Elektrowerkzeuge durch eine statistische Sicherheit bietende Serie (meist 20 bis 50 Stück), durch geschulte Anwender in einem

vorgegebenen Testprogramm bis zum Lebensdauerende realistisch belastet. Bei Lebensdauererwartungen von durchschnittlich 300 Stunden, einer Erprobung von ca. 30 Geräten und einem Personalkostensatz von 18 €/h, entspricht dies Erprobungskosten von 162.000 €. Von den Gesamtentwicklungskosten (ca. 800.000 bis 2.000.000 €) macht dies somit etwa 15% aus.

Forschungsziel

Innerhalb des Forschungsvorhabens sollen Methoden und Prüftechnik für die realitäts-identische Validierung von Teilsystemen handgehaltener Geräte zur Senkung der Entwicklungskosten durch belastbare Validierungsdaten für Investitionsentscheidungen erstellt werden. Bei der Automobilentwicklung gehört es heute schon zum Stand der Technik, einzelne Komponenten auf Prüfständen mit praxisidentischen Prüfbelastungen auf ihre Funktion, ihr Verhalten und ihre Lebensdauer zu testen. Dazu werden die Belastungen bei Prüffahrten ähnlicher Fahrzeuge gemessen und praxisrelevante Prüfzyklen zusammengestellt. Diese werden durch geeignete Technik auf Prüfständen erzeugt und auf die Komponenten einzeln, in deren jeweiligen Toleranzgrenzlagen und ohne Fahrzeug ringsum aufgebracht. Zusätzlich können Umgebungseinflüsse, wie Temperaturen, Schmutzbelastungen und ähnliches simuliert werden.

Um die zur Realität wirkungsäquivalenten Belastungen auf ein Teilsystem in einer Entwicklungs- und Validierungsumgebung für Geräte nachzubilden, werden analog zu diesem Ansatz der Automobilindustrie die im realen Betrieb auftretenden Lasten an einem sich in der Anwendung befindlichen Gerät gemessen. Diese werden in der zu entwickelnden Prüfstandumgebung auf Teilsysteme von Geräten ohne das umgebende Gehäuse aufgebracht. Das Forschungsvorhaben transferiert somit Teilaspekte der Validierung in der Automobilentwicklung auf die Entwicklung handgehaltener Geräte.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Zur Ermittlung der praxisrelevanten Versuchsbedingungen für die Prüftechnik wird der in Abbildung 3 aufgezeigte Weg gewählt. Von der Beobachtung zur Benutzung des Elektrowerkzeugs in der realen Anwendung werden Testfälle abgeleitet, die für Handversuche eingesetzt werden. Die Handversuche werden mit sensorausgestatteten Geräten durchgeführt, durch die die Bauteilbelastungen erfasst werden können. Anschließend werden diese Belastungen für die Untersuchungen am Teilsystemprüfstand verwendet.

Die Vorgehensweise zum Erreichen des Forschungsziels gliederte sich in 4 Arbeitspakete. Im ersten Arbeitspaket wurden der zu untersuchende Gerätegrundtyp festgelegt und die Prüfzyklen von Herstellern erfasst sowie Anwender in der realen

Anwendung beobachtet. Die Arbeitsweisen bei den Durchführungen der Herstellerprüfzyklen wurden innerhalb dieses Arbeitspaketes genauer untersucht und dokumentiert. Anschließend wurden auf Baustellen die Arbeitsweisen der realen Anwender beobachtet und dokumentiert. Insbesondere standen hierbei Fehlanwendungen oder bislang nicht in den Prüfvorschriften abgebildete Anwendungen im Forschungsinteresse. Die Prüfvorschriften der Hersteller können mit Hilfe dieser Beobachtungen präzisiert und erweitert werden. Durch die gesammelten Erkenntnisse können die Belastungen auf ein Gerät besser gemessen und letztlich genauer auf einem zu entwickelnden Entwicklungs- und Validierungsprüfstand nachgebildet werden.



Abbildung 3: Vorgehensweise für praxisrelevante Versuchsbedingungen

Im Arbeitspaket 2 erfolgte die Messtechnikkonzipierung und deren Applizierung und Messung der Beanspruchungen in den erweiterten Hersteller-Prüfzyklen. Für die Abbildung von wirkungsäquivalenten Lasten auf ein Teilsystem eines Gerätes musste dieses in allen Berührungspunkten zu angrenzenden Teilsystemen freigeschnitten werden (vgl. Abbildung 4). Am Beispiel einer Antriebsstranguntersuchung sind dies im Wesentlichen die Lagerstellen des Stranges im Gehäuse.

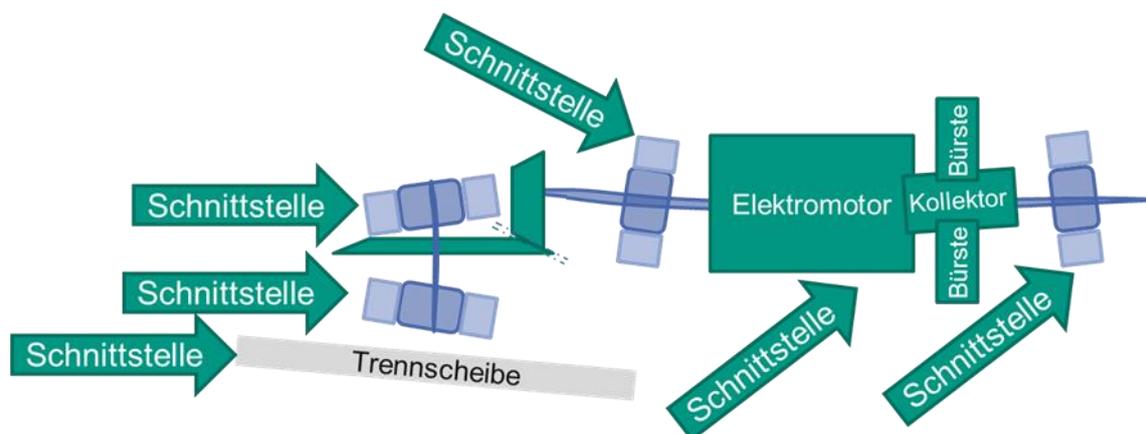


Abbildung 4: Wesentliche Schnittstellen des Freigeschnittenen Antriebstranges zu angrenzenden Teilsystemen

Aus messtechnischer Sicht ist es schwierig, alle auftretenden Kräfte an diesen Lagerstellen zu den angrenzenden Teilsystemen „Anwender“ und „Anwendung“ zu

messen und diese auf einem Prüfstand wiederzugeben. Wesentlich praktikabler ist es, die kinematischen Auswirkungen dieser Teilsysteme auf das zu untersuchende Teilsystem zu messen und die gleiche Situation in einem Prüfstand wiederherzustellen.

Die gewonnenen Daten mussten für den Aufbau der Entwicklungs- und Validierungsumgebung aufbereitet werden. Zentrale Idee ist es, die elastischen Durchbiegungen der Wellen gleichartig zur gemessenen realen Anwendung auf einem Prüfstand nachzubilden, weil gleiche Verformungen gleiche Belastungen bedeuten. Die im Prüfstand nicht abgebildeten Bereiche des Gerätes, bspw. das Gehäuse, müssen in ihren Auswirkungen auf das zu untersuchende Teilsystem nachgebildet werden. Mit der eingebrachten Messtechnik sind die elastischen Durchbiegungen der Wellen am Messpunkt bekannt. Diese sind im späteren Prüfstandaufbau die Zielgrößen. Um diese einzustellen, müssen die Lagerstellen prüfsituationsabhängig aus ihrer Ursprungslage ausgelenkt werden. Hierfür ist eine Simulation der auftretenden Verformungen an den Lagerstellen in Bezug auf die gemessenen Größen nötig. In diesem Arbeitspaket wurde ein gerätespezifisch parametrisierbares Simulationsmodell für das applizierte Teilsystem auf dem Prüfstand erstellt, welches die Wellenbiegung mit der Auslenkung der Lagerstellen in Verbindung bringt. Dieses Modell muss daraufhin die Aktorik der Lagerstellen in geeignetem Maße ansteuern.

Im dritten Arbeitspaket erfolgten der Aufbau des Teilsystementwicklungsprüfstandes und die Untersuchung von Winkelschleiferantriebssträngen bis hin zum Lebensdauerversuch.

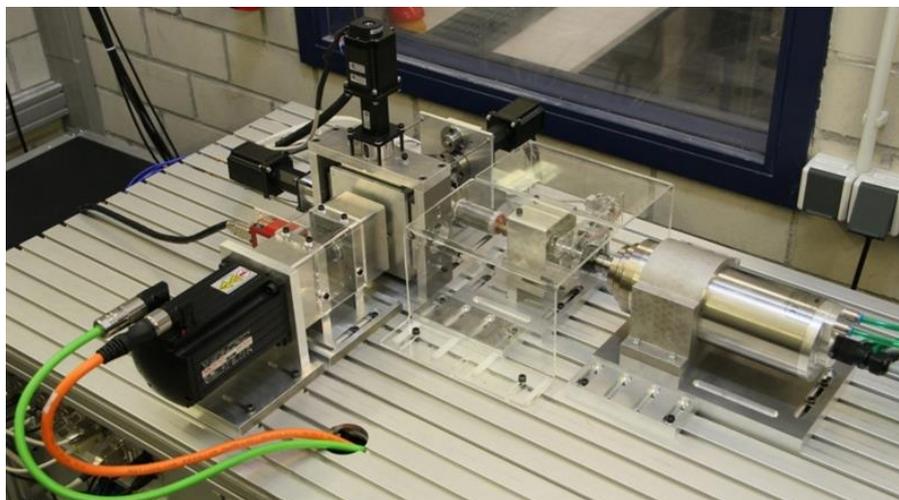


Abbildung 5: Realer Aufbau des Teilsystementwicklungsprüfstandes

Der in Abbildung 5 dargestellte Teilsystemprüfstand ermöglicht die Untersuchung von Winkelschleiferantriebssträngen unter realitätsnahen Belastungen. Hierbei ist sowohl die Dynamikuntersuchung, als auch die Untersuchung der Lebensdauer bzw. des Verschleißverhaltens von einzelnen Komponenten möglich. Der Hardwareaufbau des Prüfstands besteht aus einem Antriebsmotor zur Vorgabe des Drehzahlverlaufs, einem Bremsmotor zur Vorgabe des Drehmomentverlaufs sowie drei Linearaktoren mit Kinematik zur Vorgabe der an der Spindelwelle angreifenden Radial- und Axialkräfte. Das zu untersuchende Teilsystem ist der Antriebsstrang eines

Winkelschleifers, bestehend aus Getriebekopf mit Spindelwelle sowie der Motorwelle. Die An- und Abtriebswelle ist jeweils mit dem Antriebs- bzw. Bremsmotor über eine Balgkupplung verbunden, die in radialer sowie axialer Richtung kleine Bewegungen der Welle, wie sie beim Betrieb eines Winkelschleifers auftreten, zulässt. Über die Linearaktoren können die drei Krafrichtungen unabhängig voneinander eingestellt werden und damit unterschiedliche Belastungen, wie sie beispielsweise beim Schrappen oder Trennen von Blech auftreten, abgebildet werden. Die Prüfstandregelung erfolgt über ein Echtzeit-Mess- und Regelungssystem, in dem sowohl alle Sensordaten des Prüfstands zusammenlaufen, als auch die Ansteuerung der Aktoren erfolgt. Die Untersuchung eines Testfalls und die damit verbundenen Vorgabewerte können direkt aus den beschriebenen Versuchsergebnissen in die Prüfstandregelung überführt werden. Dadurch ist es möglich, Handversuche auf dem Prüfstand nachzustellen und damit einen direkten Vergleich der Ergebnisse von Handversuch und Prüfstand durchzuführen. Das Laufgeräusch auf dem Prüfstand ist subjektiv beurteilt mit dem im Handversuch betriebenen Gerät vergleichbar, wobei das Lüftergeräusch sowie die Geräusche aus dem Schleifkontakt fehlen.

Variantenuntersuchung am Beispiel des Lagersitzes

Die Variantenuntersuchung hatte das Ziel, den Einfluss der Lageranbindung (harter bis weicher Lagersitz) auf die Schwingungseigenschaften der Motorwelle während des Betriebs zu untersuchen. Abbildung 6 zeigt das Versuchsssetup für die Untersuchung. Dabei wurden unterschiedliche Materialien als Lagersitz (rotes Bauteil in Abbildung 6), eingesetzt. Neben dem Referenzlagersitz (Elastomerhülse als Originalbauteil in einem Aluminiumsitz) werden Varianten mit unterschiedlicher Elastizität (von 5 % bis 60 %) eingesetzt. Die untersuchten Varianten sind in Abbildung 7 dargestellt. Sie ermöglichen eine Variation der Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften des Lagersitzes und lassen damit einen Vergleich hinsichtlich der auftretenden Schwingungen bei dem Einsatz unterschiedlicher Materialien und Bauteilen zu. Für die Untersuchung wurden am Prüfstand die Anwendungen *Trennen*, *Schrappen* und *Schleifen* sowie der *Leerlaufbetrieb* abgebildet.

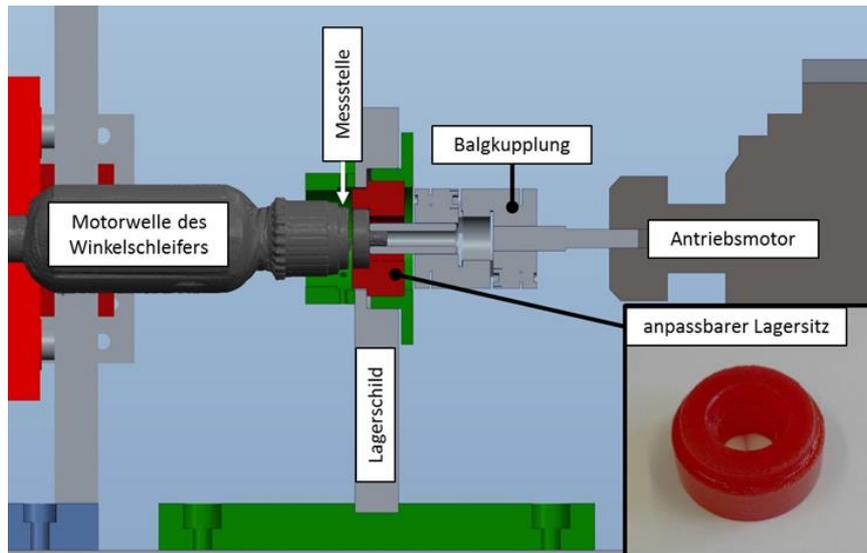


Abbildung 6: Einbausituation des anpassbaren Lagersitzes für die Variantenuntersuchung

Referenz	5% Elastizität 75 Shore D	25% Elastizität 50 Shore D / 95 Shore A	35% Elastizität 80 Shore A	60% Elastizität PU, geschäumt

Abbildung 7: Varianten für die Untersuchung verschiedener Lagersitzzeigenschaften

In Abbildung 8 sind die Versuchsergebnisse der Bewegung der Motorwelle (Messstelle siehe Abbildung 6) der fünf untersuchten Varianten dargestellt. In allen fünf Diagrammen in Abbildung 8 erfolgte der Versuchslauf unter gleichen Randbedingungen. Große Unterschiede in der Schwingungsamplitude sind beispielsweise zwischen 13 s und 40 s zu beobachten, wobei beim Referenzlagersitz und Variante 1 (5 % Elastizität) eine Amplitudenerhöhung bei ca. 27 s und 38 s auftritt. Zu diesen beiden Zeitpunkten wird die Eigenfrequenz des Triebstrangs durchlaufen. Die beiden Varianten mit 25 % und 35 % Elastizität zeigen ein Schwingungsverhalten mit höheren Amplitudenwerten, wobei zum Zeitpunkt des Durchlaufens der Eigenfrequenz des Triebstrangs bei 27 s und 38 s die Schwingung in der Variante mit 35 % Elastizität sich verkleinert. Die Variante mit 60 % Elastizität (geschäumtes Polyurethan-Kautschuk) zeigt ein relativ konstantes Schwingungsverhalten, was nur geringe Abhängigkeit von der Belastung aufweist.

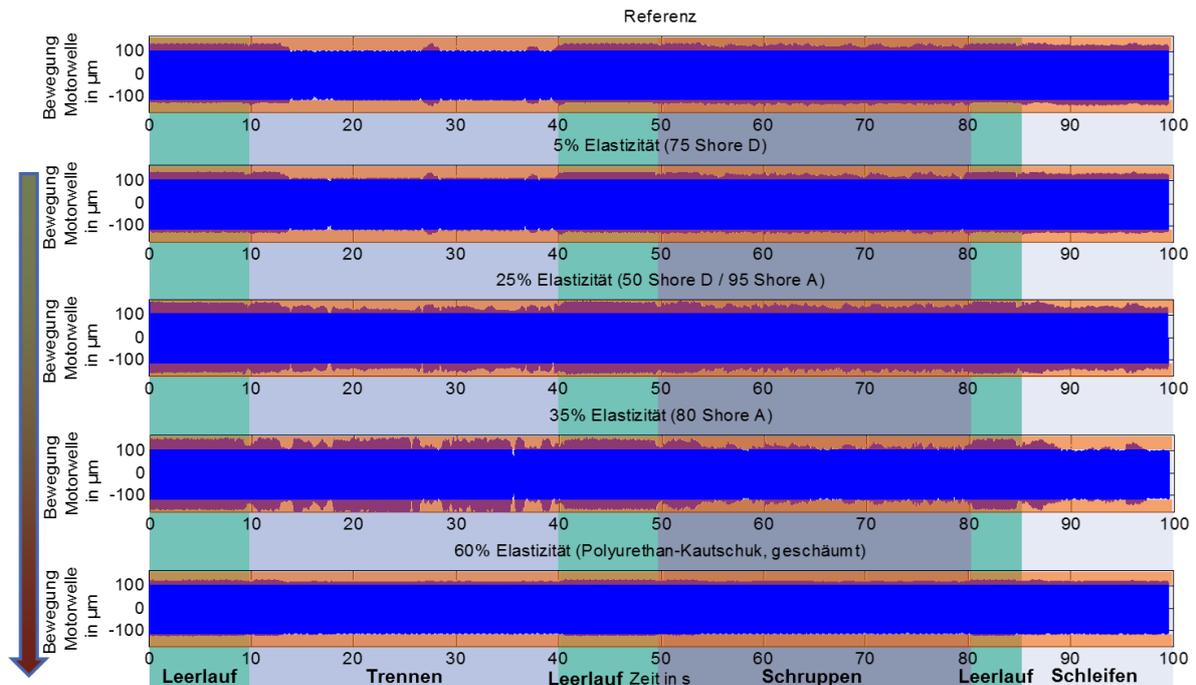


Abbildung 8: Vergleich der Lagersitzvarianten anhand der Bewegung der Motorwelle

Je nach Anforderung an das Schwingungsverhalten in verschiedenen Belastungszuständen lässt sich mit den Versuchsergebnissen die radiale Schwingung der Motorwelle des Winkelschleifers vorhersagen und die Auswirkungen auf das dynamische Verhalten des Antriebsstrangs für die Konstruktionsänderung des Lagersitzes abschätzen.

Die Variation des Lagersitzes zeigt einen deutlichen Einfluss des Materialverhaltens auf die Schwingungseigenschaften der Motorwelle. Die Auswirkungen auf die Lebensdauer der Komponenten sind in diesem Versuch noch nicht bekannt, können jedoch in Lebensdaueruntersuchungen, wie sie im Folgenden vorgestellt werden, an dem Teilsystemprüfstand untersucht werden. Die Variantenuntersuchung zeigt jedoch jetzt schon das Potential für den Einsatz des Prüfstands in den Validierungsaktivitäten bei der Produktentwicklung.

Validierung durch Dauerlauftests

Die Überprüfung der realitätsnahen Abbildung von Untersuchungsszenarien am Prüfstand erfolgte durch Dauerlauftests. Dabei wurden der Verschleiß und die Schädigung der Bauteile analysiert und mit den Erfahrungen der Hersteller im personengebundenen Test verglichen. Damit ist es möglich, die realitätsidentische Belastung der Teilsysteme durch den Prüfstand zu bewerten und sicherzustellen. Für die Dauerlaufuntersuchungen wird ein Versuchszyklus, bestehend aus Belastungen, Leerlaufphase, Trennbearbeitung, Schruppbearbeitung sowie Schleifbearbeitung abbilden, verwendet. Die anteilmäßige Verteilung der Bearbeitungsarten ist abgeleitet von den Beobachtungen der Anwender in der realen Anwendung. In Abbildung 9 ist

der Drehmomentverlauf an der Spindelwelle sowie der Drehzahlverlauf der Motorwelle über einen Versuchszyklus dargestellt.

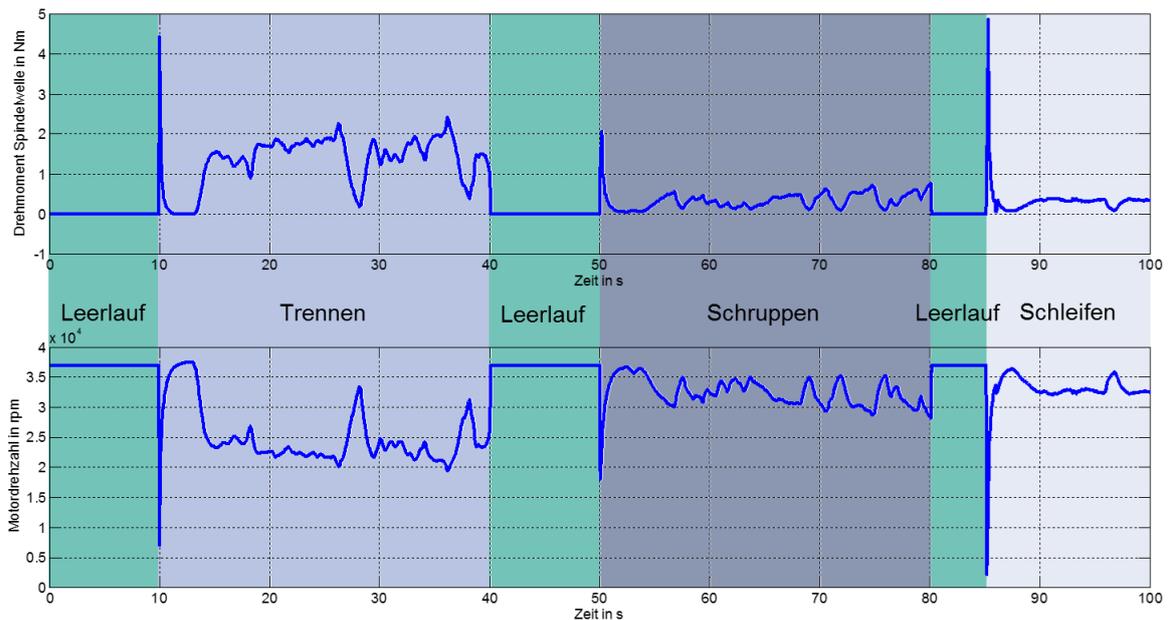


Abbildung 9: Drehmomentverlauf an der Spindelwelle und Drehzahlverlauf an der Motorwelle über einen Versuchszyklus

Für die Validierung des Prüfstands werden das Tragbild und die auftretenden Verschleißkanten der Kegelradverzahnung untersucht. Der Vergleich des Verzahnungszustands mit einem Gerät aus dem Feld ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung der Lauffläche der Verzahnung und des Tragbilds.



Abbildung 10: Tellerrad nach der Dauerlaufuntersuchung am Prüfstand (links) und aus einem handgeführten Versuch (rechts)

Der Vergleich von Schadensbildern und Verschleißerscheinungen der Untersuchungen am Teilsystementwicklungsprüfstand mit Geräten aus handgeführten Versuchen und aus dem Feld zeigt die realitätsnahe Belastungssituation am Teilsystemprüfstand. Damit ist die Entwicklungs- und Validierungsumgebung für

Teilsysteme handgehaltener Geräte in der Lage, alle als relevant für die Untersuchung der Komponenten, wie beispielsweise die Getriebeteile, abzubilden.

Zusammenfassung

Die Entwicklung von Methoden und Prüftechnik für die realitätsidentische Validierung von Teilsystemen handgehaltener Geräte konnte am Beispielsystem Winkelschleifer gezeigt werden. Im Rahmen der Arbeitspakete ist eine Vorgehensweise für die Ermittlung realitätsnaher Randbedingungen entstanden, die eine realitätsidentische Validierung ermöglicht. Die erfolgreiche Messung der Beanspruchungen des Winkelschleifers durch die Messung von Bauteilverformungen und –verlagerungen und deren Nachstellung am Teilsystementwicklungsprüfstand bestätigt die Grundhypothese dieses Vorhabens. Die exemplarisch durchgeführten Variantenuntersuchungen zeigen mögliche Einsatzszenarien und den Benefit der entwickelten Prüftechnik. Durch die Dauerlaufuntersuchungen und dem Ergebnisabgleich mit real belasteten Bauteilen konnte der Teilsystementwicklungsprüfstand validiert 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 5921.111.

Quellennachweis

[1]	Forschungsbericht IGF 18196 N, Entwicklung einer beanspruchungsidentischen Prüftechnik für Elektrowerkzeug-Komponenten, 2017
[2]	Tůma, J.: Elektro Nářadí. Columbus s.r.o., Prag, 2003 / Gittel, H.-J.: übersetzt und bearbeitet
[3]	Matthiesen, S., Mangold, S., Bruchmüller, T., & Marko, A. (2014). Der Mensch als zentrales Teilsystem in Wechselwirkung mit handgehaltenen Geräten – Ein problemorientierter Ansatz zur Untersuchung dieser Schnittstelle. Beiträge zum 25. DfX-Symposium, S. 193-204.