

Mitteilungen aus dem
Institut für Maschinenwesen
der
Technischen Universität Clausthal
Nr. 33
(Dezember 2008)

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel und Prof. Dr.-Ing. Norbert Müller

Redaktion und Layout:

Dr.-Ing. Günter Schäfer und Dipl.-Wirt.-Inf Sara Bessling

Anschrift:

Institut für Maschinenwesen
Technische Universität Clausthal
Robert-Koch-Str. 32
D-38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel: (0 53 23) 72-22 70

Fax: (0 53 23) 72-35 01

E-Mail: info@imw.tu-clausthal.de

<http://www.imw.tu-clausthal.de>

ISSN 0947-2274

Titelbild:

Zahnwellenprüflinge (Foto: S. Ottow)

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
---------------	---

Konstruktion und Berechnung von Maschinenelementen

<i>Wächter, M.:</i>	
Aktivitäten in der Seilforschung.....	5
<i>Holgermann, J.L.; Yanikömer, T.:</i>	
Innenhochdruckfügen - eine Versuchs-Parameterauswahl.....	9
<i>Korte, T.:</i>	
Gestaltfestigkeit von Längsstiftverbindungen	17
<i>Thoden, D.:</i>	
Druckkämme als dicke Platten unter Axialkraftbelastung.....	23
<i>Lau. P.; Schäfer, G.:</i>	
Die Zahnwellen-Verbindung einmal anders: im Längenausgleich von Gelenkwellen (FVA-Vorhaben 505).....	27
<i>Dietz, P.; Schäfer, G.; Wächter, M.</i>	
Entwicklungstendenzen für Zahnwellen-Verbindungen.....	37

Konstruktionsmethodik und rechnerunterstützte Produktentwicklung

<i>Miehe, A.:</i>	
Das DIN-Merkmallexikon oder warum die Industrie genormte Merkmale benötigt.	41
<i>Bessling, S.; Bormann, E.:</i>	
Einbindung von kleinen und mittleren Unternehmen in Normungsprozesse	45
<i>Siemann, E.:</i>	
Optimierte Metallpulvermischungen für das Selektive Laser- sintern von Entlüftungsstrukturen bei Spritzgusswerkzeugen	61
<i>Bessling, S.; Echtermeyer, P.; Korte, T.:</i>	
Finite Elemente Design.....	67
<i>Bormann, E.; Thoden, D.:</i>	
Neue Mehrkörpersimulationssoftware SIMPACK im Institut	73
<i>Seitz, T.:</i>	
Systematische Werkstoffauswahl als Grundlage innovativer Produkte	79

Systementwicklung, Versuchstechnik und Maschinenakustik

<i>Hilgermann, J.L.:</i>	
Aufbau einer Anlage zum Innenhochdruckfügen	87

<i>Thoden, D.:</i> Hochgeschwindigkeitskamera ermöglicht Untersuchung hochdynamischer Prozesse	89
<i>Kruk, R.; Kramarczuk, W.; Wieczorek A.:</i> MKS Modell von Zahnradpaar	93
<i>Lau, P.:</i> Neuer Verspannprüfstand dringt in den Leistungsbereich über 500 MW vor.....	101
<i>Rolshofen, W.:</i> Das Clausthaler Konzept für Grundlast von der Nordsee.....	103

Lehre und Institutsbetrieb

<i>Müller, N.:</i> Gütesiegel des Fakultätentages Maschinenbau und Verfahrenstechnik FTMV e.V.....	113
<i>Siemann, E.:</i> Neuinstallierter 3D Drucker mit FDM-Technologie am Institut für Maschinenwesen	117
<i>Ernst, C.; Jüttner, M.:</i> TU-Studierende nehmen Sachsens Industrie unter die Lupe.....	123
<i>Hoffmann, Leitschuh, Kühnemund:</i> Konstruktionslehre mit neuem Schwung durch Industriekontakt.....	125

Hochschule und Kontakte

<i>Bessling, S.; Bormann, E.:</i> Institut organisiert Tagung "Normung und Hochschule"	131
<i>Müller, N.:</i> Bedeutung des ANP als Forum für den Erfahrungsaustausch der Normenanwender	133
<i>Wieczorek, A.:</i> Untersuchungen des thermischen Verhaltens von Getrieben mit Standard- und Hochverzahnungen	137
<i>Kaltenborn, S.:</i> Belastungsermittlung von Prothesen beim Gehen.....	143
<i>Isranuri, I.:</i> Influence of different cutting conditions on vibration characteristics of metal cutting processes using conventional lathe machines.....	151

Ausstattung etc.

Technische Ausrüstung, Kooperationsangebote und Forschungsschwerpunkte des Institutes	179
Veröffentlichungen des Institutes seit dem 1.1.2005	185
Autoren.....	193
Anfahrt.....	196

Vorwort

Liebe Freunde und Geschäftspartner des Instituts für Maschinenwesen,

wie gewohnt möchten wir Ihnen zum Jahresabschluss über die wesentlichen Ereignisse am Institut für Maschinenwesen berichten. Das IMW hatte 2008 ein ereignisreiches und erfolgreiches Jahr. Die in 2007 in Form von Forschungsanträgen gestarteten Aktivitäten haben bereits erste Früchte getragen. So haben wir in diesem Jahr fünf neue Forschungsvorhaben gewinnen können.

Kleinere und mittlere Unternehmen haben in Deutschland einen hohen Anteil an der Wertschöpfungskette. Ihre Mitwirkung an Normungsprozessen und Standardisierungen ist vergleichsweise gering. Dies zu verbessern ist die Aufgabenstellung in einem neuen Forschungsprojekt. In einem konstruktionssystematisch geprägten Forschungsprojekt beschäftigen wir uns mit der Neuentwicklung einer Druckmaschine nach dem Baukastenprinzip. Ein weiteres Projekt hat zum Ziel, die Leistungsfähigkeit von Ventilatoren unter korrosiven Prozessbedingungen zu steigern. Auf dem Gebiet der Zahnwellenverbindungen wird die Forschungstätigkeit für die Forschungsvereinigung Antriebstechnik ebenfalls erfolgreich fortgesetzt. Das gleiche gilt für den Bereich der innenhochdruckgefügteten Welle Nabe Verbindungen. Im Rahmen eines DFG Projektes wurde eine Fügeanlage beschafft, welche im Frühjahr 2009 in Betrieb genommen wird. Für unseren zweiten Gelenkwellen-Prüfstand, der für eine Leistung von bis zu 1 MW ausgelegt ist, konnten wir die Inbetriebnahme im Dezember bereits erfolgreich abschließen.

Im Bereich der Simulation haben wir mehrere Arbeitsplätze für das Mehrkörpersimulationsprogramm Simpack eingerichtet und neue FEM Hochleistungsrechner beschafft. Unser Rapid Prototyping wurde mit einer zweiten Fertigungsanlage ergänzt und in der Lehre haben wir mit der Durchführung eines Konstruktionswettbewerbs neue Methoden erfolgreich getestet.

Besonders stolz sind wir auf die zahlreichen Industrieprojekte, die entsprechend den Arbeitsgebieten des IMW sowohl experimentell als auch mit Hilfe der Simulation (FEM, MKS) durchgeführt wurden. Hier ergaben sich zum Teil sehr anspruchsvolle und spannende Aufgabenstellungen.

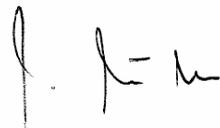
Bei diesen zahlreichen Aktivitäten stellt sich die Frage nach der Mannschaft. Natürlich haben auch wir Probleme, die ausscheidenden erfahrenen Mitarbeiter zeitnah durch kompetente Kandidaten zu ersetzen. In 2008 ist es uns gelungen, 3 neue wissenschaftliche Mitarbeiter einzustellen, unser Werkstattpersonal zu verstärken und die Anzahl der Auszubildenden auf 7 zu steigern. Im Frühjahr 2009 werden wir 3 weitere wissenschaftliche Mitarbeiter einstellen. Für weitere Informationen zum „Team IMW“ empfehlen wir Ihnen unsere Webseite, die mit neuen Fotos versehen wurde.

Wie schon im vergangenen Jahr dargestellt, steht die TU Clausthal, und damit auch das Institut für Maschinenwesen, vor der großen Herausforderung „Niedersächsische Technische Hochschule (NTH)“. NTH ist der Zusammenschluss der technischen und naturwissenschaftlichen Bereiche der TU Braunschweig, der TU Clausthal und der Uni Hannover und wurde im Landtag als „NTH-Gesetz“ verabschiedet. Der Start der NTH ist für Anfang 2009 geplant, wobei die drei Hochschulen weiterhin selbstständig bleiben. Die NTH wirkt auf die verbundenen Universitäten wie eine Holding.

Für das nächste Jahr plant die TU Clausthal die Umstellung von dem Diplomstudiengang Maschinenbau auf einen konsekutiven Bachelor- und Masterstudiengang mit einem BA-Maschinenbau und zwei Master, Maschinenbau und Mechatronik.

Im Rahmen der 4ING Fachkonferenz und gemeinsamen Plenarversammlung von vier Fakultätentagen Bauingenieurwesen und Geodäsie, Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik sowie Maschinenbau und Verfahrenstechnik in Aachen wurden am 15. Juli 2008 zum ersten Mal die Gütesiegel des Fakultätentages Maschinenbau und Verfahrenstechnik (FTMV) verliehen. Zu den ausgezeichneten Fakultäten zählte auch der Bereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik der TU Clausthal.

Wir wünschen Ihnen auch im Namen aller Mitarbeiter ein gesegnetes Weihnachtsfest und ein gesundes und erfolgreiches Jahr 2009.



Konstruktion und Berechnung von
Maschinenelementen



Konstruktionsmethodik und
rechnerunterstützte Produktentwicklung



Systementwicklung, Versuchstechnik
und Maschinenakustik



Lehre und Institutsbetrieb



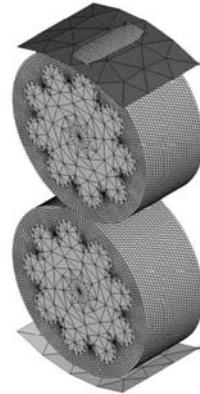
Hochschule und Kontakte



Aktivitäten in der Seilforschung

Wächter, M.

Das Institut für Maschinenwesen zeichnete sich in der Vergangenheit durch Forschungsaktivitäten zum Beanspruchungs- und Verformungsverhalten von Seiltrommeln - insbesondere im Kranbau - aus. Aufbauend auf diesen Erfahrungen werden verschiedenste Untersuchungen aus dem Bereich der Seil- und Seiltrommelforschung fortgeführt. Diese Forschungsaktivitäten erfolgen vorrangig mit Industriepartnern, aus diesem Grund werden an dieser Stelle keine neuen Forschungsergebnisse veröffentlicht, sondern lediglich ein Überblick über die sehr interessanten Fragestellungen gegeben.



The Institute of Mechanical Engineering was characterised by research activities about stress and deformation behaviour from rope drums prior-ranking in crane construction in the past. Bottom-up these experiences several examinations from the range of rope and rope drum research are to be continued. These research activities happen prior ranked with industrial partners, because of that no new research achievements are presented at this point, but an overview of the multifarious and interesting questions is given.

1 Seileigenschaften

Die Ermittlung der Querelastizität von Seilen in Abhängigkeit von der Seilzugkraft erfolgt an dem institutseigenen Seilprüfstand, bisher an Seilen bis ca. 14 mm Durchmesser (**Bild 1**).

In der jüngsten Vergangenheit wurden Messungen an Drahtseilen bis zu einem



Bild 1: Seilprüfstand

Durchmesser von 32 mm durchgeführt. Es muss festgehalten werden, dass damit sowohl aus Sicht der Belastungen als auch der geometrischen Abmessungen der Prüfstand an seine Grenzen gefahren wurde. In der Vergangenheit wurde vorrangig die Auslegung und Optimierung von Winden im Förderbereich thematisiert, gegenwärtig ergeben sich aus dem Einsatz von Seilen im Offshore - Bereich interessante Aufgabenstellungen. Seildurchmesser von 76 mm und mehr sind hier keine Seltenheit und stellen neue Herausforderungen in der Optimierung von Windentrommeln dar. In diesem Zusammenhang wird am Institut an einem Messgerät zur Ermittlung der Querelastizität von Seilen im Betrieb bis zu einem Durchmesser von 86 mm gearbeitet. Durch FE Analysen kann daraus das elastische Verhalten von Seilen bei mehrlagiger Trommelbewicklung simuliert werden und für die weitergehenden Beanspruchungsanalysen verwandt werden (**Bild 2**).

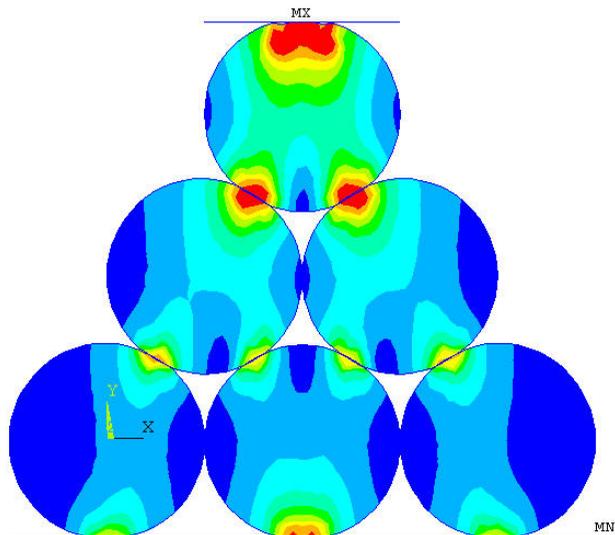


Bild 2: Simulation zur Nachgiebigkeit bei mehrlagiger Bewicklung

Die Entlastungseffekte durch mehrlagige Bewicklung bei der Trommelbeanspruchung bei Seilen dieser Größenordnung ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

2 Finite-Element-Untersuchungen am Seil

Im laufenden Jahr wurden orientierende FE-Untersuchungen zu den Beanspruchungen sich berührender Seil mit und ohne Ummantelung durchgeführt (**Bild 3**).

Die Außengeometrie des Seiles wurde für diese Untersuchungen nachgebildet, der innere Seilaufbau in Form der Einzellitzen wurde vernachlässigt. Eine Bewertung der Einspann- und Kontaktbedingungen sowie der Lasteinleitung für FE-Voruntersuchungen an einer Einzellitze erfolgte nach der Hertzschen Theorie.

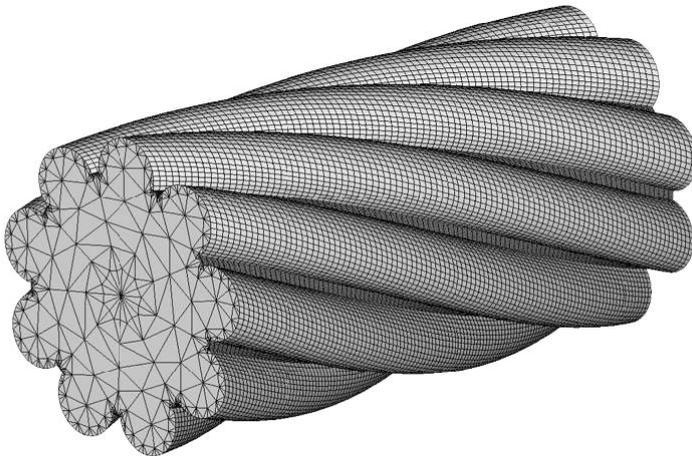


Bild 3: FE - Seilmodell ohne Ummantelung

Diese Untersuchungen bringen Erkenntnisse zur Werkstoffauswahl für den Einsatz in Hybridseilen bei mehrlagiger Bewicklung und liefern wichtige Erkenntnisse für weiterführende Spulversuche auf dem Trommelprüfstand.

3 Spulversuche mit Kunststoffseilen

Der Seiltrommelprüfstand des Institutes dient der Verifizierung des Beanspruchungsverhaltens von Seiltrommeln im Betrieb. Die Prüftrommel kann in dem Verspannkreis aus Hydrauliksystem, Seil und Spillwinde mit betriebstypischen Lastkollektiven gefahren werden. Die Ermittlung der auftretenden Dehnungen bzw. Spannungen in Mantel und Bordscheiben erfolgt mit Hilfe von DMS. Dieser Prüfstand

(Bild 4) steht für Untersuchungen zum Spulverhalten von Kunststoffseilen zur Verfügung. Voruntersuchungen lassen hierbei aufgrund der andersartigen Elastizität des Seilpaketes ein verändertes Belastungs- und Verformungsverhalten sowohl des Trommelmantels als auch der Bordscheiben vermuten. Die Spulversuche ermöglichen ferner Aussagen zum Verschleiß- bzw. Spleißverhalten der Kunststoffseile.

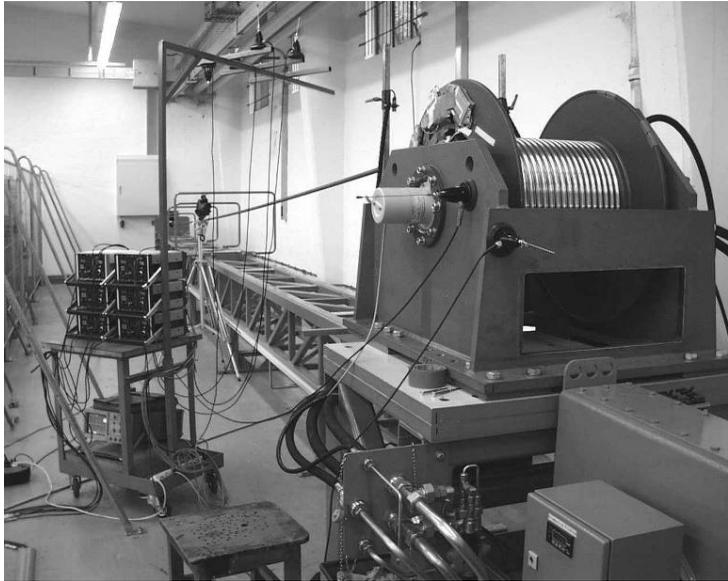


Bild 4: Trommelprüfstand

4 Zusammenfassung

Das Drahtseil feiert im nächsten Jahr seinen 175 Geburtstag, Obergrat Julius Albert revolutionierte dadurch den Oberharzer Bergbau. Die obigen Einblicke in die unterschiedlichsten Fragestellungen rund ums Seil, ob Draht-, Hybrid- oder Kunstfaserseil zeigen, dass dieses Maschinenelement nach so vielen Jahren immer noch eine Existenzberechtigung aufweist. Verschiedenste innovative Entwicklungen können es bisher nicht ersetzen. Eine Weiterentwicklung mit Leistungssteigerung wird auch zukünftig für den Fortbestand dieses Maschinenelements sorgen.

Innenhochdruckfügen - eine Versuchs-Parameterauswahl

Hilgermann, J.; Yanikömer, T.

Eine große Anzahl möglicher Versuchsparameter erfordert eine lange und intensive Versuchsdurchführung. Die Methoden der „Design of Experiments“ (DoE) helfen die notwendige Anzahl der Versuche zu verringern. Simulationstechniken helfen Haupteinflussparameter zu finden und Versuche durch sinnvolle Parameterkombinationen zu verringern. Im Vorfeld der Versuche werden wichtige Abhängigkeiten der Parameter untereinander qualitativ bewerten. Die Haupteinflussparameter werden ausgewählt und repräsentative Versuche durchgeführt. Dieses Vorgehen wird am Beispiel innenhochdruckgefügter Welle-Nabe-Verbindungen dargestellt.



A great number of possible test parameters require long and intensive experimentation. Methods of “Design of Experiments” (DoE) help reducing the number of trials. Simulation technologies help finding the main influence parameters and though help reducing the number of experiments. In the run-up to experimentation the qualitative dependency on parameters among each other can be estimated. Main influencing parameters are chosen and representative experiments are carried out. Using the example of insight-high-pressure-fit shaft-to-collar-connections this procedure is being demonstrated.

1 Das Verfahren des Innenhochdruckfügens

Durch Aufweiten einer Hohlwelle unter Innendruck und plastischer Verformung der Welle verbleibt nach Druckrücknahme zwischen Welle und Nabe ein Passfugendruck.

Bild 1 zeigt schematisch den Fügeprozess des Innenhochdruckfügens. Die Hohlwelle wird in der Nabe ausgerichtet (Bild 1 a). Das Aufweitewerkzeug, die so genannte Fügesonde wird in der Welle unterhalb der Nabe positioniert. Die Sonde verfügt über zwei Dichtungen, die den Raum unterhalb der Nabe in der Welle abdichten. Durch die Sondenbohrung im Inneren des Werkzeuges wird ein Hydromedium unter Druck im verbleibenden Volumen zwischen der Welle und den Dichtungen zugeführt. Hierbei weitet sich die Welle lokal unterhalb der Nabe auf (**Bild 1 b**). Nachdem das Fügeispiel überwunden ist, legt sich die Welle an die Nabe an und beide Bauteile expandieren weiter. Durch die gezielte Materialkombination wird die

Welle plastisch verformt, die Nabe weitet sich elastisch. Nach dem Erreichen des maximalen Fügedrucks und Halten des Drucks erfolgt die vollständige Druckrücknahme. Die Welle und Nabe federn zurück. Dabei verbleiben in der Nabe tangentielle Zugspannungen, die für einen festen Presssitz auf der Welle sorgen (**Bild 1 c**).

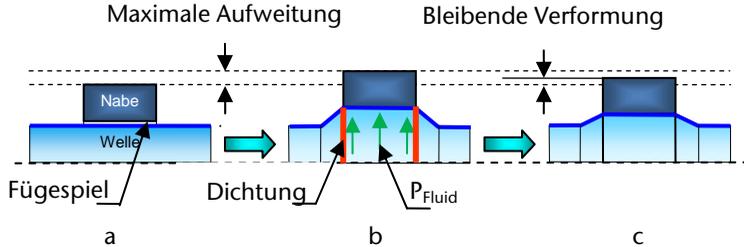


Bild 1: Prinzipskizze des Innenhochdruckfügens einer Welle-Nabe-Verbindung

1.1 Ziele des Forschungsvorhabens

Bisherige Forschungsarbeiten zum Thema Verschleiß- und Versagensursachen innenhochdruckgefügter Pressverbindungen betrachteten statische Lasten. In dem aktuellen Forschungsvorhaben soll eine Erweiterung der Untersuchungen auf die dynamische Übertragbarkeit von Drehmomenten und Umlaufbiegung erfolgen, um Aussagen über das Betriebsverhalten der Verbindung zu ermöglichen. Ziel des Vorhabens ist den Einfluss geometrischer sowie werkstoff- und prozesstechnischer Gegebenheiten auf das Verschleißverhalten darzulegen und eine Aussage zur Betriebsfestigkeit zu ermöglichen.

Zu diesem Zweck werden am Institut für Maschinenwesen theoretische und experimentelle Arbeiten durchgeführt.

2 Schädigungsmechanismen

Die Drehmomentein- bzw. -ausleitung im vorderen Teil der Pressverbindung bewirkt eine unterschiedliche Verdrillung, die schon bei relativ geringer Drehmomentbelastung zur Überschreitung der maximalen Reibschubspannung und damit zu einer Relativbewegung, dem so genannten Schlupf, führt.

Die Bereiche einer Pressverbindung, in denen eine Relativbewegung (Schlupf) zwischen Welle und Nabe unter Flächenpressung stattfindet, bezeichnet Gropp als Gleitzonen. Zur Ausbildung dieser Bereiche ist insbesondere der Kraftfluss maßgeblich verantwortlich. /3/

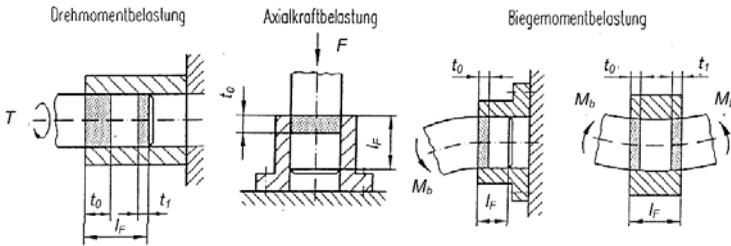


Bild 2: Pressverbindungen mit Gleitzonen bei Drehmoment-, Axialkraft- und Biegemomentbelastung (prinzipielle Darstellung), /3/

In diesen Gleitzonen führt die Relativbewegung bzw. das Aufeinanderreiben der Fügepartner unter Flächenpressung und dynamischer Beanspruchung zum Schwingungsverschleiß und schädigt das Bauteil durch Reibkorrosion. Obwohl in zahlreichen Forschungsvorhaben die besondere Bedeutung der Flächenpressung und des Schlupfes untersucht wurden, fehlen für unter Innenhochdruck gefügten Welle-Nabe-Verbindungen gesicherte Erkenntnisse über die qualitative Wirkung der Flächenpressung und den so genannten tribologisch unschädlichen Schlupf.

/4/, /5/ und /6/ beschreiben auf Basis grundlegender Untersuchungen zum Thema Reibdauerbruch, dass sowohl die Flächenpressung als auch der Schlupf einen relevanten Einfluss auf den Schwingverschleiß haben.

Unter dynamischer Belastung mit örtlichem Wechselgleiten verringern sich, mit zunehmender Lastwechselzahl, die Größen der Gleitzone, der Gleitwege und die Gleitarbeit. Mit dieser Verringerung ist eine Erhöhung der Übertragungsfähigkeit, dem so genannten Hochtrainieren, verbunden.

Bei trocken sowie bei mit Ölen bzw. Schmierstoffen gefügten Pressverbindungen bildet sich, bei einer dynamischen Belastung mit örtlichem Wechselgleiten entsprechender Größe, Passungsrost, welcher meist einen Anriss in der Welle zur Folge hat. Typisch für einen Reibdauerbruch ist, dass der Riss nicht direkt unterhalb der Nabe, sondern im geringen Abstand von der Nabenkante in der Gleitzone beginnt. Bei trocken gefügten Pressverbindungen tritt dies schneller auf als bei den mit Schmierstoffen gefügten Verbindungen.

3 Auswahl der Haupteinflussparameter für die DoE

Die wichtigsten Einflussgrößen der Reibdauerbeanspruchung sind die Interaktion von Belastungen (Passfugendruck) und gleichzeitigen Relativbewegungen (Schlupf) in der Kontaktzone /7/. Sowohl der Passfugendruck, als auch der Schlupf sind von einer Vielzahl von

Einflussparametern abhängig. Würden alle möglichen Parameter innerhalb einer DoE untersucht, so würde sich eine nicht mehr realisierbare Anzahl notwendiger Versuchen ergeben. Für die Auswahl geeigneter Parameterkombinationen werden am Institut für Maschinenwesen im Vorfeld der Versuchsdurchführung umfangreiche Finite-Elemente-Simulationen durchgeführt. Ziel ist die qualitative Erfassung und Bewertung von Einflussparametern auf die Passfugendruckverteilung und den Schlupf.

Die wichtigsten Einflussparameter auf den Passfugendruck sind der Fügedruck p_F , die Nabelnänge l_F , das Nabdurchmesser Verhältnis Q_i/Q_a , die Drucküberstandslänge $l_{ü}$, die Werkstoffkombination und das Fügspiel s_F (vgl. /8/). **Bild 3** zeigt über der normierten Nabelnänge drei Passfugendruckverteilungen. Bei allen drei Verläufen wurden die Werkstoffkombination, der Fügedruck p_F und das Fügspiel s_F konstant gehalten. Aus der Variation der Nabelnänge l_F , des Nabdurchmesser Verhältnis Q_i/Q_a und der Drucküberstandslänge $l_{ü}$ ergeben sich drei unterschiedliche Passfugendruckverläufe.

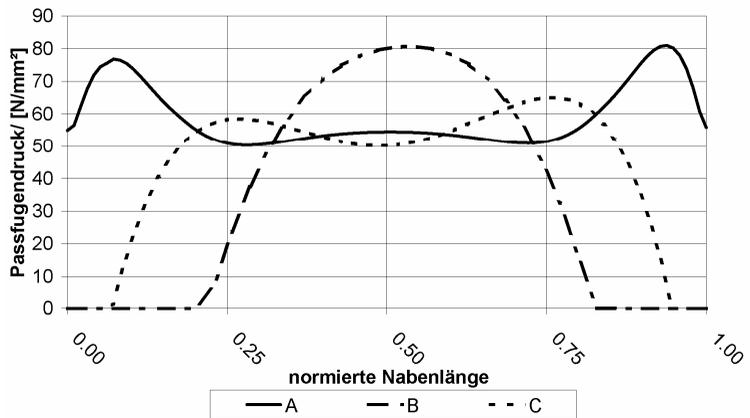


Bild 3: Passfugendruckverteilung bei einem Fügedruck von 2800bar, einem Fügspiel von 0,05mm, St52 Welle – 42CrMoV Nabe

- Verlauf A: dünnwandige, lange Nabe mit einer großen Drucküberstandslänge gefügt ($l_F/D_F=2$, $D_i/D_a=0,73$; 3mm Drucküberstandslänge)
- Verlauf B: gängige Nabe ($l_F/D_F=0,8$, $D_i/D_a=0,64$; $l_{ü}=1,5$ mm)
- Verlauf C: dickwandige, kurz gebaute Nabe ohne Drucküberstandslänge gefügt ($l_F/D_F=0,56$; $D_i/D_a=0,56$; $l_{ü}=0$ mm)

Die leichte Asymmetrie der Passfugendruckverteilung beruht auf der untersuchten Asymmetrie der Nabengeometrien und ändert an den Ergebnissen der qualitativen Betrachtung nichts. Passfugendruckver-

teilungen andere Parameterkombinationen ähneln jeweils einem der drei dargestellten Verläufe und können über die simulationsgestützte Ermittlung der Passfugendruckverteilung zugeordnet werden.

In Abhängigkeit der Schlupfamplitude erkennt /9/ unterschiedliche Abriebverhalten. Der Materialabtrag ist bis $15\mu\text{m}$ klein, so dass Mikrorisse an der Oberfläche von diesem Abtrag nicht beeinflusst werden und der Rissfortschritt ungehindert in die Tiefe fortschreitet. Ab $30\mu\text{m}$ Schlupfamplitude werden Mikrorisse der Oberfläche durch den Oberflächenverschleiß abgetragen. Das Risswachstum in die Bauteiltiefe wird damit unterbunden.

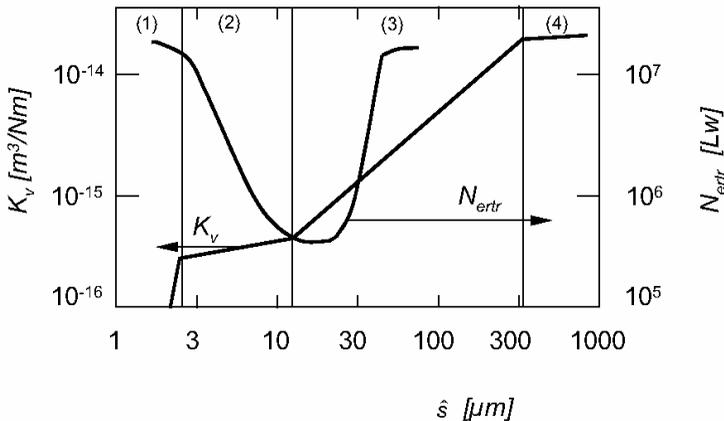


Bild 4: Verschleißrate K_v in Abhängigkeit der Lastspielzahl und der Schlupfamplitude /9//7/

/9/ trägt die Schlupfamplitude über der Verschleißrate K_v und der Schwingenspielzahl bis zur Reibermüdung N_{entr} auf. Er unterteilt die Darstellung in vier Bereiche (**Bild 4**):

1. Haften bis ca. $2\mu\text{m}$ Schlupf
2. lokal auftretender Schlupf bis ca. $15\mu\text{m}$
3. große Schlupfamplituden bis ca. $300\mu\text{m}$
4. reversierendes Gleiten über $300\mu\text{m}$

Infolge der Bildung von Reibkorrosion erhöht sich in der Gleitzone die Reibungszahl μ . Das maximal übertragbare Drehmoment wird hierdurch erhöht. Dieser Vorgang wird als Trainiereffekt bezeichnet. Mit Hilfe der Finiten Elemente wird der Einfluss des Trainiereffektes auf die Schlupfamplitude qualitativ bewertet werden. In Abhängigkeit der Schlupfamplitude ändert sich das Verschleiß- und Versagensverhalten der Pressverbindung. Je nach Einfluss des Trainiereffektes auf die Schlupfamplitude kann ein nach /9/ unkritisch zu bewertenden

der Schlupf in Folge des Trainiereffektes hinsichtlich der ertragbaren Lastspielzahl als kritisch bewertet werden und umgekehrt.

Zur Modellierung des Einflusses des Trainiereffektes auf den Schlupf wurde ein Finite-Elemente-Modell erstellt und der Fügevorgang sowie die anschließende Drehmomentbeaufschlagung virtuell durchgeführt. In einem ersten Schritt wird auf Basis der Simulationsergebnisse der Schlupf in der Kontaktzone ermittelt, indem die Differenz der Knotenverschiebungen in der Kontaktzone ausgelesen wird. Dem Modell liegt ein globaler Reibwert von $\mu=0,2$ zu Grunde. Für die lokale Reibwerterhöhung in der Gleitzone wird der Reibwert lokal in der Gleitzone in einem zweiten Schritt um 0,2 auf $\mu=0,4$ und in einem weiteren Schritt um weitere 0,2 auf $\mu=0,6$ angehoben und der Schlupf erneut ausgelesen. Hierzu wurde der Reibwert als temperaturabhängiger Werkstoffkennwert definiert. Über die Zuweisung einer Temperatur in der Kontaktzone wird der Reibwert lokal zugeordnet. Es wurde weder für die Welle noch für die Nabe ein thermischer Ausdehnungskoeffizient definiert, so dass kein Einfluss der Temperaturdehnung im Modell existiert und Randeffekte damit ausgeschlossen werden.

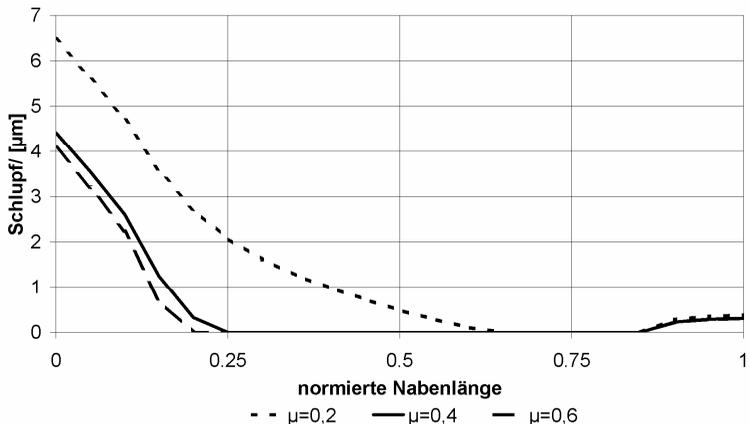


Bild 5: Schlupf in Abhängigkeit der lokalen Reibungszahl, für eine innenhochdruckgefügte Welle-Nabe-Verbindung: Nabenlänge $l_F=20\text{mm}$, Nabdurchmesser Verhältnis $Q_a/Q_i=0,64$, Fügedruck $p_F=2800\text{bar}$, Torsionsmoment $T=150\text{Nm}$

Bild 5 zeigt beispielhaft den Verlauf der Schlupfverteilung in der Verbindungsfuge einer innenhochdruckgefühten Welle-Nabe-Verbindung (Nabenlänge $l_F=20\text{mm}$, Nabdurchmesser Verhältnis $Q_a/Q_i=0,64$, Fügedruck $p_F=2800\text{bar}$). Die drei dargestellten Verläufe geben Auskunft über den zu erwartenden Schlupf bei einem konstan-

ten Drehmoment von $T=150\text{Nm}$. Die erste Kurve ($\mu=0,2$) stellt die Schlupfverteilung der noch unbeanspruchten Probe dar. Die beiden anderen Kurven ($\mu=0,4$ und $\mu=0,6$) geben den Schlupf bei einem lokalen Reibwerterhöhung in der Schlupfzone von $\mu=0,4$ bzw. $\mu=0,6$ an. Dieser Zustand wird nach Abschluss des Trainiereffektes erreicht. Erkennbar ist, der signifikante Abfall des maximalen Schlupfes von der unbeanspruchten Probe zur Probe mit ausgeprägtem Passungsrost. Ebenso verringert sich die Schlupftiefe erkennbar. Der Unterschied der Schlupfamplitude und der Schlupftiefe (Gleitzone) ist zwischen dem lokalen Reibwert von $\mu=0,4$ und $\mu=0,6$ in der Schlupfzone vernachlässigbar.

Im gezeigten Beispiel wurden für die Passfugendruckverteilung 6 Einflussparameter bestimmt, deren Kombination jedoch 3 unterschiedliche Passfugendruckverteilungen generiert. **Bild 3** zeigt, dass durch die Auswahl der Haupteinflussparameter Passfugendruckverteilung und Schlupf auf das dynamische Schädigungsverhalten innenhochdruckgefügter Welle-Nabe-Verbindungen, sowie die mit Hilfe der Simulation durchgeführte Suche nach charakteristischen Parameterkombinationen die Versuchszahl verringert werden kann. So würde sich bei 6 untersuchten Versuchsparametern mit jeweils zwei Parameterwerten $(1, 0) m=2^6=64$ Versuche ergeben. Mit der Forderung einer statistischen Absicherung von mindestens 3 Versuchen je Parameterkombination ergeben sich $m=3 \cdot 2^6=192$ durchzuführende Versuche. Wird der Schlupf und der Passfugendruck als wichtigste Versuchsparameter ausgewählt und diese zu je drei Stufen untersucht $(-1, 0, 1)$ und eine statistische Absicherung von mindestens 3 Versuchen je Parameterkombination durchgeführt, so ergibt sich eine deutliche Verringerung der Versuchszahl auf insgesamt $m=3 \cdot 3^2=27$ Versuche.

Bild 5 verdeutlicht den Einfluss der Passungsrostbildung auf die Schlupfamplitude und die Schlupftiefe. In Kombination mit /9/ ergibt sich für die unbeanspruchte Probe eine zu erwartende Lebensdauer von ca. $1 \cdot 10^6$ Lastwechsel. Nach dem Abschluss der Passungsrostbildung würde sich auf Grundlage der Schlupfamplitude und /9/ eine Lebensdauer von ca. $1 \cdot 10^7$ ergeben. Nach /10/ ist die Reibwerterhöhung nach 150.000 Lastwechseln abgeschlossen. Der Einfluss der Schädigung infolge der hohen Schlupfamplituden und der weiteren Schädigungsverlauf nach Beendigung des Trainiereffektes und geringeren Schlupfamplituden und Schlupftiefen können nur im Experiment untersucht werden und Gegenstand aktueller Forschungstätigkeiten.

4 Zusammenfassung

Moderner Simulationstechnologien helfen die große Zahl möglicher Versuchsparameter und eine damit verbundene lange und intensive

Versuchsdurchführung zu mindern. Im Vorfeld der Versuche werden wichtige Abhängigkeiten der Parameter untereinander qualitativ bewerten und die Haupteinflussparameter ausgewählt. Versuchsergebnisse können nicht untersuchten Parameterkombinationen mit Hilfe der Simulation zugeordnet werden. Des Weiteren helfen Simulationen Zusammenhänge zwischen Parametern zu erkennen, Versuchsergebnisse vorherzusagen und zu deuten.

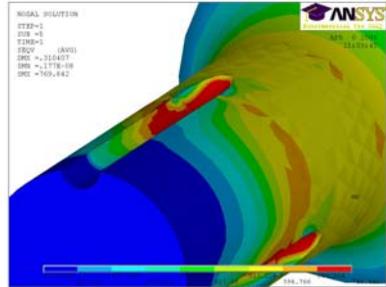
5 Literatur

- /1/ Grünendick, T.: Experimentelle Untersuchungen an innenhochdruckgefühten Wellen. IMW - Institutsmitteilung Nr. 28, Clausthal 2003
- /2/ Grünendick, T.: Die Berechnung innenhochdruckgefühter Pressverbindungen. Papierflieger, Clausthal 2005, ISBN: 3-89720-795-8
- /3/ Gropp, H.; Klose, D.: Grundlegende Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zum Übertragungsverhalten dynamisch belasteter Pressverbindungen. VDI Berichte 1384, VDI-Tagung in Fulda, 28./29. April 1998, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998
- /4/ Funk, W.: Der Einfluss der Reibkorrosion auf die Dauerhaltbarkeit zusammengesetzter Maschinenelemente. Dissertation, TH Darmstadt, 1968
- /5/ Julius, A.: Reibkorrosion – Zum Mechanismus des Reibdauerbruchs. FKM-Forschungsheft 18, 1972
- /6/ Kreitner, L.: Die Auswirkungen von Reibkorrosion und Reibdauerbeanspruchung auf die Dauerhaltbarkeit zusammengesetzter Maschinenteile. Dissertation, TH Darmstadt, 1976
- /7/ Glöggl, C.: Untersuchungen an spannungshomogenisierten und zylindrischen Pressverbindungen unter Torsionsbelastung. Dissertation, Universität Stuttgart, 2003.
- /8/ Garzke, M.: Auslegung innenhochdruckgefühter Pressverbindungen unter Drehmomentbelastung. Dissertation, TU Clausthal, 2001.
- /9/ Vingsbo, O.; Söderberg, S.: On Fretting Maps. Wear 125, 1988
- /10/ Gropp, H.: Das Übertragungsverhalten dynamisch belasteter Pressverbindungen und die Entwicklung einer neuen Generation. Habilitation, TU Chemnitz, 1997

Gestaltfestigkeit von Längsstiftverbindungen

Korte, T.

Am Institut für Maschinenwesen wurden umfangreiche Untersuchungen zur Gestaltfestigkeit von spielbehafteten Längsstiftverbindungen bei dynamischen Lasten durchgeführt. Ziel ist es, Berechnungsgrundlagen an dieser bisher wenig verbreiteten Welle-Nabe-Verbindung zu schaffen.



At the Institute of Mechanical Engineering investigations on structural strength of longitudinal pin connections are executed. The research objective is to develop fundamentals of calculation for these collar-shaft-connections.

1 Spielbehaftete Längsstiftverbindungen

Längsstiftverbindungen gehören wie die Passfederverbindung zur Gruppe der formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen. Das Drehmoment wird durch axial am Umfang der Welle angeordnete Stifte übertragen. Die spielbehafteten Längsstifte werden in eine vor der Montage der Bauteile gefertigte Nut eingelegt. Längsstiftverbindungen zeichnen sich aufgrund Ihres halbkreisförmigen Nutquerschnittes durch geringe Spannungsüberhöhungen in der Kerbe aus. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Längsstiftverbindung.

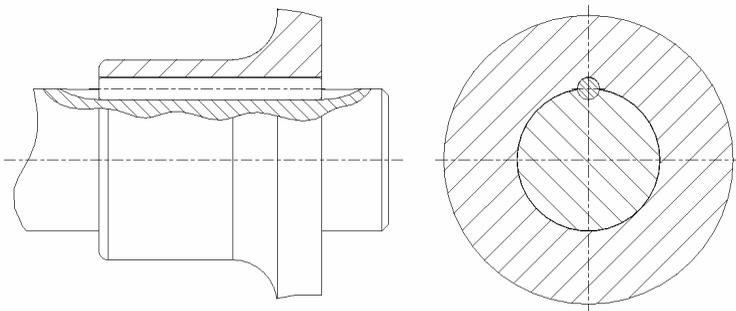


Bild 1: Prinzip der Längsstiftverbindung

2 Kerbwirkungszahl Torsion β_τ und $\beta_{\tau c}$

Der Einfluss von Kerben auf die Dauerfestigkeit bei unterschiedlichen Werkstoffen wird mit der Kerbwirkungszahl erfasst. Sie stellt das Verhältnis von Dauerausschlagfestigkeit der glatten Probe zur Dauerausschlagfestigkeit der gekerbten Probe dar:

$$\beta_\tau = \frac{\tau_{tW,a(d)}}{\tau_{tW,aK}}$$

Für zum Beispiel durch Nuten und Absätze gekerbte Proben kann die Kerbwirkungszahl näherungsweise aus der Formzahl errechnet werden, da in diesem Fall ähnliche Kerben ähnliche Kerbwirkungszahlen besitzen.

Bei formschlüssigen reibdauerbeanspruchten Welle-Nabe-Verbindungen ist diese Vorgehensweise nicht zulässig. Welle-Nabe-Verbindungen stellen ein komplexes tribologisches System dar. Die Anzahl der Einflussfaktoren und der entsprechenden Wechselwirkungen sind dabei so umfangreich, dass eine Umrechnung den Vorgängen in der Verbindung keineswegs gerecht wird. Die Faktoren können nur durch Versuche ermittelt werden. Die experimentell bestimmten Kerbwirkungszahlen für Torsion werden üblicherweise mit $\beta_{\tau c}$ bezeichnet.

In der DIN 743 „Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen“ /1, 2, 3/ sind Kerbwirkungszahlen in Abhängigkeit von der Wellenfestigkeit für Passfederverbindungen aufgeführt. Sie dienen als Anhaltspunkt, gelten jedoch nur für eine Beanspruchung ($\tau_m / \sigma_{ba} = 0,5$) und Geometrie. Eine Umrechnung auf andere Geometrien ist auch hier streng genommen unzulässig.

Entsprechend der DIN 743 können aus den vorliegenden Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen die Kerbwirkungszahlen für Längsstiftverbindungen errechnet werden. Der dort dargestellte Gestaltfestigkeitsnachweis beruht auf dem Nennspannungskonzept. Verschiedene, die Festigkeit verändernde Einflüsse wie Bauteilgröße, Wärmebehandlungen oder Mittelspannungseinflüsse werden über Faktoren berücksichtigt. Die sich aus der Torsionsbelastung ergebenden Schubspannungen werden auf den kreisrunden ungestörten Querschnitt der Welle mit dem Nenndurchmesser $D_{al} = 32$ mm bezogen.

3 Versuchsbedingungen

Für die hier dargestellten Versuche wurden Wellen aus 42CrMo4, Naben aus C45 und die Stifte aus 115CrV5 gefertigt. Variiert wurden die folgenden Parameter der Stiftverbindung:

- Anzahl der Stifte: $n_S = 1$
 $n_S = 3$
- Durchmesser der Stifte: $d_S = 4\text{ mm}$ ($Q_S = 0,125$)
 $d_S = 6\text{ mm}$ ($Q_S = 0,1875$)
- Verbindungslänge: $l_f = 32\text{ mm}$ ($l_f/D_{al} = 1$)
 $l_f = 45\text{ mm}$ ($l_f/D_{al} = 1,4$)
- Durchmesser der Nabe: $D_{aA} = 64\text{ mm}$ ($Q_A = 0,5$)
- Passung Welle/Nabe: H7/k6 Übergangspassung
H7/r6 Presspassung

Versuche mit „dünnwandigen“ Naben ($Q_A = 0,71$) wurden auch durchgeführt. Die Verbindungen versagten jedoch durch Bruch der Nabe, werden demnach hier bei der auf die Wellen bezogenen Gestaltfestigkeit nicht beschrieben.

Die angegebenen Toleranzen entsprechen der gängigen Praxis. Die Breite der Toleranz und damit das reale Fügenspiel sind jedoch als Einflussgröße auf die Gestaltfestigkeit zu dominant. Aus diesem Grund wurden die Übergangspassungen mit einem Fügenspiel von $20\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$ hergestellt, beziehungsweise gepaart, was bei einem Fügedurchmesser von 32 mm einem bezogenem Spiel von 0,63 ‰ entspricht. Presspassungen wurden mit einem Übermaß von $30\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$ gefügt. Dies entspricht einem bezogenen Übermaß von 0,94 ‰.

Um Vergleiche durchführen zu können, wurden Passfederverbindungen unter gleichen Versuchsbedingungen auf ihre Gestaltfestigkeit untersucht. Der Wellendurchmesser betrug auch hier 32 mm, das Verhältnis von tragender Passfederlänge zu Fügedurchmesser betrug $l_{tr}/D_{al} = 1$. Da rundstirnige Passfedern verwandt wurden, ist die gesamte Passfederverbindung länger als die entsprechende Längsstiftverbindung mit gleichem Verhältnis l_f/D_a .

Alle Passfederverbindungen wurden mit der oben genannten Presspassung gefügt. DIN 6892 „Passfedern – Berechnung und Gestaltung“ /4/ empfiehlt bei schwingender Beanspruchung eine Übermaßpassung aufgrund ihres günstigen Einflusses auf die Dauerhaltbarkeit und betont, dass entsprechend der Montage- und Demonta-

gebedingungen deshalb die größtmögliche Übermaßpassung gewählt werden solle. Damit die Ergebnisse vergleichbar sind wurde dieser Forderung jedoch nicht nachgekommen, dass heißt größere Übermaße wurden nicht untersucht.

Die dynamischen Torsionsversuche wurden auf den unwuchtbetriebenen Torsionsschwingprüfständen (siehe Institutsmitteilung Nr. 32 von 2007) durchgeführt.

Die einzelnen Versuche wurden nach Erreichen von $1,5 \times 10^7$ Schwingspielen abgebrochen. Da insbesondere bei Bauteiluntersuchungen mit Verschleißbeanspruchung, wie sie hier vorliegen, eine klassische Dauerfestigkeit nicht vorausgesetzt werden kann, wurden zudem Stichversuche bis zu $3,0 \times 10^7$ Schwingspielen durchgeführt. Ein Abfall der Dauerfestigkeitsgeraden war bis dahin nicht messbar.

Es wurden je Versuchsreihe sieben Proben verwandt; die Versuche wurden abgebrochen, wenn zu einem Lasthorizont zwei Durchläufer ermittelt werden konnten. Alle Versuche wurden mit einem konstanten Mittelspannungsverhältnis von $R = 0,1$ (schwellende Belastung) gefahren. Es wurden zudem Wechseltorsionsversuche mit einem Spannungsverhältnis von $R = -1$ durchgeführt.

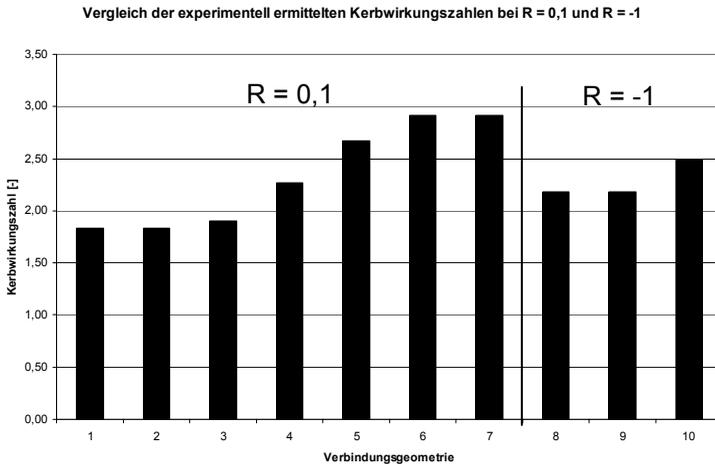
4 Ergebnisse der Untersuchungen

Die aus den Versuchsergebnissen unter Berücksichtigung der DIN 743 ermittelten Kerbwirkungszahlen sind in **Bild 2** dargestellt.

Die kleinsten Kerbwirkungszahlen ließen sich mit Dreistiftverbindungen mit „großem“ Stift ($Q_S = 0,1875$) erzielen. β_{TC} beträgt hier 1,83 bei $R = 0,1$. Eine überlagerte Presspassung hat bei dieser Längsstiftverbindung keinen positiven Einfluss auf die Gestaltfestigkeit.

Bei der Einstiftverbindung mit ansonsten gleiche Geometrie ($Q_S = 0,1875$, $l_f/D_{al} = 1$) ist die Gestaltfestigkeit demgegenüber stark herabgesetzt. Die ermittelte Kerbwirkungszahl β_{TC} beträgt hier 2,92. Das bedeutet, eine Erhöhung der Stifanzahl erhöht in diesem Fall die dauerhaft ertragene Torsionsschwellamplitude um ca. 60 %.

Für die Dreistiftverbindung mit dem Stiftdurchmesserverhältnis $Q_S = 0,125$ wurde bei $R = 0,1$ eine Kerbwirkungszahl von $\beta_{TC} = 1,90$ ermittelt. Sie liegt demnach nur geringfügig höher als bei der ansonsten vergleichbaren Verbindung mit $Q_S = 0,1875$.



1	$n_S=3$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$
2	$n_S=3$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$ Pressverbindung
3	$n_S=3$ $Q_S=0,125$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$
4	$n_S=1$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1,4$
5	$n_S=1$ $Q_S=0,125$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1,4$
6	$n_S=1$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$
7	Passfeder $Q_A=0,5$ $l_{tr}/D_{al} = 1$ Pressverbindung
8	$n_S=3$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$
9	$n_S=3$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$ Pressverbindung
10	Passfeder $Q_A=0,5$ $l_{tr}/D_{al} = 1$ Pressverbindung

Bild 2: Vergleich der experimentell ermittelten Kerbwirkungszahlen

Für die Einstiftverbindungen wurden Kerbwirkungszahlen von $\beta_{TC} > 2,0$ ermittelt, wobei die Verbindung mit dem „großen“ Stift bei dem Verbindungs-längenverhältnis $l_f/D_{al} = 1,4$ eine um ca. 18 % erhöhte Gestaltfestigkeit gegenüber der Verbindung mit „dünnem“ Stift ermöglicht.

Die Vergleichspassfederverbindungen erzielten in den Versuchen die höchsten Kerbwirkungsfaktoren. Bei einem Mittelspannungsverhältnis von $R = 0,1$ liegen sie auf dem gleichen Niveau wie die ansonsten ähnliche spielbehaftete Längsstiftverbindung mit einem Stiftdurchmesser-verhältnis von $Q_S = 0,125$. Bei wechselnder Torsionsbelastung ist die Kerbwirkungszahl gegenüber der Dreistiftverbindung mit $Q_S = 0,125$ um ca. 14 % erhöht. Eine überlagerte Pressverbindung verursachte bei der auch bei wechselnder Torsionsbeanspruchung für die Dreistiftverbindung keine Erhöhung der Gestaltfestigkeit.

5 Zusammenfassung

Am Institut für Maschinenwesen wurden dynamische Schwell- und Wechseltorsionsversuche an Längsstiftverbindungen verschiedener Geometrievarianten durchgeführt. Die aus den Versuchen ermittelten Kerbwirkungszahlen für die Welle zeigen, insbesondere im Vergleich zu den ebenfalls untersuchten Passfederverbindungen, das hohe Übertragungspotenzial dieser bisher wenig verbreiteten Welle-Nabe-Verbindung.

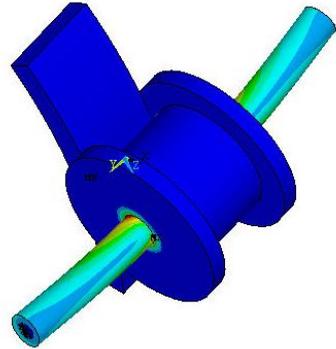
6 Literatur

- /1/ DIN 743-1: Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen, Teil 1 Einführung und Grundlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000
- /2/ DIN 743-2: Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen, Teil 2 Formzahlen und Kerbwirkungszahlen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000
- /3/ DIN 743-3: Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen, Teil 3 Werkstofffestigkeitswerte. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000
- /4/ DIN 6892: Passfedern - Berechnung und Gestaltung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1998
- /5/ Korte, T.: Längsstiftverbindungen als Alternative zur Passfeder. Konferenzband zur 16. internationalen wissenschaftlich-technischen Konferenz TEMAG 2008 Lebensdauer von Konstruktionselementen und -baugruppen in Bergbaumaschinen. Bibliotheka TEMAG, 2008, ISBN 978-83-61442-04-2

Druckkämme als dicke Platten unter Axialkraftbelastung

Thoden, D.

Für die richtige Funktion eines Druckkamms ist der Aufbau des elastohydrodynamischen Schmierfilms von entscheidender Bedeutung. Dieser Aufbau wird wegen des kleinen Schmierpalts durch mechanische Verformungen stark beeinflusst. Um diese zu untersuchen, werden in einem Forschungsvorhaben die Einflüsse auf die Verformung untersucht.



To get a thrust collar working properly it is essential to get the elastohydrodynamic contact established. This small lubrication gap is influenced by even small mechanic deformations. In order to examine the influences on these deformations, a research project is done.

1 Übersicht

Bei der Untersuchung von Druckkämmen unter punktueller axialer Belastung wurde festgestellt, dass Druckkämme bei Anwendung der Kirchhoff'schen Plattentheorie überdimensioniert werden /1/. Dieses liegt an der Annahmen, dass das elastische Wechselspiel zwischen Welle und Nabe nicht berücksichtigt wird und die Spannungsverteilung über die Plattendicke als linear angesehen wird.

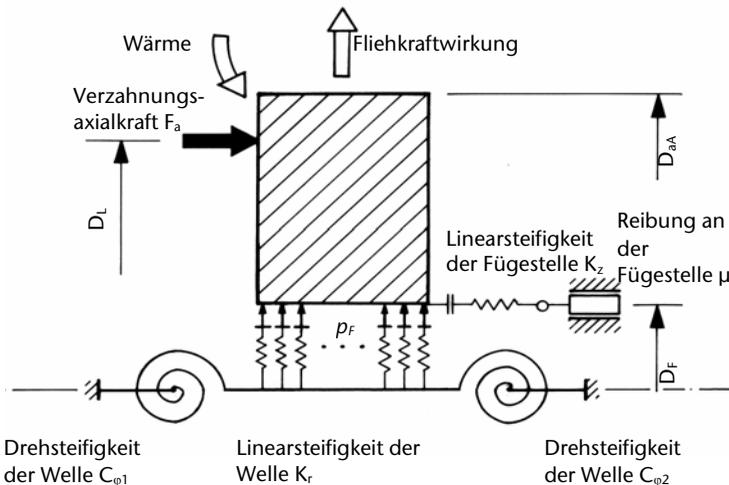


Bild 1: Einflussfaktoren auf das Verformungsverhalten eines Druckkamms /1/

Darüber hinaus können noch weitere Einflüsse ausgemacht werden, die das Verformungsverhalten eines Druckkamms auf der Welle beeinflussen, wie aus **Bild 1** hervor geht.

2 Problemstellung

Dass von verformten Wellen eine erhebliche Beeinflussung des Schmierfilmkontakts ausgeht, konnte in einer numerischen Untersuchung festgestellt werden. **Bild 2** zeigt die Kontaktzone des im Logo-

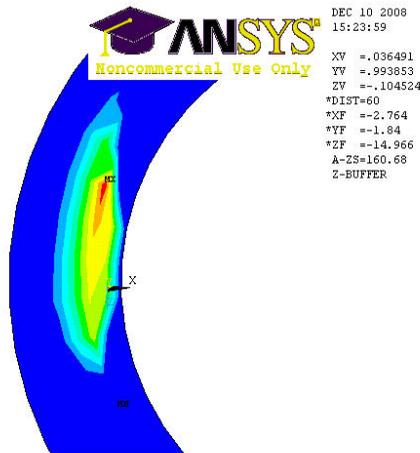


Bild 2: Kontaktzone von Druckkamm und Anlauring bei stark verformter Welle

bild gezeigten Druckkamms mit stark verformter Welle. Es ist klar zu sehen, wie weit sich der Kontaktpunkt von der normalen Eingriffslinie (Koordinatensystem) entfernt hat.

2.1 Versuchsplan

Um die wichtigen und unwichtigen Einflussparameter bestimmen zu können, wurde ein Versuchsplan mit der Software Minitab erstellt. Insgesamt wurden 5 Einflussgrößen betrachtet: Das Durchmesser-Dicken-Verhältnis der Kreisringplatte, die Länge und Steifigkeit der Welle (über den E-Modul), das Passungsübermaß und zur Berücksichtigung der Fliehkraft die Drehzahl. In **Tabelle 1** sind die einzelnen Stufen dargestellt. Mit ihnen wurde ein Wirkungsflächenversuchsplan aufgestellt, um die Einflüsse und Wechselwirkungen zu untersuchen.

Durch die Methode des „Design of Experiments“ konnte für die 15 verschiedenen Parameterstufen die Versuchsanzahl auf 33 Einzeluntersuchungen begrenzt werden.

Parameter	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe
Verhältnis B/D	0,4	1,25	2,1
Wellenlänge [mm]	50	125	50
Wellensteifigkeit [MPa]	70000	140000	210000
Passungsübermaß [µm]	50	120	190
Drehzahl [min ⁻¹]	0	2500	5000

Tabelle 1: Einflussparameter für die numerischen Untersuchungen mit der Software Minitab

2.2 Numerische Untersuchungen

Da in dem Versuchsplan einige Mittelpunktversuche mehrfach durchgeführt werden müssen, konnte die Anzahl der FE-Modelle für die numerischen Untersuchungen auf 28 begrenzt werden. Die Modelle wurden im System ANSYS aufgebaut, an den Stirnseiten der Welle fixiert und mit einer konstanten Kraft im äußeren Bereich der Nabe beaufschlagt.

Als Ausgangsgröße wurde die Verformung der Nabe gemessen, und zwar auf der gegenüberliegenden Seite des Kraftangriffspunkts, um numerische Einflüsse durch die Kräfteinleitung auszuschließen. Mit den ermittelten Werten wurde der Versuchsplan ausgefüllt und die Wirkflächenanalyse durchgeführt.

Durchbiegung an der Kräfteinleitung

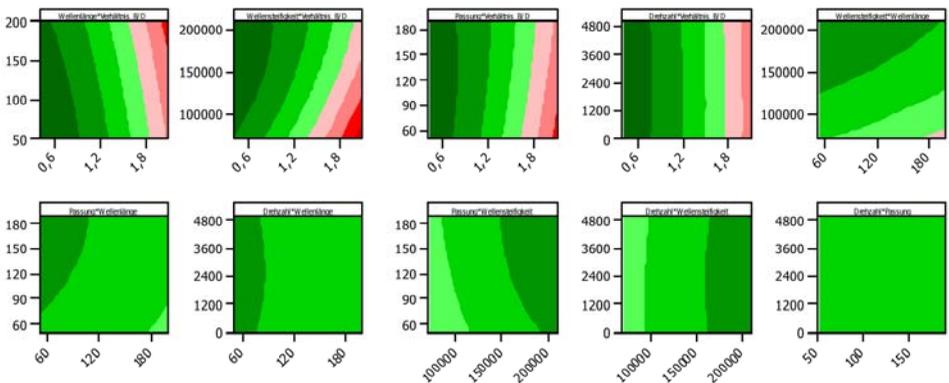


Bild 3: Ergebnis der numerischen Verformungsuntersuchungen

Farbverlauf zeigt die Größe der Verformung an, grün steht für niedrige, rot für große Verformung. Bei gleichmäßiger Färbung haben die Parameter einen geringen Einfluss, bei stark unterschiedlicher einen großen Einfluss auf die Verformung. Ist der Farbverlauf waagrecht oder senkrecht, so gibt es keine Wechselwirkung zwischen den Parametern, bei diagonalem Verlauf sind beide Parameter gleichberechtigt.

2.3 Ergebnisinterpretation

Aus den ersten vier Diagrammen ist klar erkennbar, dass das Durchmesserverhältnis B/D den größten Einfluss auf die Verformung hat. Als nächste Einflüsse zählen die Wellenlänge l und –steifigkeit E . Einen untergeordneten Einfluss hat das Passungsübermaß U . Der Drehzahl-einfluss ist demgegenüber vernachlässigbar.

Da alle Werte numerisch eingegeben wurden, können für die Durchbiegung Koeffizienten errechnet werden. Eine Formel für die Durchbiegung w_D würde nach den gewonnenen Ergebnissen wie folgt lauten:

$$w_D = -4,49 \cdot 10^{-5} - \frac{B}{D} \cdot 5,38 \cdot 10^{-5} - l \cdot 1,46 \cdot 10^{-7} + E \cdot 4,57 \cdot 10^{-10} + U \cdot 7,39 \cdot 10^{-8} \\ - \left(\frac{B}{D}\right)^2 \cdot 2,74 \cdot 10^{-5} - \frac{B}{D} \cdot l \cdot 7,02 \cdot 10^{-8} + \frac{B}{D} \cdot E \cdot 2,73 \cdot 10^{-10} + \frac{B}{D} \cdot U \cdot 1,38 \cdot 10^{-7}$$

3 Zusammenfassung

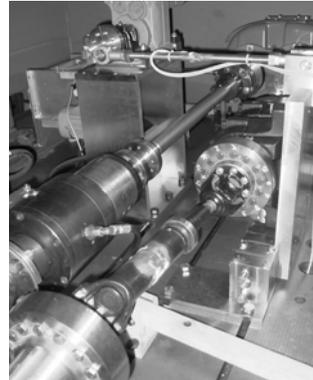
Mit der vorangegangenen Untersuchung konnte ein erster Vorschlag für die genauere Auslegung von axial unsymmetrisch belasteten dicken Kreisringplatten gemacht werden. Von fünf untersuchten Parametern konnte einer als vernachlässigbar klein eingestuft werden. Für die übrigen vier wird ein Prüfstand erstellt, um die numerischen Untersuchungen auch experimentell abzusichern.

Zusätzlich soll durch theoretische Betrachtungen der vorgeschlagene Ansatz erweitert werden, um schlussendlich auf eine Formel nicht nur für die Durchbiegung sondern auch für die Auslegung gegen das Klaffen zu kommen.

4 Literatur

- /1/ Dietz, P.; Mupende, I.: Druckkamm - ein altes Maschinenelement mit neuem Anwendungspotential. Konstruktion, 2006. 58(4): S. 69 - 75.

Die Zahnwellen-Verbindung einmal anders: im Längenausgleich von Gelenkwellen (FVA-Vorhaben 505)



Lau, P.; Schäfer, G.

Nachdem Zahnwellen-Verbindungen bereits in der Vergangenheit einer der Forschungsschwerpunkte am IMW waren, wird auch jetzt wieder ein Forschungsvorhaben in diesem Bereich bearbeitet. Es beschäftigt sich mit den umlaufenden Längenausgleichen im Mittelteil von Kreuzgelenkwellen, wo eine ungleichförmige Drehbewegung für dynamische Biege- und Torsionsbelastung führt.

Since splined shaft connections in the past have already been one of our main research areas once again an associated research project is carried out at the Institute of Mechanical Engineering. It deals with the revolving length compensations in the midsection of cardan shafts, where an uneven rotation causes dynamical bending and torsional loads.

1 Ausgangssituation, Zielsetzung und -erreichung

Schadensanalysen an Gelenkwellen mit verzahntem Längenausgleich zeigen, dass der häufigste Grund von Ausfällen der Verschleiß in eben diesem Längenausgleich durch Reibkorrosion und weitere Formen von Abrasivverschleiß ist. Die zugehörige Kausalitätskette stellt sich wie folgt dar: Verschleiß an den Flanken → Spiel in der Verbindung → gesteigertes Knickspiel, Vibrationen und erhöhte Unwucht. Bei Nichtbeachtung dieser Warnzeichen droht letztlich der Totalausfall der Gelenkwelle.

Die Dimensionierung bzw. der Bauteilfestigkeitsnachweis des Maschinenelements „Längenausgleich“ als mit Schiebeseit versehene Zahnwellen-Verbindung ist durch bestehende Berechnungsansätze /1/ abgedeckt. Dabei bleiben die o. a. Verschleißvorgänge im Längenausgleich bisher allerdings unberücksichtigt.

Hier greift das Vorhaben 505 „Gelenkwellen-Längenausgleich“ der FVA (Forschungsvereinigung Antriebstechnik) an: Es zielt darauf ab, eine Richtlinie für die Verschleiß optimierte Auslegung des verzahnten Längenausgleichs von Gelenkwellen entwickeln.

Die Basis dafür bilden experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung des Verschleißverhaltens im Längenausgleich. Parallel finden numerische Untersuchungen statt, deren Ergebnisse und Parameter sich mit den bei den Experimenten ermittelten Verschleißkennwerten verifizieren und kalibrieren lassen. Durch die Nutzung der so abgesicherten numerischen Verfahren wird dann die Extrapolation auf andere, nicht experimentell betrachtete Baugrößen möglich. Die numerisch ermittelten Ergebnisse bilden dann die Eingangsgrößen für Verschleißberechnungen, die letztlich Aussagen über den Verschleiß und das daraus resultierende Betriebsverhalten ermöglichen.

2 Experimentelle Untersuchungen

Gegenstand der experimentellen Untersuchungen sind gekürzte Ausführungen von Gelenkwellen zweier unterschiedlicher Baugrößen, die aus dem Nutzfahrzeug- bzw. dem Schienenfahrzeugbereich stammen. Ihre Längenausgleiche weisen Evolventenverzahnungen nach DIN 5480 /2/ mit Bezugsdurchmessern von $d_b = 32$ mm bzw. $d_b = 90$ mm auf.

Die Versuchsbedingungen sind gegenüber den typischen Einsatzbedingungen von Gelenkwellen mit Längenausgleich verschärft, um innerhalb einer vertretbaren Versuchsdauer (Gesamtumdrehungszahl $5 \cdot 10^6$) einen signifikanten Verschleiß herbeizuführen. D. h. bei den Untersuchungen liegt, während die Wellen rotieren, im Regelfall permanent Drehmoment in Höhe von 70% des Nennmoments an. Dies gilt auch für die Versuche mit definierter Verschiebung im Längenausgleich.

Für die Umsetzung dieser Bedingungen kommen zwei Verspannprüfstände zum Einsatz, die an die jeweilige Baugröße angepasst sind und umlaufende Leistungen von 52 kW bzw. 565 kW aufweisen. Das Verspannmoment wird dabei hydraulisch bzw. mechanisch aufgebracht.

Die wichtigsten in den Versuchen variierten Parameter sind:

- die Überdeckungslänge b (bei konstanten d_b): Stufung $b/d_b = 0,8 \leftrightarrow 1,5 \leftrightarrow 3,0$
- die Reibpaarung (Welle/Nabe): Stahl/Rilsan \leftrightarrow Stahl/Stahl
- die Verschiebelänge: groß (5 mm) \leftrightarrow klein (1 mm) \leftrightarrow keine; Verschiebung bei Frequenzen von 1 Hz bzw. 0,5 Hz
- eine zusätzliche Querkraftbelastung: dynamisch (aus Betriebslastmessung) \leftrightarrow statisch (so hoch, dass Selbstzentrierung durch das Verspannmoment aufgehoben) \leftrightarrow keine
- der Größeneinfluss: „kleine“ \leftrightarrow „große“ Baugröße

Zur Erläuterung: Bei der erstgenannten Reibpaarung Stahl/Rilsan ist die Nabenverzahnung mit einer wenige Zehntel Millimeter dicken

Schicht aus Rilsan überzogen. Dies ist ein Handelsname von Polyamid PA 11 – einem thermoplastischen Kunststoff mit hoher Abriebfestigkeit und guten Gleiteigenschaften. **Bild 1** vermittelt einen Eindruck anhand eines FEM-Modells.

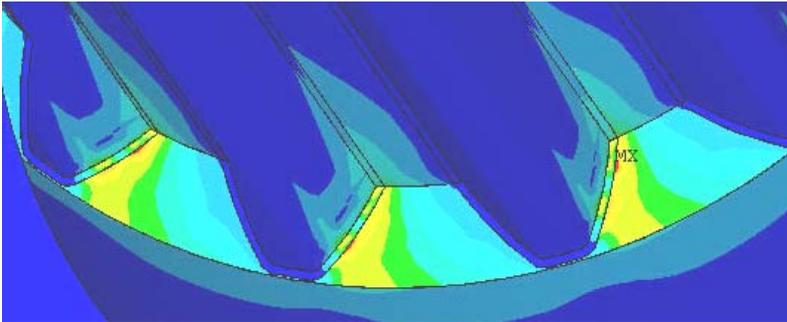


Bild 1: Rilsanschicht in FEM-Modell der „kleinen“ Gelenkwelle ($m = 2 \text{ mm}$, Schichtdicke $0,2 \text{ mm}$); gefräste Wellengeometrie nach /2/

Zur Quantifizierung des Verschleißes im Längenausgleich werden zu Beginn und nach jeweils weiteren $1 \cdot 10^6$ Umdrehungen der Gelenkwellen:

- das Knickspiel in [mm] (in 15° -Schritten) und
- das Verdrehspiel, umgerechnet auf den Teilkreis, in [μm] gemessen.

Die folgenden **Bilder 2 und 3** zeigen beispielhaft die Entwicklung der beiden Verschleißkennwerte an ausgewählten Versuchswellen.

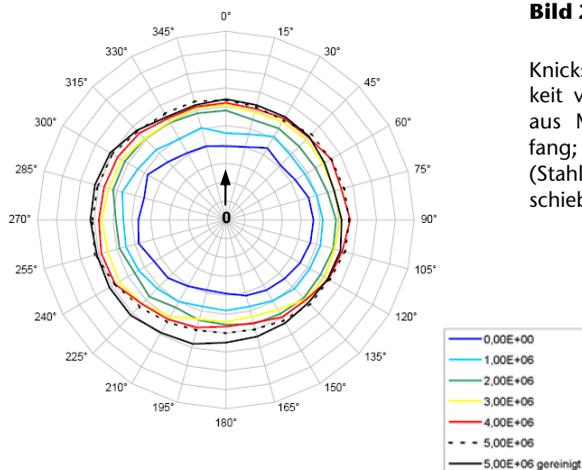


Bild 2:

Knickspiel in [mm] in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl aus Messungen über den Umfang; hier: „kleine“ Gelenkwelle (Stahl/Rilsan, $b = 0,8 \cdot d_b$, Verschiebung: 1 mm bei 1 Hz)

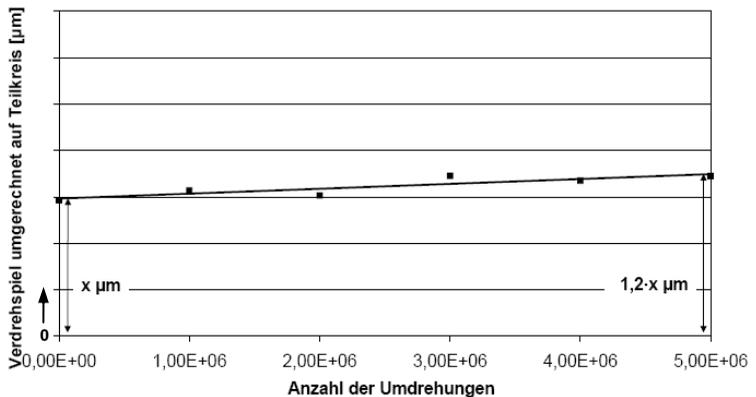


Bild 3: Verdrehspeil in [µm] im Längenausgleich einer „kleinen“ Gelenkwelle (Stahl/Rilsan, $b = 1,5 \cdot d_b$, Verschiebung: 5 mm bei 0,5 Hz)

Für Kennwert-Vergleiche einzelner Versuchsläufe miteinander sind die vorstehend wiedergegebenen Diagramme allerdings nicht optimal. Daher wird hierfür eine geänderte Darstellungsweise gewählt (**Bild 4**).

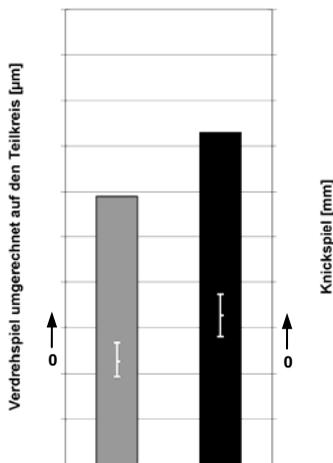


Bild 4:

Darstellungsform der Verschleißkennwerte in einem Diagramm: Säulenfarbe kennzeichnet Anfangs- (grau) und Endwerte (schwarz), Säulenhöhe steht für Verdrehspeilwert; eingeschriebene Linien zeigen Kleinst-, Durchschnitts- und Größtwerte des Knickspiels

Im dargestellten Diagramm werden die Ausgangs- und Endwerte der Spiele bei Versuchsbeginn und -ende einander gegenübergestellt – die Zuordnung geschieht über die Säulenfarbe (grau → Startwerte, schwarz → Endwerte). Die Höhe der Säulen veranschaulicht den jeweiligen Verdrehspeilwert (Größenachse links), die Spannweite der Knickspielwerte wird durch die Länge der eingeschriebenen senkrechten weißen Linie

vermittelt, ihre waagerechten Teilstriche bezziffern das Kleinst-, Durchschnichts- und Größtwert des Knickspiels (Größenachse rechts).

2.1 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen

Im Folgenden werden aus der Gesamtheit der vorliegenden Untersuchungsergebnisse die Ergebnisse einzelner Gelenkwellen herausgegriffen und verglichen, um die Auswirkung einzelner Parametervariationen zu diskutieren.

Beim Vergleich der verschiedenen Überdeckungsängen an Gelenkwellen mit der Reibpaarung Stahl/Rilsan im Längenausgleich, die bei einer Verschiebung von 1 mm mit einer Verschiebefrequenz von 1 Hz gefahren wurden, ergibt sich **Bild 5**.

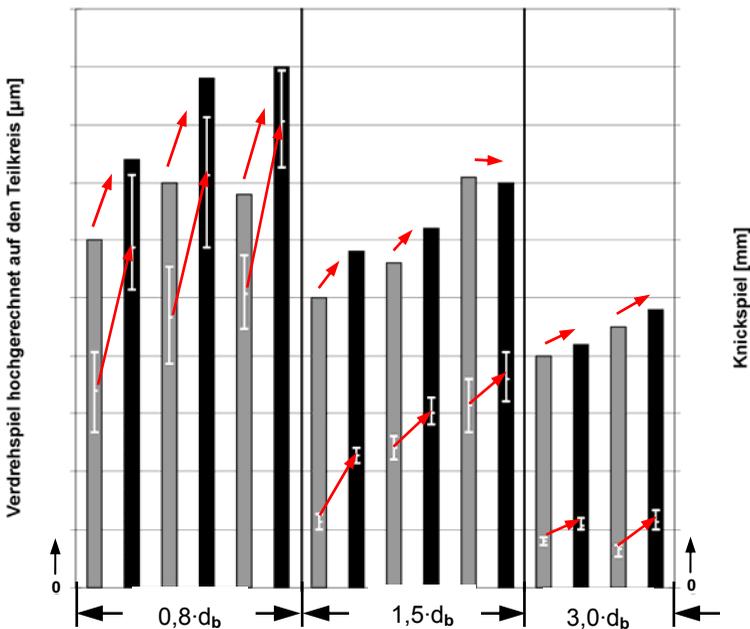


Bild 5: Verschleißkennwerte aus Versuchen mit den drei verschiedenen Überdeckungsängen ($b = 0,8 \cdot d_b$, $1,5 \cdot d_b$ bzw. $3,0 \cdot d_b$), Paarung Stahl/Rilsan, Verschiebelänge und -frequenz jeweils 1 mm bei 1 Hz)

Hier ist die Abhängigkeit der Verschleißkennwerte von der Überdeckungsänge erkennbar: bereits die Anfangswerte beider Kennwerte liegen tendenziell bei den Gelenkwellen mit der kürzesten Überdeckungsänge auf dem höchsten Niveau und bei der längsten Überde-

ckungslänge auf dem niedrigsten. Diese Verhältnismäßigkeit setzt sich im Zuge der Versuchs fort: Verdrehspiele und Knickspiele zeigen umso größer werdende Zunahmen je kürzer die Überdeckungslänge ist.

Zieht man die Ergebnisse aus den Untersuchungen bei den verschiedenen Verschiebelängen, nämlich 1 mm und 5 mm heran (**Bild 6**), ist zu erkennen, dass sich die Änderung der Verdrehspiele uneinheitlich darstellt. Die Knickspiele dahingegen steigen bei beiden Verschiebelängen im Schnitt gleich stark an – ein linearer Einfluss ist offensichtlich nicht gegeben.

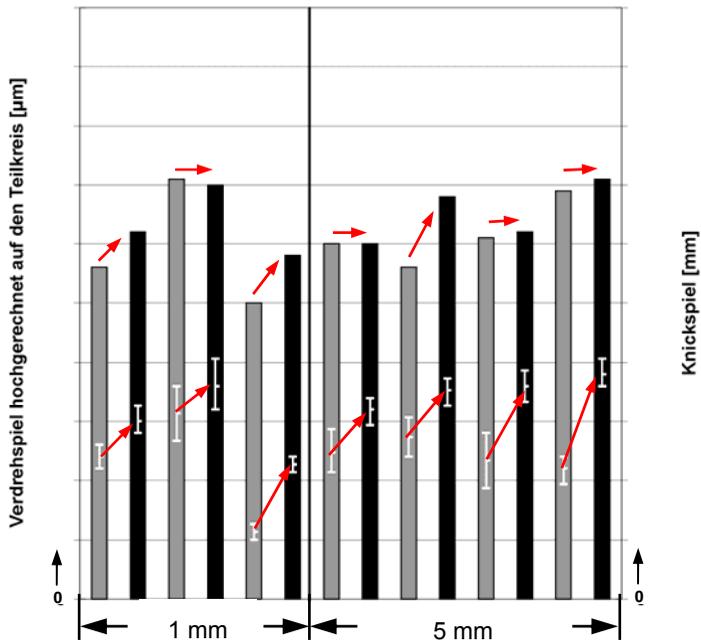


Bild 6: Verschleißkennwerte aus den Versuchen mit den beiden verschiedenen Verschiebelängen (1 mm und 5 mm), Paarung Stahl/Rilsan, $b = 1,5 \cdot d_b$, Verschiebefrequenz jeweils mit 1 Hz

Fokussiert man auf die beiden betrachteten Verschiebefrequenzen, erhält man das in **Bild 7** dargestellte Diagramm. Hier ist anzumerken, dass die Laufzeit bei allen Versuchen konstant gehalten wurde – die Anzahl der Verschiebungen bei 0,5 Hz war somit nur halb so groß wie bei 1 Hz!

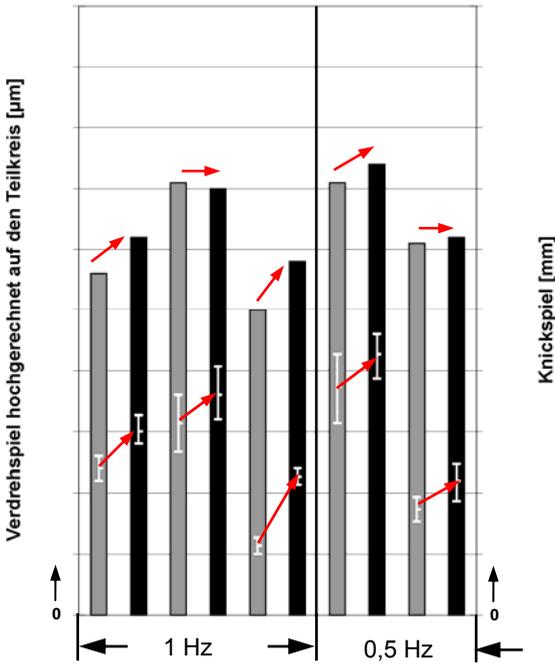


Bild 7:

Verschleißkennwerte aus den Versuchen mit den beiden verschiedenen Verschiebefrequenzen (0,5 Hz und 1 Hz), Paarung Stahl/Rilsan, $b = 1,5 \cdot d_b$, Verschiebelänge jeweils 1 mm

So aufgeschlüsselt ist bei den Gelenkwellen mit doppelt so großer Verschiebungsanzahl (1 Hz) im Schnitt ein deutlicher Anstieg der Verdrehspielwerte zu verzeichnen. Bei den Knickspielwerten ergibt sich das gleiche Bild: auch hier ist die durchschnittliche Zunahme bei doppelt so häufiger Verschiebung größer.

Neben den o. a. Untersuchungen an Gelenkwellen mit der Reibpaarung Stahl/Rilsan im Längenausgleich wurden auch Versuche an solchen mit der Reibpaarung Stahl/Stahl durchgeführt. Im Vergleich ergaben sich hier während der Verschiebung deutlich höhere Axialkraftwerte in den Gelenkwellen. In einzelnen Versuchsabschnitten konnten Verschmutzung, Kopfklemmen oder die bei den Versuchsteilen der „kleinen“ Baugröße vorliegende einseitige Abweichung von der Flankenform als potentielle Ursachen ausgeschlossen werden.

Parallel konnte durch nachträgliche Änderungen an der Verzahnungsgeometrie eine merkliche Verbesserung hinsichtlich des Anstiegs der Axialkräfte im Betrieb erreicht werden. Nichtsdestotrotz war die durch die vergleichsweise große Reibarbeit induzierte Wärmeentwicklung immer noch so groß, dass innerhalb von kurzer Zeit kritische Temperaturen an der Nabenaußenseite der Längenausgleiche auftraten. **Bild 8** vermittelt einen Eindruck vom Verhältnis der auftretenden Axialkräfte bei den beiden Reibpaarungsvarianten und veran-

schaulicht zudem den Temperaturanstieg auf der Außenseite des Längenausgleichs von Gelenkwellen mit der Stahl/Stahl-Reibpaarung.

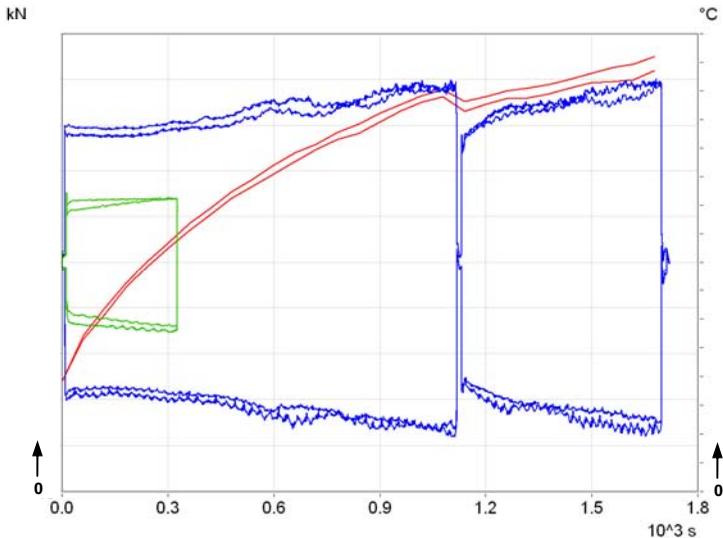


Bild 8: Hüllkurven der Gelenkwellen-Axialkräfte mit den verschiedenen Reibpaarungen Stahl/Stahl (blau) und Stahl/Rilsan (grün) im Längenausgleich; Temperaturverlauf Längenausgleich (rot), $b = 1,5 \cdot d_b$, Verschiebelänge und –frequenz: jeweils 5 mm bei 1 Hz

Da in den Versuchen eine Temperaturgrenze zu beachten war, wurde aufgrund der dargestellten Temperaturentwicklung beschlossen die bisher über die gesamte Versuchslaufdauer bestehende Verspannung bei Wellen mit Stahl/Stahl-Paarung im Längenausgleich in definierten zeitlichen Abständen zu lösen und auf diese Weise die vorgesehene Grenztemperatur einzuhalten. Mit dieser Fahrweise werden die Untersuchungen nun fortgeführt.

3 Numerische Untersuchungen

Im Zuge der eingangs erwähnten numerischen Untersuchungen besteht ein Teilziel in der genauen Abbildung der in den experimentellen Untersuchungen verwandten Versuchsteile. Dies umfasst dabei sowohl die mittels Kaltumformung erzeugte Geometrie der Wellenverzahnung als auch die Berücksichtigung der optionalen Rilsanschicht auf der Nabenverzahnung.

Ausgehend vom in **Bild 1** dargestellten Modell, das noch die Wellenverzahnung mit kleinem Fußrundungsradius aufweist, sind inzwi-

schen Rechnungen abgeschlossen worden, in denen die volle Fußausrundung in den Längenausgleichen umgesetzt wurde. (**Bild 9**).

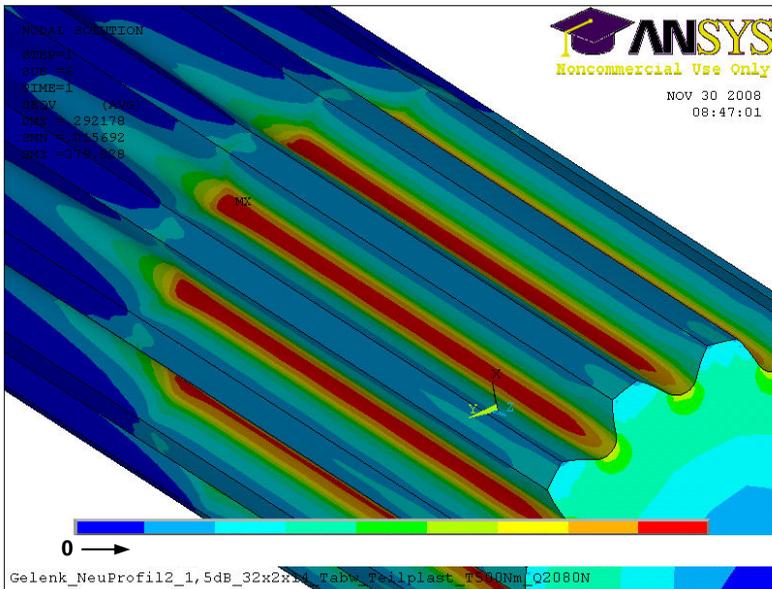


Bild 9: Ergebnis einer FEM-Berechnung auf Basis einer Zahnwelle mit voller Fußausrundung; Reibpaarung Längenausgleich: Stahl/Stahl, $b = 1,5 \cdot d_b$, Berechnung mit Spiel und Teilungsabweichungen, Lasten: $T = 500 \text{ Nm}$ und $F_Q = 2080 \text{ N}$

Bereits im Ergebnis vorher angestellter Rechnungen mit bzw. ohne Rilsanschicht zeigte sich, dass die Schicht neben ihrer Fähigkeit die Axialkräfte bei Verschiebung unter Last herabzusetzen (**Bild 8**) weitere positive Auswirkungen hat. Zwei davon verdeutlicht **Bild 10**, wo die Kontaktdrücke über der gemeinsamen Verzahnungsbreite an einer ausgewählten Zahnflanke dargestellt sind: die Schicht verringert die Druckmaxima an den Enden der Verzahnung (zw. etwa 20% bei $b = 0,8 \cdot d_b$ und 30% bei $b = 3,0 \cdot d_b$) und ein größerer Bereich der Zahnflanke wird in die Drehmomentübertragung miteinbezogen. Außerdem wird der Einfluss von Spiel und Teilungsfehlern minimiert: treten hierbei ohne Rilsanschicht noch Steigerungen im Bereich von 10% bis 15% auf, sinken diese mit Rilsanschicht auf unter 5%. Daneben sorgt die Schicht dafür, dass die berechneten maximalen Vergleichsspannungswerte in der Nabe deutlich, d. h. bis zu 40% sinken.

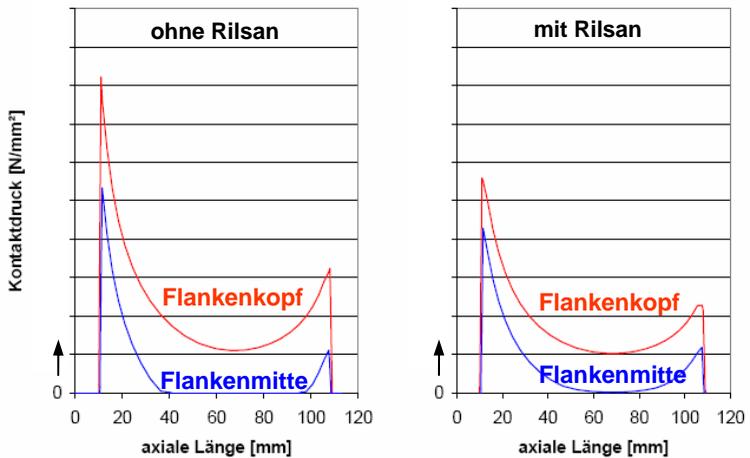


Bild 10: Ergebnis einer FEM-Berechnung an einer Zahnwelle der „kleinen“ Baugröße; Überdeckungslänge $3,0 \cdot d_b$, Berechnung mit Spiel und Teilungsabweichungen, Last: $T = 500 \text{ Nm}$

Neben den Auswirkungen der Rilsanschicht zeigt sich in den Berechnungsergebnissen auch ein Einfluss der Überdeckungslänge im Längenausgleich: mit zunehmender Länge sank auch hier der Wert der maximalen Vergleichsspannung in der Nabe um bis zu 10% (Paarung Stahl/Stahl) bzw. bis zu 15% (Paarung Stahl/Rilsan). Die Vergleichsspannungswerte in der Welle sanken, wie auch bei Berücksichtigung der Rilsanschicht, gleichzeitig nur marginal.

4 Literatur

- /1/ DIN 5466E: Tragfähigkeitsberechnung von Zahn- und Keilwellenverbindungen. Beuth, Berlin, 2002
- /2/ DIN 5480: Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser. Beuth, Berlin, 2006

Entwicklungstendenzen für Zahnwellen-Verbindungen

Dietz, P.; Schäfer, G.; Wächter, M.

Zahnwellen-Verbindungen sind eines der Kernthemen in der Forschungsarbeit des Instituts für Maschinenwesen. Neben der sich daraus ergebenden immer wieder angefragten Hilfestellung bei Sonderlösungen, ist das Institut aktuell mit der erneuten Überarbeitung der Berechnungsgrundlagen beschäftigt. Es werden aber auch innovative Wege zur Profilloptimierung verfolgt, die teilweise die Verwandtschaft zur Zahnwelle nur noch erahnen lassen. Unsere wesentlichen Förderer bei diesen Arbeiten sind Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) und die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), bei denen wir uns bedanken möchten.



Involute splines are a core topic of the research work at the Institute of Mechanical Engineering. Current work items are the revision of the calculation basics and the development of an optimized tooth profile. This research work is mainly financed by the Association of German Drive Technology (FVA) and the German Research Foundation (DFG).

1 Einleitung

Welle-Nabe-Verbindungen stellen eines der Hauptforschungsthemen am IMW dar. Formschlüssige Verbindungen wie Längsstiftverbindungen oder Zahnwellenprofile, die in den Längenausgleichen von Kardanwellen eingesetzt werden, werden in weiteren Artikeln dieser Institutsmitteilung speziell behandelt. Dieser Artikel widmet sich aktuell anlaufenden und geplanten Forschungsarbeiten, die auf dem langjährigen Wissen des Instituts aufbauen. Auf dem Gebiet der Berechnungsgrundlagen wird im Auftrag der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) der unbefriedigende Kenntnisstand grundlegend überarbeitet. Der zweite Bereich der Profilloptimierung, der mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt wird, wurde aus den umfangreichen Versuchs- und Betriebserfahrungen am Institut in Verbindung mit einigen Firmenvertretern initiiert.

1.1 Berechnung

Die Berechnung von Zahnwellen-Verbindungen stellt einen alltäglichen Arbeitsgang in der antriebstechnischen Konstruktion dar. Die vorliegenden Normen DIN 743 /1/ und DIN 5466E /2/ führen aber aufgrund überalterter Grundlagen und fehlender Werkstoffgrenzwerte aktuell zu unbefriedigenden Aussagen und Übereinstimmungen mit Anwendungsfällen.

Einige praxisrelevante Anwendungsfälle sind darüber hinaus in den bestehenden Berechnungsnormen prinzipiell noch nicht berücksichtigt oder gehen über die Gültigkeitsgrenzen hinaus.

Im Rahmen der Arbeiten zu diesem Thema soll einerseits die theoretische Wissensbasis für das Verbindungssystem aus Welle und Nabe mit numerischen Simulationen aktualisiert und erweitert werden und andererseits aus zusammenezutragenden experimentellen Versuchsergebnissen die Angabe von zulässigen Werkstoffkennwerten für anwendungsrelevante Werkstoffzustände erreicht werden.

1.2 Profilentwicklung

Erste numerische Untersuchungen an Zahnwellen-Verbindungen haben gezeigt, dass sich mit Hilfe einer optimierten Zahnform nach dem Wildhaber-Novikov-Grundprofil bei reiner Drehmomentbelastung eine rechnerische Beanspruchungsreduzierung im Zahnfuß auf 77% gegenüber einer Zahnwellengeometrie mit Evolventenflanken nach DIN 5480 /3/ bei gleichen Grundabmessungen erzielen lässt.

Durch eine weitere Profilloptimierung kann die Zentriereigenschaft ebenfalls noch deutlich verbessert werden. Damit findet auch bei Auftreten von Querkräften ein verminderter Verschleiß statt, die Lebensdauer der Verbindung kann deutlich erhöht werden.

2 Berechnung

Als Ergebnis umfangreicher experimenteller Forschungsarbeiten in den vergangenen 25 Jahren sowie den dazu parallel bearbeiteten theoretischen Vorhaben, die zu großen Teilen durch die FVA gefördert wurden sowie weiteren DFG geförderten Forschungsvorhaben zur Zahnwellen-Gestaltfestigkeit (Di289/9-1 und Di289/9-2) /4/, wurde die DIN5466 (1983) zur Zahnwellenberechnung bereits einmal grundlegend überarbeitet. Speziell die DFG geförderten Vorhaben lieferten auf Basis linearelastischer numerischer Untersuchungen die Grundlagen der heute in der DIN 5466 stehenden Formfaktoren. Für die Berechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen können

aktuell die DIN 743 und die DIN 5466E sowie daran angelehnte Berechnungshinweise in Maschinenelemente-Lehrbüchern herangezogen werden. Die DIN 743 berücksichtigt dabei als Wellenberechnungsnorm primär den Einfluss der Verbindung auf die Welle. Die Auslegung der Verbindung selber als System aus Welle und Nabe ist dagegen Kern der DIN 5466E. Aufgrund der dieser Norm zugrunde liegenden älteren Forschungsergebnisse aus den 90er Jahren, liefert die Anwendung dieser Berechnungsvorschrift teilweise unbefriedigende Übereinstimmung mit realen Anwendungsfällen und verfügt im Bereich zulässiger Werkstoffgrenzwerte nicht über die dringend notwendigen Informationen.

2.1 Arbeitsziel

Das globale Ziel der jetzt aufgenommenen Arbeiten ist die Überarbeitung und Erweiterung der Berechnungsrichtlinie für Zahnwellenverbindungen. Im Einzelnen ergeben sich daraus folgende Teilziele:

- Betrachtung des Systems „Welle mit Nabe“ mit teilplastischen numerischen Simulationen
- Berücksichtigung lokaler Plastifizierung in der numerischen Simulation durch Implementierung gemessener Spannungs-Dehnungskennlinien
- Erweiterung der Gültigkeitsgrenzen bezüglich Nabenwandstärke, Flankenwinkelvariation, Fußausrundungsradius und Drehmomentdurchleitung
- Abgleich mit vorliegenden Versuchsergebnissen, auch für gehärtete Verzahnungen
- Daraus Ableitung von zulässigen Werkstoffgrenzwerten. Es soll hier ein Bezug zu allgemein zugänglichen Dauerfestigkeitsschaubildern aus der Standardliteratur (FKM-Richtlinie und Tabellenwerke) hergestellt werden

2.2 Stand der Forschung

Die Anwendung der Zahnwellen-Berechnungsnorm DIN 5466E ist momentan aufgrund fehlender zul. Werkstoffgrenzwerte nur eingeschränkt möglich. Die Norm besteht aus zwei Teilen, im ersten Teil behandelt sie die Grundlagen mit Betriebsarten, typischen Beanspruchungen und den daraus abgeleiteten allgemeinen Berechnungsansätzen sowie konstruktive Hinweise. Der zweite Teil beinhaltet spezifische Kennzahlen und Diagramme für die Geometrie nach DIN 5480, die auf Basis numerischer Untersuchungen mit linear-elastischem Werkstoffverhalten ermittelt wurden. Da die realen Beanspruchungs-

fälle aber lokale Plastifizierungen zur Folge haben, treten hier deutliche Differenzen zwischen Berechnung und Realität auf.

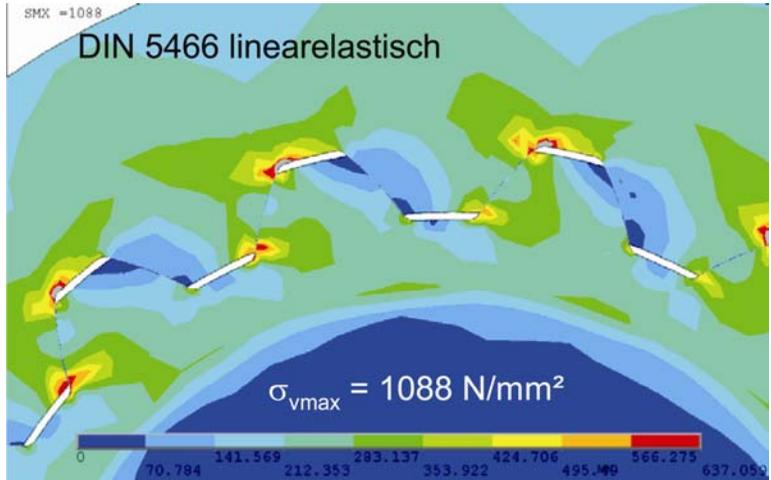


Bild 1: Ergebnis einer Berechnung mit linearelastischem Werkstoffverhalten

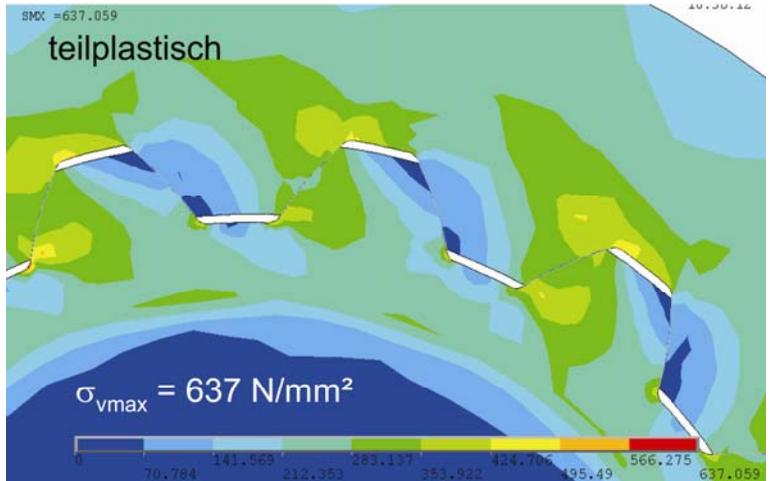


Bild 2: Ergebnis einer Berechnung mit teilplastischem Werkstoffverhalten

Bild 1 und **Bild 2** wurden mit gleicher Drehmomentlast und Werkstoffen berechnet, lediglich die Berücksichtigung des teilplastischen

Verhaltens gemäß der Kennlinie aus **Bild 3** ist verantwortlich für die unterschiedlichen Ergebnisse. Die heute möglichen numerischen Simulationen mit realen (teilplastischen) Werkstoffkennlinien liefern damit deutliche Verbesserungen in der Ergebnisgüte.

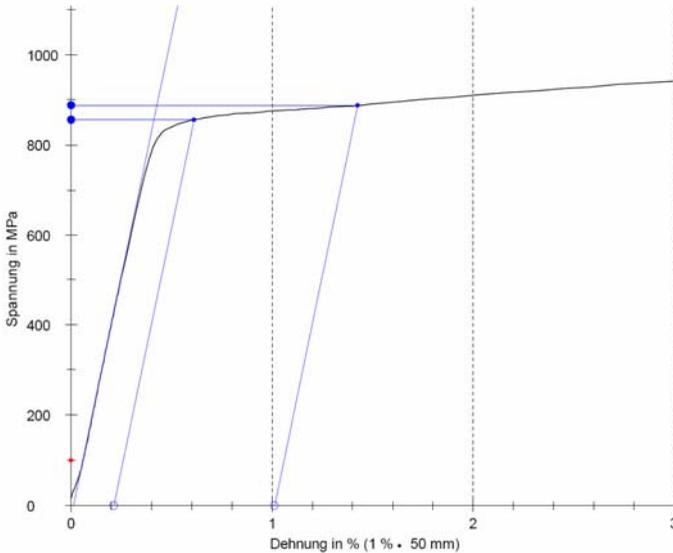


Bild 3: Spannungs-Dehnungsdiagramm der teilplastischen Simulation

2.3 Lösungsweg

Solche Simulationen sollen für die bevorstehende Überarbeitung der Berechnungsansätze aus der Norm angewendet werden. Darüber hinaus sind in der Norm einige Gültigkeitsgrenzen für aktuelle Anwendungen auf Basis neuer Untersuchungen zu erweitern, sowie zusätzliche Anwendungsfälle wie die teilweise Drehmomentendurchleitung und Flankenwinkelvariationen zu klären.

Der zweite Arbeitspunkt beinhaltet den Vergleich von Versuchsergebnissen mit Berechnungsergebnissen nach den neuen Berechnungsansätzen. Für die vereinfachte allgemeine Anwendung soll auch eine Kalibrierung, der zunächst mit experimentell ermittelten Zahnwellen-Gestaltfestigkeiten evaluierten Berechnungsergebnisse, mit allgemeinen Werkstoffdauerfestigkeiten (z.B. Smith-Diagramm) erfolgen. Zu diesem Zweck werden Werkstoffuntersuchungen in Form von Zugversuchen und Härtemessungen an den Prüfteilen

durchgeführt. Die Zugversuche liefern auch die Spannungs-Dehnungskennlinien für die teilplastischen numerischen Simulationen. Für die gerade begonnene Bearbeitung dieser Aufgabenstellungen ist das vor uns liegende Jahr 2009 vorgesehen.

Neben diesen nationalen exklusiven Forschungsarbeiten für die FVA und deren Mitgliedsfirmen, ist auch wieder nach der Überarbeitung der ISO 4156 die Mitarbeit in der internationalen Normung auf dem Gebiet der Festigkeitsberechnung für das Jahr 2009 geplant.

3 Profilentwicklung

Neben den Basisaufgaben in der Festigkeitsauslegung von Zahnwellen-Verbindungen, beschäftigt sich das IMW schon seit vielen Jahren mit der Optimierung der Verbindung. Dies betraf anfangs die Abschätzung von Teilungsabweichungen, dann die möglichen Flankenlinienkorrekturen und schließlich die Modifikation der Fußausrundungen. Mit den aktuell laufenden Arbeiten wird jetzt der Variationsrahmen deutlich größer gefasst und ein gesamtheitlich optimiertes Formschlussprofil für die Drehmomentübertragung angestrebt. Ausgangspunkt für diese Arbeiten sind die durch kontinuierliche Schwachstellenanalysen herausgearbeiteten folgenden Hypothesen für formschlüssige Wellen-Naben-Verbindungen nach dem Zahnwellenprinzip:

- Kreisbogen-Verzahnungen lassen aufgrund ihrer verrundeten konvex-konkaven Flankengeometrie gegenüber den Evolventen-Verzahnungen eine erhöhte Zahnfuß- und Flankentragfähigkeit erwarten. Hierdurch ist eine Leistungssteigerung bei gleichen Hauptabmessungen möglich.
- Durch Nutzung der radial weiter außen (und damit unter wesentlich größerem „Eingriffswinkel“) liegenden Flankenkontaktflächen wird ein verbessertes Zentrierverhalten gegenüber der praktisch nur flankenzentriert eingesetzten Evolventen-Verzahnung angenommen.
- Die grundsätzlich kompaktere Form des Zahnes mit Kreisbogenprofil sollte eine fertigungsgerechtere Herstellung mittels Kaltumformen erlauben. Die bekannten Anrisse im Fußbereich und die Wülste an den Zahnköpfen entfallen, die Eigenspannungen durch Umformen tragen zur Festigkeitssteigerung bei.

3.1 Vergleichsgeometrie

Abgeleitet aus dem Kreisbogen-Grundprofil für Laufverzahnungen wurde eine Optimierung der Zahngeometrie für Zahnwellenverbin-

dungen mit den Kriterien Zentrierfähigkeit, Flächenpressungsoptimierung auf den Zahnflanken und Optimierung der Zahnfußspannung im Verbindungsbereich durchgeführt. Ausgehend von einer Verbindung mit Modul 3 mm und 18 Zähnen wurden die Parameter Zahnkrümmung R_1 und R_2 , Lage der Kreisbögen a und R_a , Zahnfußausrundung ρ_1 und ρ_2 , Modul m und Zähnezahl z variiert, siehe **Bild 4**.

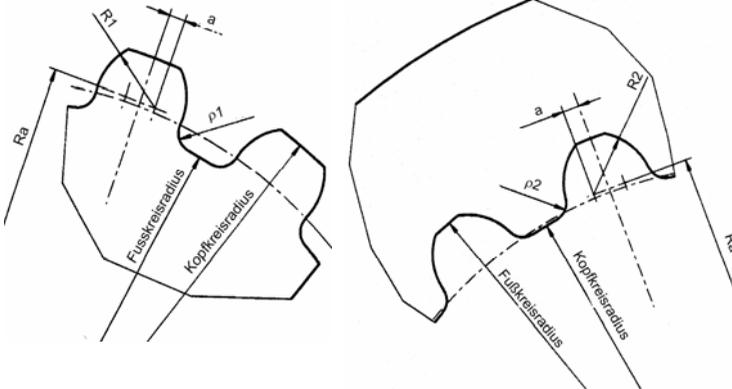


Bild 4: Wildhaber-Novikov-Grundprofil, Bezeichnungen und Abmessungen

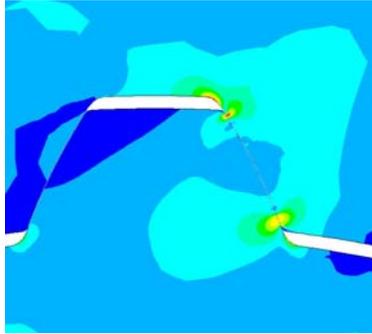
3.2 Beanspruchungen unter Torsion

Bild 5 zeigt den grundsätzlichen Unterschied der Beanspruchungshöhe und -verteilung an zwei vergleichbaren Verbindungen unter gleichen Lasten, siehe auch /5/.

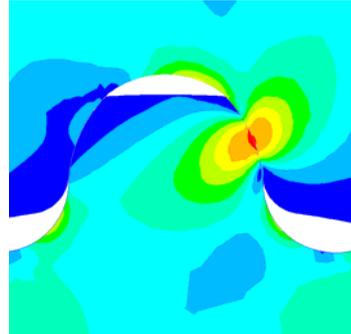
Die Flankenbeanspruchung beim Evolventenprofil weist Beanspruchungsmaxima am Flankenkopf und -fuß auf, die zwar örtlich begrenzt sind, aber mit 205 N/mm^2 um 50 % über der Flankenbelastung der Kreisbogenverzahnung liegen. Die Beanspruchung der Kreisbogenverzahnung lässt sich beeinflussen durch die Krümmungsradien der Zähne und ihre Lage – es zeigt sich ein Optimum bei einer „positiven Profilverschiebung“ von ca. 0,08 und bei einem Verhältnis von Modul zu Flankenkrümmungsradius von 1,25.

Die Spannungsspitze im Nabenzahnfuß ist beim Evolventenprofil ausgeprägter als beim optimierten Kreisbogenprofil. Im Wellenzahnfuß auf der Zugseite lässt sich bei der Kreisbogeengeometrie eine Spannungsreduzierung auf 77 % der Evolventenbeanspruchung erreichen. Dies ist im Wesentlichen auf eine optimierte Ausrundungsgeometrie im Zahnfuß gegenüber der genormten Evolventengeometrie zurückzuführen, die in der Verringerung des Wellenquerschnitts ihre Grenze findet (Bild 5 rechts). Diese Erkenntnis kann auch als Teillösung im Zahnfußbereich eines genormten Profils sinnvoll

angewendet werden, da auf diesem Wege die Austauschbarkeit erhalten bleibt und damit sowohl Konstruktionsänderungen als auch die Ersatzteillogistik beherrschbar bleiben.



$v_{\max} = 205 \text{ MPa}$



$v_{\max} = 141 \text{ MPa}$

Bild 5: Vergleichsspannung nach von Mises für 800 Nm; $m = 3 \text{ mm}$; $z = 18$;
links: Evolvente DIN 5480; rechts: Kreisbogenverzahnung

Auch Ort und Verlauf der Beanspruchungen unterscheiden sich beträchtlich. Während unter reiner Drehmomentbelastung sich bei der Evolventenverzahnung die Maxima der Flächenpressung mit hohen Gradienten auf den Bereich um die Zahnköpfe konzentrieren (Bild 5 links), liegt das Maximum der Flankenpressung bei der Kreisbogenverzahnung etwa in Flankenmitte und weist aufgrund der verhältnismäßig großen Berührungszone geringere Gradienten auf. Die Fülligkeit des Flächenpressungsprofils ist auch gut in **Bild 6** zu erkennen. Die Flankenkonturen von Welle und Nabe lassen sich sehr feinfühlig durch die Wahl des Radienverhältnisses R_1/R_2 einstellen, so dass ein recht fülliges Pressungsprofil erreichbar ist ohne das Problem der Pressungsspitzen an den Kanten zu erhalten.

Die weiteren Untersuchungen beschäftigen sich mit der Zentrierwirkung eines solchen Profils unter der Wirkung von Querkräften und Biegemomenten. Für die Lebensdauer einer solchen Formschlussverbindung und diesen betriebstypischen Lasten ist ein gegenüber der einfachen flankenzentrierten Ausführung nach DIN 5480 verbessertes Profil notwendig. Mit dem Kreisbogenprofil sind physikalisch die notwendigen Bedingungen ausreichender radial wirkender Flankenstücke erfüllt und die ersten vorliegenden Ergebnisse numerischer Simulationen bestätigen dies eindrucksvoll /5/. Die nächsten Schritte zur weiteren numerischen Profilloptimierung sollen jetzt unter Verwendung des Programmpakets TOSCA gemacht werden. Ganz wesentlich für die Ergebnisgüte sind dabei die Definitionen der angestrebten Optimierungsziele.

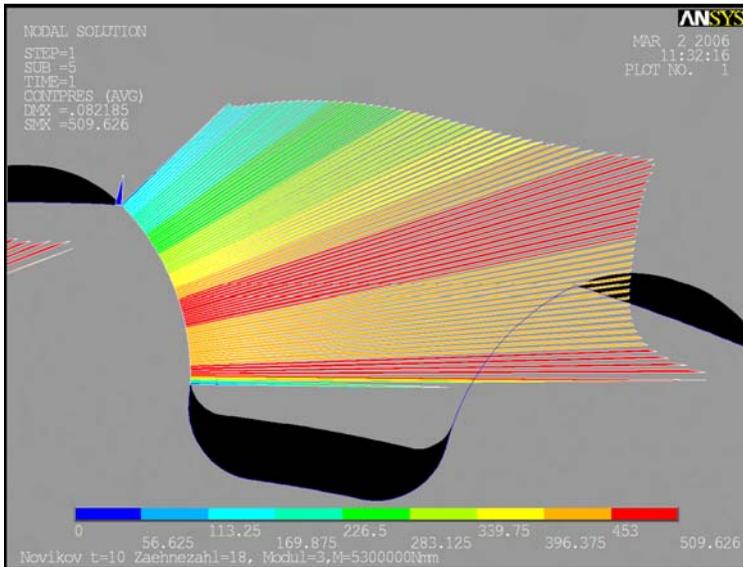


Bild 6: Flächenpressungsverteilung der Kreisbogenverzahnung für 5300 Nm

4 Zusammenfassung

Das Institut für Maschinenwesen ist kontinuierlich im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten über bilaterale Forschungsaufträge bis hin zu öffentlich geförderten mehrjährigen Forschungsprojekten an der Weiterentwicklung von Welle-Nabe-Verbindungen und den damit verbundenen Systemen beschäftigt, z.B. Berechnungsgrundlagen. Neben den laufenden Arbeiten zu den standardisierten Lösungen werden auch innovative Weiterentwicklungen vorangetrieben, z.B. Profilloptimierungen. Dazu werden sowohl leistungsfähige FEM-Software-Pakete in Verbindung mit Optimierungstools als auch Mehrkörpersimulationsprogramme eingesetzt. Letztere sind besonders wichtig für die Betrachtung der dynamischen Systemeigenschaften im gesamten Antriebsstrang. Ergänzt werden diese Vorgehensweisen durch experimentelle Untersuchungen die durch die umfangreiche messtechnische Ausstattung und die große Anzahl von Prüfständen effektiv durchgeführt werden können.

5 Literatur

- /1/ DIN 743 – Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen – Teil 1: Einführung, Grundlagen; Teil 2: Formzahlen und Kerbwirkungszahlen und Teil 3: Werkstoff-Festigkeitswerte. Berlin: Beuth-Verlag, 2000
- /2/ DIN 5466 – Tragfähigkeitberechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen - Teil 1: Grundlagen. Berlin: Beuth-Verlag, 2000; Teil 2: Zahnwellen-Verbindungen nach DIN 5480. Berlin: Beuth-Verlag, 2002
- /3/ DIN 5480 – Zahnwellen-Verbindungen mit Evolventenflanken. Berlin: Beuth-Verlag, März 2006
- /4/ Dietz, P.; Garzke, M.: Zahnwellengestaltfestigkeit. IMW; Abschlußbericht DFG DI 289/9-2; IMW, TU Clausthal 1998
- /5/ Dietz, P.; Wächter, M.: Neue Zahnwellen-Verbindungen auf der Basis von Kreisbogen-Grundprofilen mit verbessertem Trag- und Zentrierverhalten. Abschlußbericht DFG DI 289/32-1; IMW, TU Clausthal 2008

Konstruktion und Berechnung von
Maschinenelementen



Konstruktionsmethodik und
rechnerunterstützte Produktentwicklung



Systementwicklung, Versuchstechnik
und Maschinenakustik



Lehre und Institutsbetrieb



Hochschule und Kontakte



Das DIN-Merkmallexikon oder warum die Industrie genormte Merkmale benötigt.

Miehe, A.

Das DIN-Merkmallexikon ist eine branchenübergreifende Online Produktmerkmal-Datenbank. Die Verwendung genormter Merkmale reduziert die Komplexität von Geschäftsprozessen und erschließt der Wirtschaft neue Rationalisierungspotentiale.



The DIN Properties Dictionary is an online database of standardized properties that is not limited to any specific business. The use of standardized properties reduces the complexity of business processes, offering the industry new potentials for improving productivity.

1 DIN-Merkmallexikon – Was ist das?

Wer wissen möchte, was das DIN-Merkmallexikon ist, der wird nach Eingabe dieses Begriffes in einer Suchmaschine die Webseite www.dinsmil.net finden. Dort heißt es: „Das DIN Merkmallexikon ist eine branchenübergreifende Produktmerkmal-Datenbank mit dem Ziel genormte Merkmale zur Verfügung zu stellen. ... Handel, Industrie und Verbände erarbeiten in einer Online-Datenbank gemeinsam im NSM genormte Merkmale nach DIN 4002-100 sowie Anwendungsklassen nach DIN 4002-101 und stellen diese in einer online-Datenbank zur Verfügung. Diese Merkmale und Anwendungsklassen können im gesamten Produktlebenszyklus durchgängig verwendet werden. /5/“ Als Vorteile werden genannt:

- Verkürzung der Entwicklungszeiten
- Steigerung der Qualität der zu entwickelnden Produkte
- Kostenreduktion durch herstellerübergreifende Vergleichbarkeit von Produktinformationen
- Grundlagen für die Implementierung neuer Vertriebskanäle
- Unterstützung bei kooperativen Entwicklungsprozessen
- Marktvorsprung durch direkten, umfassenden und globalen Marktzugang
- Keine neue Datenaufbereitung für verschiedene Kunden

2 Standards für Merkmale

„Ein Merkmal ist eine bestimmte Eigenschaft, die zum Beschreiben und Unterscheiden von Gegenständen einer Gegenstandsgruppe oder von Gegenstandsgruppen untereinander dient.“, so die DIN 6763 /3/. Klassifizierungen verwenden Merkmale, um Klassen voneinander abzugrenzen. In Normschriften werden z.B. geometrische Eigenschaften als Merkmal beschrieben. Sind Merkmale damit ebenfalls genormt?

Die klare Antwort ist nein, da die Definition von Merkmalen bisher im Kontext von Produktnormen oder Klassifizierungen geschieht und damit nicht über dessen Grenzen hinaus Gültigkeit besitzt. Die im DIN-Merkmallexikon definierten Merkmale sind dagegen allgemeingültig. **Abbildung 1** zeigt ein Beispiel für die Darstellung im DIN-Merkmallexikon.

Merkmal 	
Bevorzugte Benennung	Bolzendurchmesser
Kennung	DIN-AAB081-003
Abstraktes Merkmal	Nein
Status	60.60 - zur Anwendung freigegeben
Definition	Nennmaß für die Ausdehnung eines kreisrunden Körpers in radialer Richtung
Quelle der Definition	
Kurzbezeichnung	Durchmesser
Synonyme	(1) Wellendurchmesser
Schlagwörter	(1) Nennmaß
Einheit	mm
Bevorzugtes Symbol	A3
Anmerkung	
Ersatzsymbol	
Merkmaldatentyp	Real
Merkmalart	unabhängig
ICS Klassifikation	(1) 21.060.60
Kodierung der Typklasse	-
Geltungsbereich	mechanisches Verbindungselement (DIN-AAA160-002)

Abbildung 1: Eintrag im DIN-Merkmallexikon für Bolzendurchmesser /1/

3 Vorteile durch genormte Merkmale

Die Verwendung von Merkmalen aus dem DIN-Merkmallexikon hat mehrere ganz konkrete Vorteile:

- Das DIN bürgt für die Qualität der Definition und stellt die dauerhafte Nutzbarkeit sicher.
- Produkte können anhand ihrer Merkmale automatisiert miteinander verglichen werden.
- Produkte können über mehrere Klassifizierungssysteme oder Kataloge hinweg direkt anhand ihrer (genormten) Merkmale gesucht werden.

- Anhand ihrer Merkmale können Produkte automatisiert klassifiziert werden.
- Missverständnisse über die Beschaffenheit von Produkten sind bei Verwendung genormter Merkmale weitestgehend minimiert.
- Die Harmonisierung von Datenbeständen über Firmengrenzen hinweg wird deutlich vereinfacht.
- Zu einem Merkmal kann die Definition in mehreren Sprachen verwaltet werden. Dies vermeidet Missverständnisse bei internationaler Verwendung von Merkmalen.

Angesichts dieser Vorteile erscheint der Einsatz von genormten Merkmalen aus wirtschaftlicher Sicht dringend erforderlich. Doch wie steht es aktuell um das DIN-Merkmallexikon?

4 DIN-Merkmallexikon – Aktueller Stand und Ausblick

Stand 20.10.2008 befinden sich 5135 Merkmale im DIN-Merkmallexikon. 428 Merkmale sind zur Nutzung freigegeben, bei 46 ist das Normverfahren eingestellt. Die anderen Merkmale sind in früheren Bearbeitungsstufen, 3412 haben den Status „Eingang des Antrags bestätigt“ /2/. Dies bedeutet, dass nur 7,7% der Merkmale im DIN-Merkmallexikon den Normungsprozess vollständig bis zum Ende durchlaufen haben. Berücksichtigt man, dass das DIN-Merkmallexikon bereits 2002 implementiert wurde und 2003 in den Pilotbetrieb ging /4/, dann stellt sich die Frage, warum so viele Merkmale noch nicht bearbeitet sind bzw. ob das Konzept des DIN-Merkmallexikons den Marktanforderungen entspricht.

Tatsächlich hat das DIN-Merkmallexikon mit einem Henne-Ei Problem zu kämpfen. Die Wirtschaft hat erhebliche Summen in Themen wie Klassifizierung, Stammdatenverwaltung und elektronische Marktplätze investiert. Eine Umstellung auf genormte Merkmale des DIN-Merkmallexikons würde hohe Investitionen erfordern – eine Entscheidung die sicher nur dann gefällt würde, wenn man sich des Erfolges gewiss wäre.

Mit den 428 im DIN-Merkmallexikon zur Nutzung freigegebenen Merkmalen wird man aber kaum von einer am Markt etablierten Lösung sprechen können. Die hohe Zahl an unbearbeiteten Merkmalen deutet vielmehr darauf hin, dass das DIN ein massives Kapazitätsproblem bei der Bearbeitung hat. Experten gehen davon aus, dass etwa 30.000 freigegebene Merkmale erforderlich sind, um die kritische Masse zu erreichen und sich so erfolgreich am Markt etablieren zu können. Doch woher soll das Geld für diese Tätigkeiten kommen wenn die Industrie noch nicht an den Erfolg glaubt und die Eigenmittel des DIN bei weitem nicht ausreichen?

Die Hoffnung für die Lösung dieser Herausforderung liegt in einem Antrag beim Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), im Zuge dessen in den nächsten drei Jahren das DIN-Merkmallexikon auf die angesprochenen 30.000 Merkmale ausgebaut werden soll. Das Institut für Maschinenwesen (IMW) der TU Clausthal plant diesen Ausbau durch konzeptionelle und wissenschaftliche Tätigkeiten unterstützen.

5 Zusammenfassung

Das DIN-Merkmallexikon ist eine branchenübergreifende Merkmal-Datenbank. Die Verwendung genormter Merkmale stellt eine eindeutige und unmissverständliche Kommunikation sicher und reduziert auf diese Weise die Komplexität vieler Geschäftsprozesse. Den Durchbruch am Markt hat das DIN-Merkmallexikon jedoch noch nicht geschafft, da die Datenbank zu wenige Merkmale aufweist. Im Rahmen eines BMWi-Projektes soll das DIN-Merkmallexikon auf 30.000 Merkmale ausgebaut werden.

6 Literatur

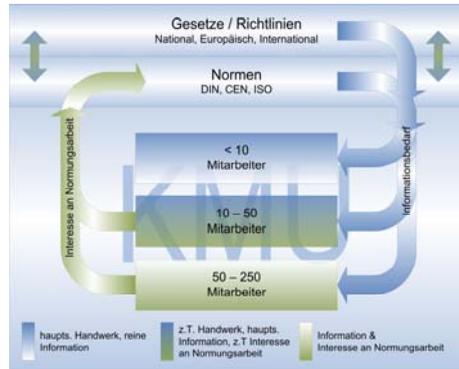
- /1/ DIN Merkmallexikon: Bolzendurchmesser.
[http://www.dinsml.net/portal/entityInfo.seam?lang=en&type=property&scv=DIN-AAB081-003&contentLang=de&cid=9780&actionMethod=propertyList.xhtml%3AentityInfo.viewEntity\(\)](http://www.dinsml.net/portal/entityInfo.seam?lang=en&type=property&scv=DIN-AAB081-003&contentLang=de&cid=9780&actionMethod=propertyList.xhtml%3AentityInfo.viewEntity()). Abruf 20.11.2008
- /2/ DIN Merkmallexikon: Statistik DIN NSM.
http://www.dinsml.net/opencms/opencms/eptos/statistics.jsp?_locale=de. Abruf 22.10.2008
- /3/ Norm DIN 6763: Nummerung; Grundbegriffe. 1985-12-00.
<http://www.perinorm.com/pol/detail.php?ac=DE18505247&listindex=1>. Abruf 24.9.2008
- /4/ Pohn, Reinhard: Reducing Complexity in business processes. In: ISO Focus, April 2008, S. 18 - 20,
http://www.iso.org/iso/magazines/iso-focus-index/previous_issue/iso-focus_2008/iso-focus_2008-04.htm.
Abruf 21.10.2008
- /5/ Was ist das DIN Merkmallexikon?
http://www.dinsml.net/opencms/opencms/index_de.html.
Abruf 17.11.2008

Einbindung von kleinen und mittleren Unternehmen in Normungsprozesse

Bessling, S. ; Bormann, E.

Durch das IMW wird untersucht, wie kleine und mittlere Unternehmen (KMU) besser an Normen und Normung herangeführt werden können. Dies ist ein

Projekt im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technik (BMWi) unterstützten Initiative „Innovation mit Normen und Standards (INS)“, des Deutschen Instituts für Normung e.V. (DIN).



The IMW investigates how small and medium enterprises can be brought close to standards and standardization. This is a project within the initiative “Innovation through Norms and Standards” which is supported by the Federal Ministry for Economics and Technology (BMWi). This initiative is managed by the German Institute for Standardization (DIN).

1 Einbindung von KMU in Normungsprozesse

Durch schnelle Innovationen ist die Kernaufgabe der Normung in den letzten Jahren deutlich erweitert worden. Insbesondere im Hinblick auf die fortschreitende Globalisierung der Märkte können Normen den Marktzugang innovativer Produkte fördern und sichern. Die positiven Impulse für den Transfer von Wissen zum Markt durch rechtzeitige Normung und Standardisierung sollten daher genutzt werden /1/.

Die Untersuchung „Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards“, die 2006 und 2007 im Rahmen der Initiative „Innovation mit Normen und Standards“ (INS) vom Institut für Maschinenwesen (IMW) der TU Clausthal durchgeführt wurde /2/,/3/ hat gezeigt, dass Großunternehmen im Allgemeinen einen Innovationsvorsprung gegenüber klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) haben, da sie neue Normen eher begleiten und anwenden und somit das Potenzial das die Normung bietet besser ausnutzen. Dieser Innovationsvorsprung erleichtert den Marktzugang. Zusätzlich werden von den Unternehmen Normen zur Marktvorbereitung genutzt, eine Nichtteilnahme an der nationalen Gremienarbeit

und der internationalen Normung kann somit zu Marktnachteilen führen.

Bei klein- und mittelständischen Unternehmen (10-250 Mitarbeiter) führt häufig fehlendes Bewusstsein über den Nutzen der Normung dazu, dass mögliche Vorteile, die die Normung bietet, nicht ausgeschöpft werden können. Informationsmangel über Normung und Normungsaktivitäten führen im schlimmsten Fall dazu, dass der Zugang zum Markt eingeschränkt oder verhindert wird. Über das fehlende Bewusstsein hinaus hindern fehlende personelle und finanzielle Kapazitäten die KMU daran, die Normungsaktivitäten dauerhaft zu beobachten oder sich gar aktiv daran zu beteiligen.

Diese Problematik ist bei Mikrounternehmen (<10 Mitarbeiter), wie sie häufig im Handwerk zu finden sind, noch gravierender. Hier ist häufig schon die Information darüber, wo aktuelle Normen zu beziehen sind und wie deren Aktualität sichergestellt werden kann, nicht vorhanden.

Aufgrund dieser Thematik soll es das Ziel dieses zweijährigen Projektes sein das Bewusstsein für die Normung zu wecken, den KMU, insbesondere den Mikrounternehmen, Informationen über den Normungsprozess in geeigneter Weise zugänglich zu machen und sie im Bereich der Normungsarbeit zu unterstützen.

1.1 Marktzugang und Marktzulassung 2006/2007

In der 2006 und 2007 vom IMW durchgeführten Untersuchung „Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards“ sind durch Recherchen, Gesprächen und eine Industriebefragung verschiedene Bereiche durchleuchtet worden, die den Umgang von Normen und Standards in der Industrie betreffen.

So wurden beispielsweise Aussagen, die von Gesprächspartnern am Anfang der Studie getroffen wurden, durch die Umfrage direkt hinterfragt. Die Teilnehmer sollten angeben, ob die Aussagen ihrer Meinung nach zutreffen („ja“) oder nicht („nein“), oder ob sie sich unsicher sind („weiß nicht“). In **Bild 1** ist eine Auswertung nach der Abteilung, aus der der Befragte stammt, und eine zweite nach Unternehmensgröße dargestellt.

Dem ist zu entnehmen, dass die Bewertung der Aussagen sich teilweise deutlich unterscheidet. Beispielsweise wird von großen Unternehmen ein positiver Einfluss von Normen auf Ausschreibungen bestätigt, wohingegen kleine Unternehmen dem nicht unbedingt zustimmen können. Der Vertrieb sieht den Einfluss von Normen auf Ausschreibungen nicht ganz so positiv wie die übrigen Abteilungen. Mit Ausnahme der kleinen Unternehmen sehen mehr als 50% der Befragten jeder Kategorie einen Schutz durch Normen bei Haftungs-

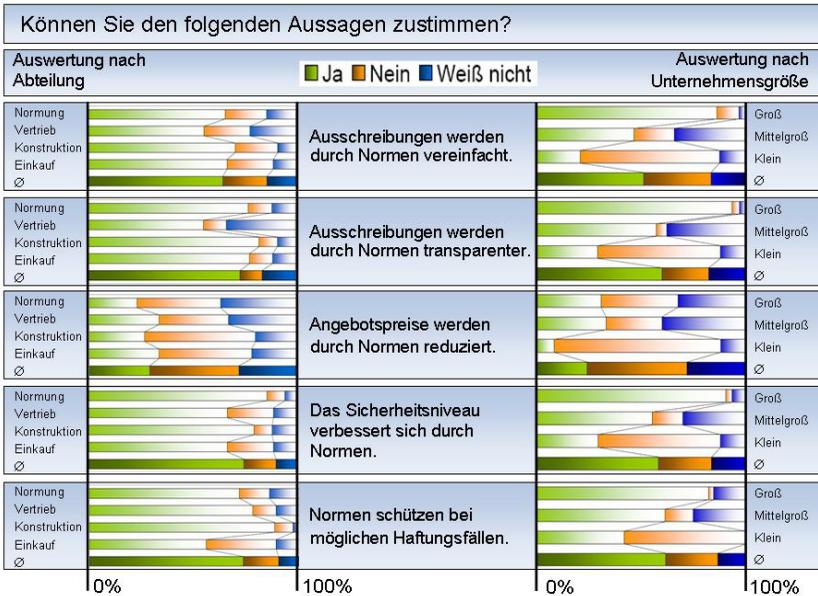


Bild 1 Hinterfragung von Aussagen aus Gesprächen (Auszug)

fällen. Auffällig ist auch die Einschätzung des Einflusses von Normen auf das Sicherheitsniveau. Ein sehr großer Anteil großer Unternehmen sieht hier eine Verbesserung durch Normen, wohingegen die Mehrheit der kleinen Unternehmen dem skeptisch gegenübersteht.

Die negativere Einschätzung des Einflusses von Normen durch kleine Unternehmen, die hier insbesondere bei Haftungsfällen und beim Sicherheitsniveau deutlich wird, ist möglicherweise durch fehlendes Wissen bezüglich der Rechtslage zu erklären.

In einer weiteren Frage des Fragebogens wurde die Verbreitung genormter Managementsysteme, wie das Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9000, 9001 ff., ermittelt. Sämtliche Unternehmen mit mehr als 2000 Mitarbeitern gaben an, ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9000, 9001 ff. zu haben. Von den übrigen großen Unternehmen haben 92%, von den mittelgroßen 83% und von den kleinen Unternehmen 60% ein solches System (vgl.

Bild 2). Das Qualitätsmanagementsystem wurde mehrheitlich freiwillig eingeführt (kleine Unternehmen 67%, mittelgroße Unternehmen 90%, große Unternehmen 68%, sehr große Unternehmen 83%).

Von anderen genormten Managementsystemen ist das Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001 bei sehr großen Unternehmen mit über 70%, aber auch z.T. bei großen und mittelgroßen Unternehmen noch verbreitet.

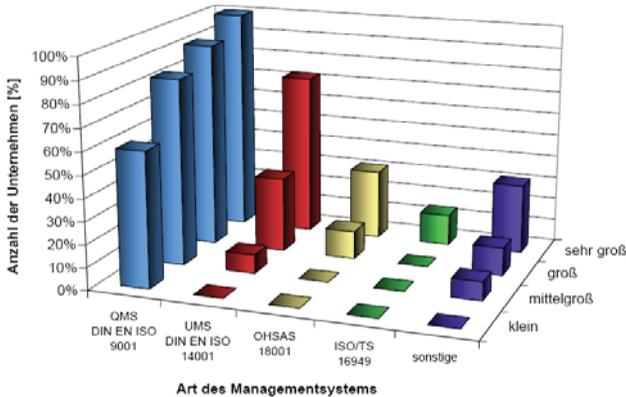


Bild 2 Managementsysteme

Ein Arbeitsmanagementsystem nach OHSAS 18001 und ISO/TS 16949, das QMS der Automobilindustrie haben nur wenige große und sehr große Unternehmen.

Darüber hinaus wurden weitere Themen wie z.B. Normenaktualität und Normenverwaltung, Beratung in Normenfragen sowie Zulassungsbestimmungen für die

Produkte der Unternehmen behandelt.

Als ein Ergebnis des Projektes sind Handlungsempfehlungen für Politik, Industrie, Verbände und Regelsetzer erarbeitet worden. Diese sind abgeleitet aus den Vorschlägen der Teilnehmer der im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Umfrage, aus geführten Gesprächen, Literatur sowie weiteren Erkenntnissen, die im Verlauf der Studie erlangt wurden. Inhalt dieser Empfehlungen sind u.a. verschiedene Maßnahmen zur Schulung und Information von Unternehmen oder solche, die darauf abzielen, das Interesse an der Normung zu erhöhen, sowie eine aktivere Mitarbeit in der Normung gerade seitens kleiner Unternehmen zu erreichen. /4/

1.2 Aufgaben und Zielsetzungen des neuen Projektes

Eine Aufgabe des neuen Projektes „Einbindung von KMU in Normungsprozesse“ ist es, die Umsetzbarkeit dieser Empfehlungen zu prüfen. Es sollen danach geeignete Konzepte erarbeitet werden, den Informationsbedarf der KMU im Bezug auf Normung zu decken, sowie die Unternehmen in die Normungsaktivitäten einzubinden. Im weiteren Verlauf des Projekts sind Ansätze auszuwählen, anhand eines Testbetriebs zu evaluieren und auszuwerten.

Es ist dabei zu ermitteln

- wo der Informationsbedarfs der KMU liegt und wie dieser gedeckt werden kann
- wo und in welcher Form Informationsmaterial bereitgestellt werden sollte

- wie die Interessenvertretung der KMU in Normungsgremien realisiert werden kann.

Zudem sind die Möglichkeiten der Aus- und Weiterbildung sowie mögliche Anreizsysteme zu untersuchen. Das Erstellen von dafür notwendigem Informationsmaterial ist ebenfalls Teil des Projektes.

Bild 3 stellt den Ablauf des Projekts dar.

Da gerade aus dem Handwerk viele kleinere Betriebe kommen, wurde die Sicht des Handwerks besser mit einbezogen zu können, für das Projekt ein Partner gesucht, der sich im Bereich Normen und Handwerk große Erfahrungen angeeignet hat. Die Durchführung des Projektes geschieht aus diesem Grunde in Zusammenarbeit mit dem Heinz-Piest-Institut für Handwerks-technik (HPI) an der Leibniz Universität Hannover. /5/

Um einen Überblick zu bekommen welche Maßnahmen zur Förderung von KMU sinnvoll sind, wurde in einem ersten Schritt untersucht, welche Projekte es schon gibt und gab und wie diese akzeptiert wurden und bekannt sind.

Zudem wird geschaut welche aktuellen Entwicklungen es zur Förderung von KMU gibt. Darauf aufbauend wurde eine Reihe von Arbeiten gestartet:

- Umfrage zu Akzeptanz der Handlungsempfehlungen in Industrie und Handwerk
- Überprüfung der Handlungsempfehlungen auf Realisierung und Nutzen
- Untersuchung Nutzung von Normenauslegestellen und Buchdepots
- Untersuchung möglicher Medien zur Informationsverbreitung
- Untersuchung welche Verbände welche Branchen erreichen
- Informationsveranstaltungen
- Untersuchung europäische Projekte zu Unterstützung von KMU im Bereich Normen und Normung
- Problemfeld Prüf- und Gütezeichen

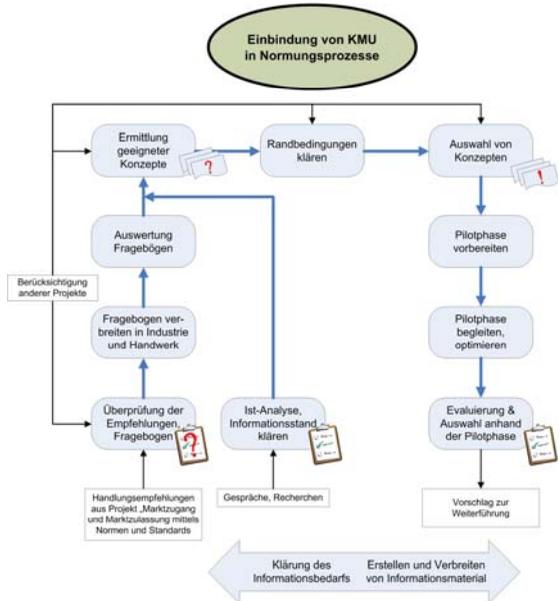


Bild 3 Ablauf des Projekts

1.2.1 Umfrage zu Handlungsempfehlungen

Um die Akzeptanz der Handlungsempfehlungen zu prüfen ist ein Fragebogen erstellt worden, der 28 Punkte abfragt. Die einzelnen Punkte beziehen sich auf die Empfehlungen, zusätzlich wurden noch einige zusätzliche Fragen hinzugekommen, die die Beschaffungswege für Normen und die Kosten dafür in den Betrieben betreffen.

Der Fragebogen wird im Moment über verschiedene Verbände und Kammern an eine möglichst breite Anzahl von Handwerksbetrieben und Industrieunternehmen verbreitet. Die Fragebogenaktion wurde Mitte Oktober ausgewertet, wird aber noch weiter fortgeführt.

Bis jetzt sind knapp 400 Fragebögen ausgewertet worden, es wird differenziert nach Industrie und Handwerk sowie verschiedenen Unternehmensgrößen.

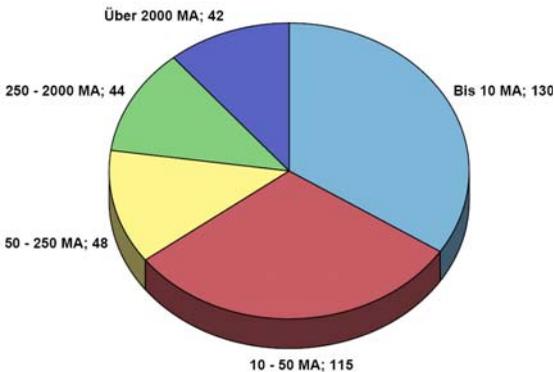


Bild 4 Unternehmensgrößen der Teilnehmer

Bild 4 zeigt, dass sowohl KMU als auch größere Unternehmen sich recht gleichmäßig an der Umfrage beteiligen.

Zwischen Handwerk und Industrie und auch bei den unterschiedlichen Unternehmensgrößen, gibt es eine Reihe Übereinstimmungen aber auch in einigen Fragen große Unterschiede. In **Bild 5** ist z.B. nach der Bekanntheit von Normenauslegestellen gefragt worden.

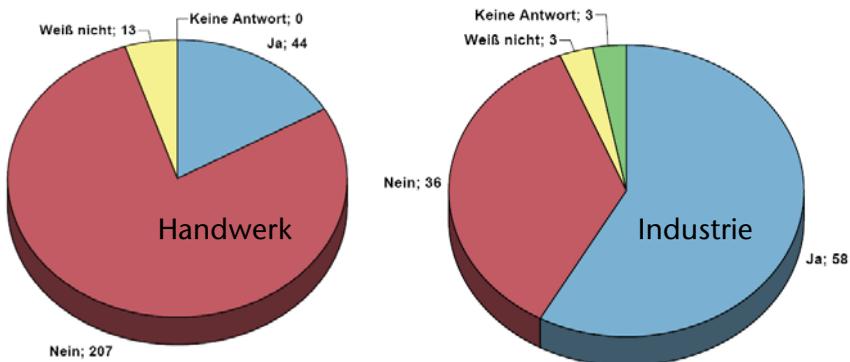


Bild 5 Frage: Kennen Sie die Normenauslegestellen des DIN, bei denen der gesamte Bestand der DIN-Normen eingesehen werden kann?

Einheitlich positiv sind dagegen z.B. die Antworten auf die mögliche Nutzung von Internetforen, **Bild 6** und bei der Frage ob bessere Kurzbeschreibungen von Normen helfen würden Fehlkäufe zu vermeiden, **Bild 7**.

Auch wird sich allgemein gewünscht, dass Berufsanfänger mehr über Normen und Normung wissen. Hier wird als Maßnahme eine Tagung geplant um in der Ausbildung Verbesserungen zu erreichen. Mehr dazu findet sich im Artikel „Tagung „Normung und Hochschule““.

2 Ausblick

Auch auf Basis der Handlungsempfehlungen der IMW Projekte von 2006 und 2007 werden aktuell eine Reihe von Maßnahmen und Projekten unternommen um kleinen und mittleren Unternehmen besser zu fördern.

So wird z.B. in einem anderen INS-Projekt die „Anwendergerechte Aufbereitung von Norminhalten“ untersucht. Auch das BMWi /6/ und der Beuth Verlag des DIN /7/, /8/ bieten Veranstaltungen und neue Angebote für KMU.

Um hier Doppelarbeit zu vermeiden wird sich das IMW mit diesen laufenden Projekten abstimmen. Auch wird weiterhin mit dem Projektpartner HPI eng zusammengearbeitet.

Soweit sie nicht schon in anderen laufenden Projekten verwirklicht werden, will das IMW die Handlungsempfehlungen umsetzen, dazu werden Gespräche mit Verbänden, Handwerkskammern, dem DIN, dem Beuth Verlag und u.a. geführt werden.

Durch das HPI werden aktuell schon Schulungen für Berater im Handwerk zu Normen und Normung geplant. Inwieweit andere Berater aus Verbänden etc. geschult werden sollten wird noch betrachtet werden.



Bild 6 Frage: Würden Sie Internetforen nutzen bei denen Experten auf Fragen zu Normen und Normung antworten?

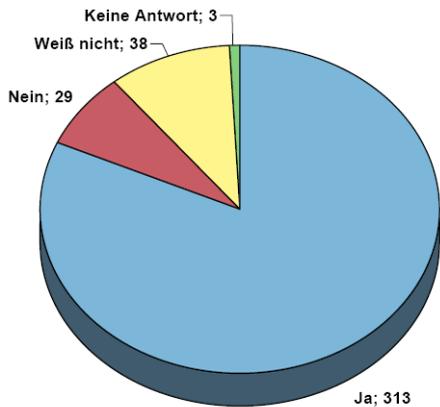


Bild 7 Frage: Würden Ihnen bessere Kurzbeschreibungen (Zusammenfassungen) von Normen helfen, Fehlkäufe zu vermeiden?

3 Literatur

- /1/ N, N.: Innovation mit Normen und Standards (INS), Aufgabengebiet; <http://www.ins.din.de>
- /2/ Bormann, E.; Kramer, W.; Müller, N.: Innovation mit Normen und Standards, Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards; Institutsmitteilung Nr. 31, IMW Clausthal 2006
- /3/ Kramer, W.; Bormann, E.: Innovation mit Normen und Standards; Institutsmitteilung Nr. 32, IMW Clausthal 2007
- /4/ Müller, N.; Bormann, B.; Kramer, W.: Bericht zum Projekt Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards, IMW Clausthal 2007
- /5/ Homepage des Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik an der Leibniz Universität Hannover;
<http://www.hpi-hannover.de>
- /6/ BMWi Mittelstandskonferenz „Erfolgsfaktor Normung“; Berlin 2008
- /7/ DIN Forum zum normgerechten Geschäftsbrief;
<http://www.forum.din.de/>
- /8/ Microsite des Beuth Verlages zu EG-Richtlinien
<http://www.eg-richtlinien-online.de/>

Optimierte Metallpulvermischungen für das Selektive Lasersintern von Entlüftungsstrukturen bei Spritzgusswerkzeugen

Siemann, E.

Im Rahmen eines EFRE-Forschungsprojektes konnte mit der Firma Wilhelm Eisenhuth GmbH KG gezeigt werden, dass das Fertigungsverfahren des Selektiven Lasersinterns (SLS), Möglichkeiten bietet geeignete Entlüftungsstrukturen für den Formenbau zu generieren. Durch Variation der beim Bauprozess benutzten Sinterparameter ist es möglich, Entlüftungsstrukturen mit definierter Porosität herzustellen. Die damit einhergehenden Festigkeitseinbußen sollen durch eine Optimierung der Metallpulvermischungen ausgeglichen werden.



In collaboration with Wilhelm Eisenhuth GmbH KG the Institute of Mechanical Engineering optimized some metal powder for the SLS technology.

1 Einleitung

Durch die Anwendung der SLS-Technologie kann eine direkte Einbindung oder ein Einsetzen eines Entlüftungsstopfens in ein Spritzgusswerkzeug erfolgen und so die Herstellung einer komplexen Werkzeugform erheblich vereinfachen. Dies führt dazu, dass mehrere Arbeitsschritte vereint werden und Zeit bis zum fertigen Spritzgussbauteil eingespart werden kann.

Die Vorteile einer Entlüftung des Werkzeuges durch SLS-Strukturen sind:

- direkte Integration in die Form
- hohe Oberflächenqualitäten
- preiswerte Fertigung durch Vereinfachung der Arbeitsschritte
- optimale Anpassung der Entlüftungen an kritische Stellen
- erhöhte Taktrate/ Stückzahl durch verbesserte Entlüftung

Im Verlauf des Projektes zeigten sich aber auch die Nachteile, die durch ein Generieren der Werkzeuge durch SLS entstehen. Die Bauweise in Schichten und die geringe Baumaterialauswahl führten zu geringeren Standzeiten der Form oder der Entlüftung, gegenüber konventionell hergestellten Bauteilen.

Um diesen Aspekt zu verbessern, wurden Versuche mit Pulvermischungen aus Metall- und Keramikpulvern durchgeführt.

2 Materialauswahl

Um eine Verbesserung der Materialeigenschaften zu bewirken, muss zuerst eine Materialauswahl getroffen werden. Hierbei bieten sich Strukturen aus Stahl und Keramik-Pulverkombinationen an. Diese haben den Vorteil, dass die Entlüftungselemente durch die unterschiedlichen Anteile über Säurebeständigkeit, eine höhere Härte und Verschleißbeständigkeit verfügen. Neben der Laserleistung spielt hierbei die Wellenlänge des CO₂-Lasers eine nicht unerhebliche Rolle, da diese in Abhängigkeit von den Absorptionsraten der Werkstoffe die eingetragene Energie bestimmt. Die Eignung des vorhandenen Lasers zum Sintern von Werkstoffen zeigt **Bild 1**, in dem die Absorptionsgrade von Metallen und Keramiken (Isolatoren) in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Laserlichts aufgetragen sind.

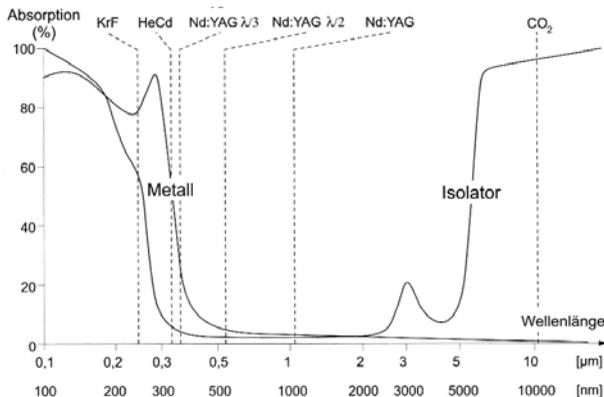


Bild 1: Absorptionsgrade in Abhängigkeit der Wellenlänge /1/

Für unseren CO₂-Laser mit einer Wellenlänge von 10,6 µm und einer Laserleistung von 200 Watt ergibt sich daraus, dass nichts gegen das Sintern von höher legierten Stahl oder Keramiken spricht. Es sollten

ausreichend hohe Schmelzbadtemperaturen erzeugbar sein, um eine große Palette an Werkstoffen verarbeiten zu können (vgl. /2/).

Für die Versuche wurden den Standard Sinterpulvern unter anderem Bestandteile von Chrom, Molybdän, Wolframcarbid, Chromcarbid, Zirconiumoxid, Titanoxid, Aluminium-Titanoxid, Siliziumoxid und Yttriumoxid beigemischt. Die Anteile reichen von wenigen Volumenprozenten bis zu reinen Fremdpulvern.

2.1 Ablauf der Versuche und Probenerstellung

Ziel der Versuche ist es, mit Hilfe der Variation von Anlagenparametern und Belichtungsstrategien, ein Versintern der Pulvermischungen zu erzielen und so eine automatische Generierung von Bauteilen mit angepassten Baumaterialien für den jeweiligen Anwendungszweck zu gewährleisten. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Energieeinträge in die Proben werden an Hand des folgenden Ablaufplanes (siehe **Bild 2**) dokumentiert und verglichen.

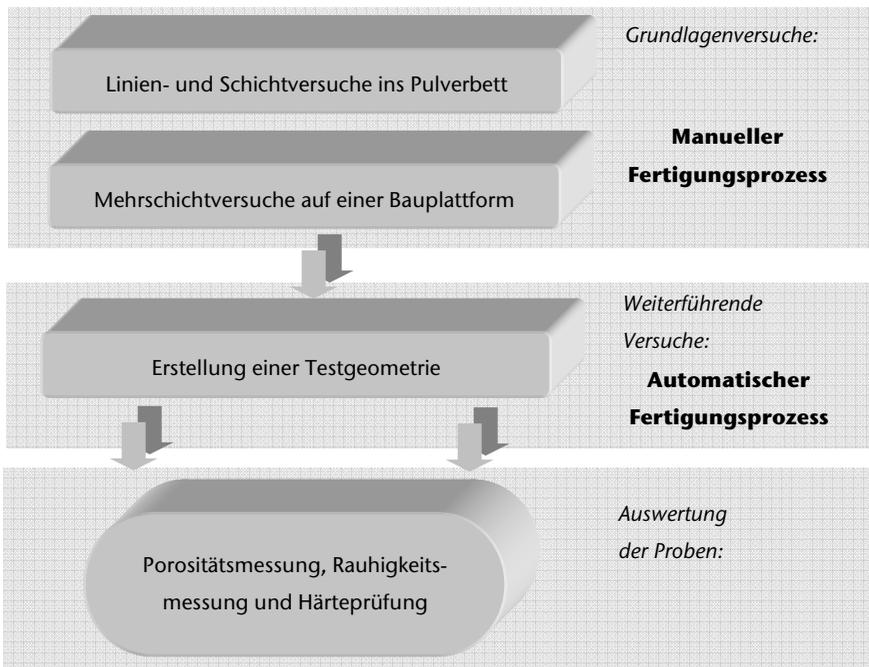


Bild 2: Systematischer Ablauf der Versuche

Im ersten Schritt der Versuchsreihen werden die grundlegenden Wechselmechanismen zwischen eingetragener Energie und Schmelzbadverhalten untersucht. Hierzu werden zunächst einzelne Linien und Schichten, mit verschiedener Lasergeschwindigkeit, in ein Pulverbett belichtet (siehe **Bild 3**) und ihre Schmelzbadausbildung beurteilt.



Bild 3: Linien- und Schichtversuche

Der zweite Schritt in den Grundlagenversuchen stellt die Erstellung von mehreren Schichten auf einer Bauplattform dar. Hierbei werden die aus den Linien- und Schichtversuchen erlangten Ergebnisse überprüft und um weitere Parameter ergänzt. Bei der Probengenerierung kann es hierbei zu Sinterfehlern, wie in **Bild 4** dargestellt, kommen. Einwandfreie Proben werden einer ersten Härteprüfung unterzogen und stellen so eine Referenz für spätere Versuchsergebnisse dar.

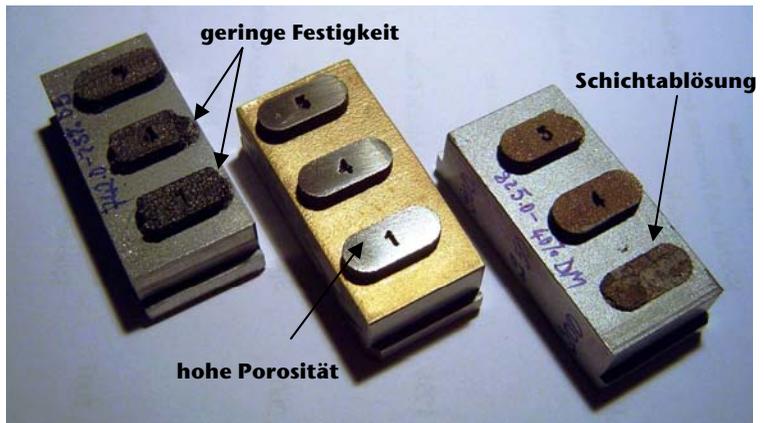


Bild 4: Mehrschichtversuche

Der letzte Schritt der Versuche ist die automatische Fertigung einer Testgeometrie für die anschließende Analyse der Eigenschaften.



Bild 5: Testgeometrie für Rauigkeitsmessung und Härteprüfung

Mittels dieser Geometrie können Rauigkeitswerte, Mikrohärtigkeit und mit einer anschließenden Gefügeuntersuchung, Porositätswerte der Proben ermittelt werden.

3 Ergebnisse der Versuche

Der große Umfang der Versuchsreihen, angefangen bei den unterschiedlichen Metall- und Keramikgrundpulvern, den Beimischungsanteilen, bis hin zu der Vielzahl von Sinterparametern ergab eine Fülle an Messwerten.

Es zeigte sich, dass die Lasergeschwindigkeit, die bei der Belichtung der Bauteilgeometrie eingestellt wird, den größten Einfluss (neben anderen Parametern) auf das spätere Sinterergebnis hat. Bei den Pulvermischungen konnte ein Gemisch aus dem Standard EOS DirectSteel Baumaterial und Wolframcarbid, Molybdän und Chrom mit einer durchschnittlichen Partikelgröße von 21 μm die besten Bauteileigenschaften erzeugen. Die Porositätswerte und Rauigkeitswerte lagen bei den Proben zwar noch etwas über den Standardwerten, aber es konnte eine Steigerung der Härte von EOS DirectSteel ca. 200HV auf ca. 430HV bewirkt werden.

Die Untersuchungen der Keramikpulvermischungen zeigten, dass feste Strukturen herstellbar sind. Leider wiesen die Proben bis zum jetzigen Zeitpunkt vermehrt Sinterfehler auf. Dies zeigte sich in einer verringerten Festigkeit oder in Ablöseerscheinungen. Härtewerte konnten im Bereich von 370HV gemessen werden. Eine weitere

Anpassung der Sinterparameter und eine gezielte Scanstrategie sollte aber eine Verbesserung der Porosität und Rauigkeit bewirken. Alle benutzten Pulvermischungen konnten über die Sinterparameter in Ihren Eigenschaften variiert werden und ermöglichen so einen Einsatz im Werkzeugbau als Formbaumaterial oder als Entlüftungstopfen.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen der Kooperation konnten unterschiedliche Metall- und Keramikpulvermischungen für die Generierung von Formen oder Entlüftungsstrukturen erstellt und deren Eigenschaften überprüft werden.

Hierbei war es möglich, unterschiedliche Materialkennwerte zu verändern und somit die Eigenschaften der SLS-Materialien dem jeweiligen Anwendungsfall optimal anzupassen.

Während des Forschungsprojektes sind unter anderem mehrere Fachartikel und ein Patent „DE 10 2006 013912 A1 2007.09.27“ veröffentlicht worden. Das vorgestellte Projekt wurde gefördert vom Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE).

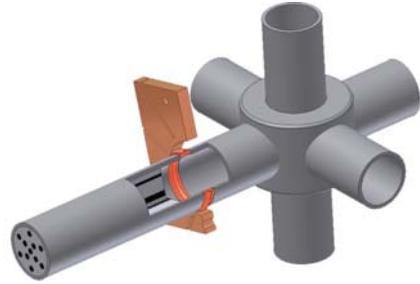


5 Literatur- und Quellenverzeichnis

- /1/ Gebhardt, A.: Rapid Prototyping – Werkzeuge für die schnelle Produktentstehung, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2000
- /2/ Trenke, D.; Dissertation: Selektives Lasersintern von porösen Entlüftungsstrukturen am Beispiel des Formenbaus, Papierflieger Clausthal-Zellerfeld 2006

Finite Elemente Design

Bessling, S., Echtermeyer, P. (ISAF),
Korte, T.



In Zusammenarbeit mit der Leibniz Universität Hannover wird an der TU Clausthal der Sonderforschungsbereich 675 „Erzeugung hochfester metallischer Strukturen durch gezieltes Einstellen lokaler Eigenschaften“ bearbeitet. Ziel dieses SFB ist die Erzeugung gradiertener Bauteileigenschaften durch innovative Fertigungsverfahren. Das IMW bearbeitet zusammen mit dem Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren (ISAF) ein Teilprojekt. In diesem Projekt wird ein neues konstruktionsmethodisches Vorgehen entwickelt, das zu innovativen Bauteilen führt, die das Potenzial lokaler Eigenschaftsoptimierungen optimal ausnutzen.

The TU Clausthal works in collaboration with the Leibniz University Hannover on the special research field (SFB) 675 „Creation of high strength metallic structures by specific altering of local properties“. Its aim is the generation of staged part properties by innovative assembly technologies. The IMW works together with the Institute of Welding and Machining (ISAF) on a subproject. In this project a new methodical procedure for construction is developed which leads to innovative parts which use the potential of local optimised features.

1 Sonderforschungsbereich 675

Metallische Strukturen unterliegen verschiedenen anwendungsspezifischen Beanspruchungsprofilen, die zunehmend komplexer werden. Dadurch steigen auch die Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften. Dies hat zur Folge, dass vermehrt hochfeste Strukturen mit einem hohen Spezialisierungsgrad benötigt werden. Die Beanspruchungen treten dabei häufig inhomogen und lokal differenziert auf. Derzeit wird die Werkstoffauswahl in der Regel nach der höchsten zu erwartenden Belastung getroffen, auch wenn diese nur in lokal begrenzten Bereichen auftritt.

Der Sonderforschungsbereich 675 begegnet der lokalen Werkstoffbeanspruchung mit einer lokalen Eigenschaftsanpassung. Damit wird einerseits das Anwendungsfeld für die zur Verfügung stehende Werkstoffpalette deutlich erweitert, andererseits werden durch die bedarfsoptimierte Einstellung vorhandene Potenziale der Werkstoffe

erschlossen und durch eine geeignete Beschreibung dem Produktentwickler zugänglich gemacht.

Durch die lokale Anpassung der Eigenschaften wird widersprüchlichen Anforderungen bei der Auslegung von Strukturelementen entsprochen. So werden Elemente gefertigt, die örtlich definierte Festigkeit und Härte mit reduzierter Duktilität aufweisen, in benachbarten Bereichen hingegen eine hohe Duktilität bei reduzierter, ausreichender Festigkeit besitzen.

Beispiele für die Forschungstätigkeit im Rahmen des SFB 675 sind gezielte Gefügeänderungen bei metastabilen austenitischen Stählen durch Umformprozesse, das im Walzprofilierprozess eingebundene lokale Aufschäumen von Strukturen mit Magnesium, die Entwicklung kombinierter Fertigungstechnologien für hochfeste Aluminiumbauteile (**Bild 1**) und das gezielte Ausnutzen von lokalen Effekten von Schweißnähten zur Generierung von gradierten Festigkeitseigenschaften.

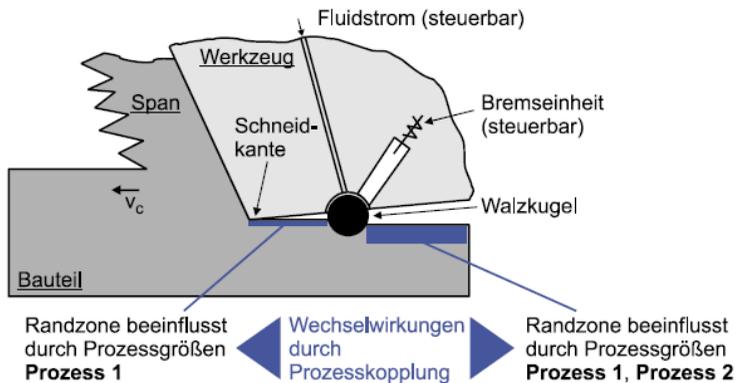


Bild 1: Wirkprinzip: Verfestigung der Randzonen bei der spanenden Bearbeitung mit Kombinationswerkzeugen /1/

Im Mittelpunkt der Forschung steht die durchgängige Untersuchung des gesamten Entwicklungs- und Fertigungsprozesses von hochfesten Strukturen mit gradierten Eigenschaften. Die Arbeiten umfassen werkstoffkundliche Grundlagenuntersuchungen, die Entwicklung von Fertigungsverfahren und Prozessen bis hin zur Auslegung von Produktionsketten. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Produktentwicklung und Berechnung derartiger Bauteile werden auch Fragen der Konstruktionsmethodik und Lebensdauerabschätzung bearbeitet.

2 Finite Elemente Design FED

Das Potenzial lokal eigenschaftsgeänderter Strukturen lässt sich in der Praxis am effektivsten nutzen, wenn dem Konstrukteur dieses Wissen bereits in der Konzeptphase des Produktentwicklungsprozesses zur Verfügung steht. Um die Erkenntnisse des Sonderforschungsbereichs 675 umzusetzen und das Potential der Eigenschaftsveränderungen ausschöpfen zu können, bearbeiten das IMW mit dem ISAF gemeinsam das Teilprojekt C7 „Konstruktionssystematik zur Entwicklung hochfester, lokal angepasster Strukturen mit Hilfe des Finite Elemente Design (FED)“. In dem Projekt werden die Erfahrungen des IMW als Spezialist auf dem Gebiet des methodischen Konstruierens und des ISAF im Bereich der schweißtechnischen Herstellung von artunterschiedlichen Mischverbindungen konzentriert.

2.1 Ziele

Im bisherigen konstruktionsmethodischem Vorgehen wird der Werkstoff erst in der Gestaltungsphase berücksichtigt /2/. Mit Hilfe des Finite Elemente Design soll es ermöglicht werden, bereits in der Konzeptphase Werkstoff- und Fertigungseinflüsse zu berücksichtigen. Insbesondere in Hinblick auf die im SFB 675 erarbeiteten Ergebnisse ist die Einbeziehung des gesamten Eigenschaftsprofils des Werkstoffes mit Werkstoffeigenschaften und den Restriktionen und Möglichkeiten verschiedener, auch neuartiger Fertigungsprozesse in den Konstruktionsprozess bedeutsam. **Bild 2** zeigt, in welchem Bereich der Konzeptfindungsphase der FED-Prozess eingreift.

Ziel ist es ein Bauteil zu gestalten, das sämtlichen Anforderungen gerecht wird, dabei die Möglichkeiten der Fertigungsprozesse vollständig für die Funktionserfüllung nutzt ohne Werkstoffpotenziale zu verschenken. Außerdem werden dem Konstrukteur Restriktionen aus dem Fertigungsprozess bereits in der Konzeptfindungsphase zur Verfügung gestellt. Der gesamte Gestaltungsprozess wird effizienter, da Iterationsschritte zur Findung der optimalen Lösung in der eigentlichen Gestaltungsphase nicht durchlaufen werden müssen.

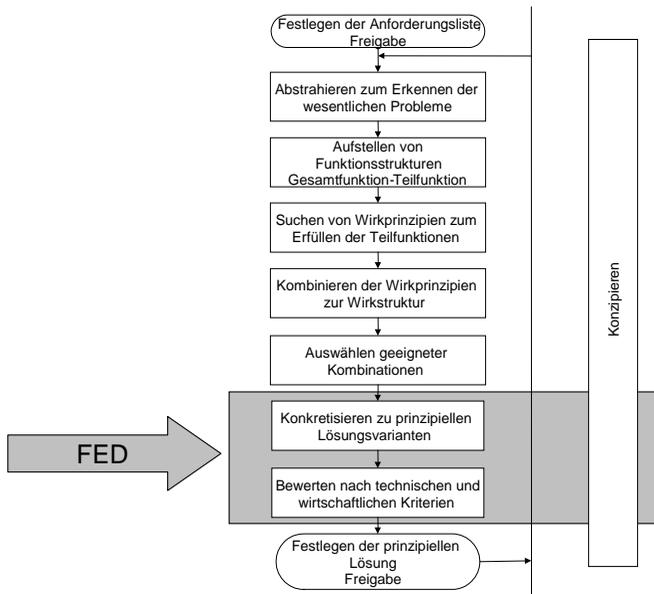


Bild 2: FED-Prozess in der Konzeptfindungsphase

2.2 Methode

Ein Überblick über die Vorgehensweise der FED-Methodik ist in **Bild 3** dargestellt.

Grundlage des Konstruktionsprozesses ist die Anforderungsliste. Die meisten Anforderungen beziehen sich in der Regel auf das gesamte Bauteil. Konkrete Anforderungen an Werkstoffe und Fertigungsprozesse finden sich nicht, werden aber im Verlauf der FED-Methodik generiert.

Ausgangspunkt für die FED-Methodik ist eine prinzipielle Lösungsvariante, wie sie in der Konzeptphase entwickelt wird. Bis zu diesem Punkt entspricht der Konstruktionsprozess allgemein gültigen Systematiken wie der VDI 2221.

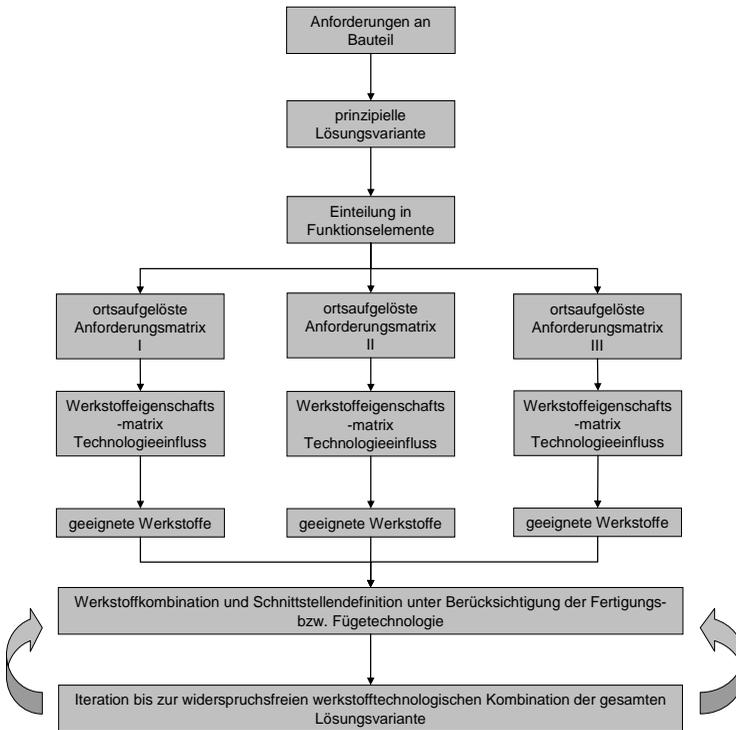


Bild 3: FED-Methodik

Die prinzipielle Lösungsvariante wird vom Konstrukteur in einzelne Funktionselemente zerlegt. Diese Funktionselemente beschreiben lokale Anforderungen, wie sie sich aus dem Wirkprinzip der Lösung ortsaufgelöst ergeben. Dem Konstrukteur werden mögliche lokale Anforderungen im FED-System als Unterstützung zur Verfügung gestellt, aus denen er für die Definition der Funktionselemente notwendige Anforderungen bestimmt. Hierfür sind im System Anforderungen hinterlegt, die auf der einen Seite das gesamte Bauteil beschreiben (Anforderungsliste) und auf der anderen die ortsaufgelösten Anforderungen berücksichtigen (aus den physikalischen Wirkprinzipien).

Übergeordnete Anforderungen an das gesamte Bauteil können Optimierungsziele im Bereich Leichtbau, Kosten, Bauraum oder auch Umgebungsbedingungen wie Temperatur, korrosive Medien usw. sein. Für ortsaufgelöste Anforderungen stehen beispielsweise Festigkeit, Duktilität, Härte. Durch die Verknüpfung zweier Funktionselemente werden Schnittstellen definiert, die insbesondere die Ferti-

gungsmöglichkeiten und –restriktionen berücksichtigen, aber auch die Möglichkeit zur Definition von Systemeigenschaften wie z.B. Verschleißbeständigkeit bieten.

Treten bei der Kombination der Werkstoffe in Zusammenhang mit den Fertigungstechnologien Widersprüche auf, werden weitere Schnittstellen definiert. Es werden im Rahmen des FED Iterations-schritte durchlaufen, bis schließlich eine optimale Lösung bezüglich der Anforderungen gefunden wird.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Werkstoffdatenbanken sind die Grundlagen des FED-Systems mehrdimensionale Eigenschafts- und Fertigungsmatrizen. Hier sind die Erfahrungen und Ergebnisse insbesondere der Projektpartner zu den einzelnen Werkstoffen und Technologien hinterlegt. Dem Konstrukteur werden die komplexen Wechselwirkungen zwischen Werkstoff und Fertigungstechnologie und dadurch insbesondere die Möglichkeiten der lokalen Werkstoffoptimierung offenbart.

3 Zusammenfassung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 675 erarbeitet das IMW zusammen mit dem ISAF ein neues konstruktionsmethodisches Vorgehen. Ziel ist es, durch die frühzeitige Berücksichtigung der Werkstoffeigenschaften und Fertigungsmöglichkeiten den Konstruktionsprozess zu optimieren, um dadurch insbesondere mit den Erkenntnissen des SFB innovative, leistungsfähige Bauteile entwickeln zu können. In diesem System wird das Bauteil in Bereiche verschiedener Funktionselemente differenziert. Die daraus entstehenden Anforderungen werden in Anforderungsmatrizen beschrieben und in Werkstoffeigenschaften und Fertigungstechnologien aufgelöst. Durch diese neue Systematik werden das Potenzial der lokal eigenschafts-veränderten Strukturen, sowie herkömmliche Werkstoffeigenschaften und Fertigungseinflüsse dem Konstrukteur bereits in der Konzeptphase zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig dient die Systematik der Strukturierung und Bündelung der Ergebnisse des gesamten Sonderforschungsbereichs 675.

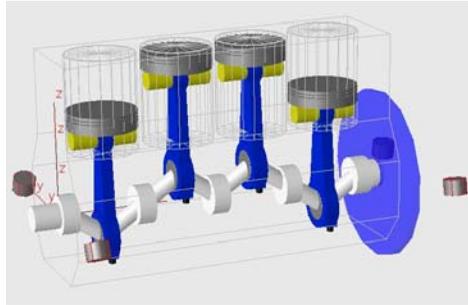
4 Literatur

- /1/ Sonderforschungsbereich 675, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Leibniz Universität Hannover

- /2/ VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf, 1993

Neue Mehrkörpersimulationssoftware SIMPACK im Institut

Bormann, E.; Thoden, D.



Am IMW soll verstärkt die Simulation von Maschinenelementen angewandt werden. Dafür wurde eine neue Software für Mehrkörpersimulation (MKS) angeschafft. Das Programm SIMPACK bietet neben eigenem Modellaufbau und Berechnung auch gute Schnittstellen zu anderen Programmen wie Ansys und ProEngineer.

The IMW strengthens the simulation of mechanical components. For this use a new software for multi-body simulation (MKS) was purchased. The program SIMPACK has own modelling and solving tools and offers good interfaces to other programs like Ansys or ProEngineer.

1 Der Weg zu SIMPACK

Im Frühjahr 2008 fand im IMW eine einwöchige Schulung mit der Mehrkörpersimulationssoftware SIMPACK statt. An dieser Schulung nahmen sechs Mitarbeiter des IMW teil. Zu diesem Zeitpunkt wurde eine Lizenz für einen Arbeitsplatz über die Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) beschafft. Im Laufe des Jahres wurde diese Lizenz durch mehrere Projekte und Studienarbeiten aktiv genutzt.

Da sich zum Herbst zeigte, dass eine Lizenz nicht ausreichen würde, um gerade die Studien- und Diplomarbeiten der Studenten ausreichend zu betreuen, wurde beantragt über Studienbeitragsmittel eine Hochschullizenz von SIMPACK zu beziehen. Diese Hochschullizenz beinhaltet zehn Rechnerplätze und einen nur leicht eingeschränkten Umfang gegenüber der FVA Lizenz. Durch die Studienbeitragkommission ist der Antrag bewilligt worden und gibt nun dem IMW auch die Möglichkeit MKS in seine Praktika einzubetten.

2 Mehrkörpersimulation

Um ein System wie einen Antriebsstrang oder ein Fahrzeug richtig auszulegen, wird inzwischen häufig eine Mehrkörpersimulation eingesetzt. Das reale System wird dabei am Computer in seine Komponenten zerlegt und die einzelnen Teile bzw. Körper durch Federn

oder Dämpfer miteinander verbunden. Dieses nachgebaute System ist dabei im Normalfall eine Vereinfachung der Realität. Auf die einzelnen Körper wirken Kräfte, durch die die Körper bewegt werden; umgekehrt hängen diese Kräfte von der Lage und der Geschwindigkeit der Körper zueinander ab. Aus diesem Wechselspiel ergibt sich das Bewegungsverhalten des Systems. Die Gleichungen, die dieses Bewegungsverhalten beschreiben, erzeugt der Computer automatisch aus dem Aufbau des Systems; durch die Lösung dieser Gleichungen kann er vorausberechnen, wie sich das System bewegen wird. /1/

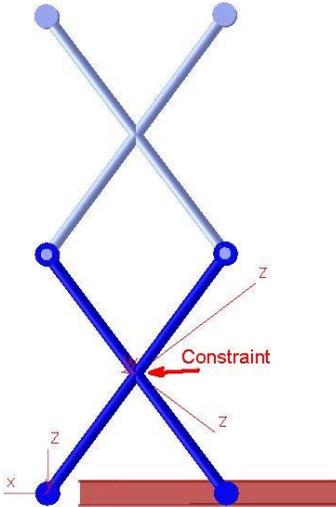


Bild 1 Beispiel für eine Zwangs-
bewegung (Constraint) /3/

Grundsätzlich wird bei der Mehrkörpersimulation zwischen dynamischer und kinematischer Simulation unterschieden. Bei der einfacheren Kinematik haben die Systeme keine dynamischen Freiheitsgrade. Meist wird der letzte Freiheitsgrad eines mechanischen Systems mit einer Zwangsbewegung (Constraint) gesperrt, s. **Bild 1**, wodurch dieser verschwindet. Eine Kinematik lässt sich dadurch charakterisieren, dass jeder Betriebspunkt als Funktion der gegebenen Zwangsbewegung betrachtet werden kann. Dabei ist die Zeit, bzw. das Geschwindigkeitsprofil das zu dieser Position geführt hat, unerheblich. In einem dynamischen Modell kann ein Betriebspunkt nur durch Auflösen einer Differentialgleichung ermittelt werden. /2/ Bei komplexeren Systemen ist deshalb ein Integrator nötig, der die Gleichungssysteme löst.

Nach der Berechnung werden die Ergebnisse als animierte Bewegung dargestellt und die Wege, Beschleunigungen, Kräfte etc. in einem Postprozessor als Grafiken angezeigt. Sie können dann als Eingangsfunktion für Festigkeitsanalysen mit FE-Programmen verwendet werden.

3 Möglichkeiten mit SIMPACK

Das SIMPACK-System ist eine MKS-Software, die vom Modellaufbau her einen theoretischen Ansatz wählt. So ist die Geometrie eines Körpers nicht entscheidend, so lange sein Schwerpunkt und die Trägheitsmomente richtig gesetzt sind. Zur grafischen Darstellung wird ein so genanntes Primitive verwendet, zumeist ein einfacher, aus Polygonen zusammengesetzter geometrischer Körper (**Bild 2**).

3.1 Modellaufbau

Im Gegensatz zu CAD-basierten Simulationssystemen, in denen die Kontaktbedingungen über die Geometriefeatures geknüpft werden, werden bei SIMPACK alle Verbindungen und Kräfte über so genannte Marker eingebracht. Diese Verbindungspunkte werden relativ zum Schwerpunkt eines jeweiligen Körpers definiert und können völlig frei platziert werden.

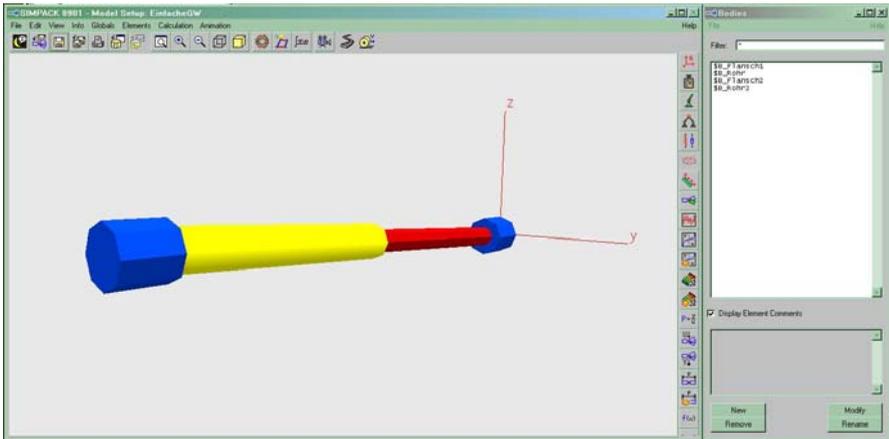


Bild 2 Aufbau des einfachen Gelenkwellenmodells auf der Benutzeroberfläche

Jeder Körper, der definiert wird, muss über genau einen so genannten Joint an einen weiteren Körper oder das Inertialsystem (Isys) gekoppelt werden. Dem Joint können bis zu sechs Freiheitsgrade zugewiesen werden, so dass sich alle Arten von Gelenken oder auch frei bewegliche Körper realisieren lassen.

Sollen mehr Bewegungen gesperrt werden, so geschieht dieses über die zuvor schon erwähnten Constraints, denen Freiheitsgrade entzogen werden können. Als letztes Element zum Modellaufbau sind die Kraftelemente zu nennen. Von ihnen gibt es von der einfachen Feder bis zu komplexen Reifenmodellen, Getrieben oder Antrieben einen umfangreichen Katalog, mit dem sich alle Arten von technischen Fragestellungen abbilden lassen.

Der große Vorteil am theoretischen Ansatz ist die Tatsache, dass Modelle auf einem Blatt Papier geplant werden können und schnell zwischen verschiedenen Joints, Constraints und Kraftelementen gewechselt werden kann, da diese ausschließlich über Marker mit den Körpern verbunden sind (**Bild 3**).

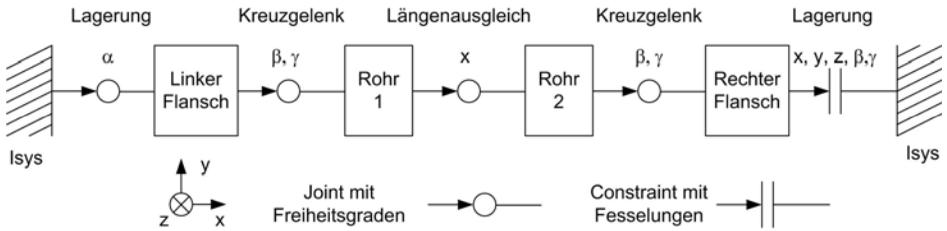


Bild 3 Schema eines einfachen Gelenkwellenmodells

3.2 Postprozessor

Die Auflösung des aufgebauten Modells erfolgt analog zu einem FEM-System mittels eines Solvers. Erster Schritt zur Überprüfung des Modells ist die Animation unter der grafischen Benutzeroberfläche.

Für weitergehende Analysen wird ein Post-Prozessor verwendet, in dem neben dem Animierten Modell auch die Verläufe aller physikalischen Größen wie Kräfte, Momente, Geschwindigkeiten und Wege dargestellt werden können (**Bild 4**).

3.3 Schnittstellen aus anderen Programmsystemen

Um bereits fertig aufgebaute Modelle einer Mehrkörperanalyse zu unterziehen, kann aus dem CAD-System Pro/ENGINEER über die Schnittstelle ProSIM ein Export erfolgen. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass das Modell gemäß den Vorgaben der Schnittstelle aufgebaut werden muss. So müssen für die Marker Koordinatensysteme eingesetzt werden, der direkte Import von standardmäßig aufgebauten Assemblies ist nicht möglich.

SIMPACK bietet die Möglichkeit, von der reinen MKS-Lehre abzuweichen und auch flexible Körper zu simulieren. Dieses können einerseits stabförmige Bauteile sein, die direkt im System erzeugt werden können. Als weitere Möglichkeit besteht über eine Schnittstelle zum FEM-System ANSYS der Import von dort bearbeiteten Finite-Elemente-Modellen, die um einiges komplexer sein können. Um die Rechenkapazitäten nicht zu sehr zu strapazieren, wird die Super-Element-Technik angewendet. Hierbei werden die fein vernetzten Modelle in große zusammenhängende Gebiete unterteilt und die Verformungseigenschaften interpoliert /4/.

Durch diese beiden Schnittstellen fügt sich das Programm ideal in die am Institut für Maschinenwesen schon vorhandene Software-Landschaft ein

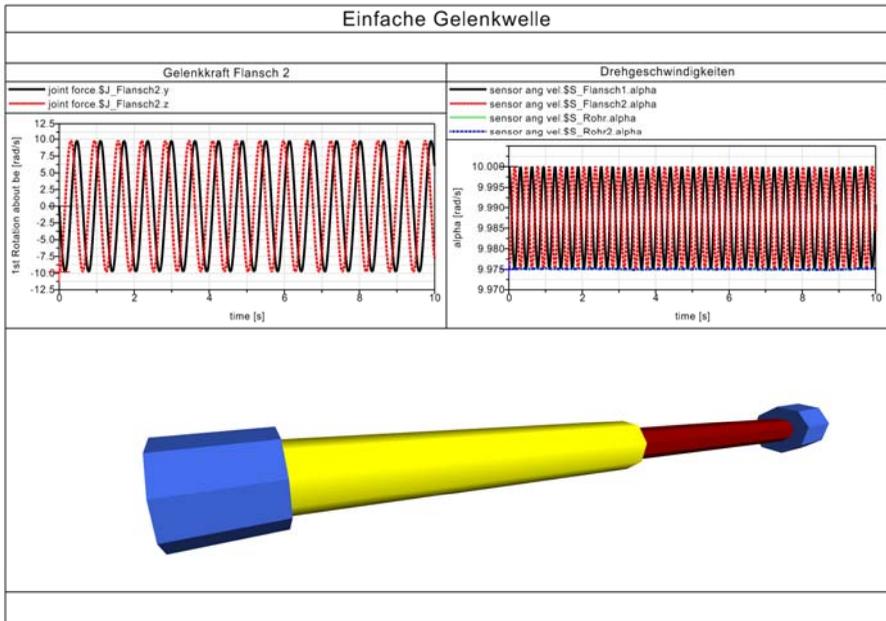


Bild 4 Postprocessing des einfachen Gelenkwellenmodells

4 Projekte am IMW

Durch die Möglichkeiten, die in der eingangs erwähnten Schulung aufgezeigt wurden, konnten in kurzer Zeit viele Projekte gestartet werden, so dass es mitunter Engpässe bei der Nutzung der ersten Installation gab. So bewährte sich SIMPACK nicht nur bei den Projekten der Mitarbeiter sondern zog auch Studien- und Diplomarbeiten magisch an.

Da noch keine Forschungsvorhaben den Einsatz von SIMPACK direkt vorsehen wurden abgeschlossene oder laufende Projekte um diesen wichtigen Simulationsbaustein ergänzt. Bei diesen wird mit Spannung auf die ersten Ergebnisse gewartet.

Darüber hinaus wird für kommende Vorhaben die Mehrkörpersimulation als fester Bestandteil eingeplant.

5 Zusammenfassung

Mit der SIMPACK-Software ist ein mächtiges Werkzeug angeschafft worden, dessen Potential nach und nach erarbeitet wird. Wegen der

stetigen starken Nachfrage bei den Studierenden und des Interesses der wissenschaftlichen Mitarbeiter ist die Lernkurve sehr steil, so dass der Einsatz der Software schon in naher Zukunft so selbstverständlich sein wird, wie von Pro/ENGINEER und ANSYS.

6 Literatur

- /1/ N, N.: Simulation von Mehrkörpersystemen oder: Immer schneller, immer genauer, immer realistischer; <http://www.dlr.de/schoollab>
- /2/ N, N.: Mehrkörpersimulation; <http://de.wikipedia.org/wiki/Mehrkörpersimulation>
- /3/ N, N.: SIMPACK Basic Training II; INTEC GmbH, 2008
- /4/ Eichseder, W; Unger, B.; Dannbauer, H.: Neue Aspekte der Submodelltechnik in der Finite Elemente Methode zur Beschleunigung des Entwicklungsprozesses; FEM Kongress; Baden-Baden; Nov. 1998

Systematische Werkstoffauswahl als Grundlage innovativer Produkte

Seitz, T.

Der Prozess der Produktentwicklung, wie er normalerweise zur Anwendung kommt, bringt Unzulänglichkeiten mit sich, die die Lösungsfindung beschränken. Durch eine konsequente Erweiterung dieses Prozesses im Sinne einer lösungsintegrierten Gestaltung wird es ermöglicht, neue, innovative Konzepte zu entwickeln, die sich in leistungsfähigere Produkte umsetzen lassen.



The process of design of products, as usually implemented, comes with insufficiencies, which restrict problem-solving. With consequent enlargement of the process, in purpose of a solution integrated design, it is possible to find innovative concepts and new, increasing powerful products.

1 Einleitung

Am Institut für Maschinenwesen befindet sich momentan eine Schneidmühle in Entwicklung, die universell zur Zerkleinerung von Hausmüll eingesetzt werden soll. Das breite Einsatzfeld erfordert neuartige Messergeometrien. Weiterhin wurden durch entsprechende Vorversuche Kenntnisse erarbeitet, die bei der Messerentwicklung ebenfalls beachtet und umgesetzt werden mussten.

2 Produktentwicklungsprozess

Die Vorgehensweise bei der Produktentwicklung ist mit ihren verschiedenen, aufeinander aufbauenden, Phasen in der VDI Richtlinie 2221 definiert. **Bild 1** zeigt einen vereinfachten Ablauf dieses Produktentwicklungsprozesses. Hierbei soll anhand der Entwicklung der Schneidmühle demonstriert werden, wie die Lösungsfindung durch dieses Vorgehen eingeschränkt sein kann.



Bild 1: Produktentwicklungsprozess nach VDI 2221

2.1 Anforderungsdefinition

Zu Beginn des Prozesses steht die Definition der Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt. Hierbei werden sämtliche Anforderungen festgelegt, die für die Funktionserfüllung und die Erfüllung weiterer Randbedingungen notwendig sind. Für die Schneidmühle seien dies exemplarisch:

- Verarbeitung heterogener Stoffgemische
- Einsatz am Ort der Müllentstehung
- Bedien- und Wartbarkeit durch Nichtfachleute

Bei der Anforderungsdefinition liegt der Fokus eindeutig auf der Funktionserfüllung. Die Anforderungen werden bewusst ergebnisoffen formuliert, um eine Beschränkung bei der nachfolgenden Konzepterstellung zu vermeiden.

2.2 Konzeptfestlegung



Als nächster Schritt wird ein grundlegendes Konzept für das gesamte Produkt oder einzelne Baugruppen festgelegt. Hierbei steht, unter Berücksichtigung der definierten Anforderungen, die Suche nach Wirkprinzipien im Vordergrund. In dieser Phase kommen die unterschiedlichen Methoden der Ideenfindung zum Einsatz, um schließlich eine grundlegende Formgebung festzulegen.

Bild 2: mögliches Messerkonzept

Bild 2 zeigt das Ergebnis für die Messergruppe der Schneidmühle. Auf einer rotierenden Messerwalze ist hierbei das gehärtete und angeschliffene Messer befestigt. Da es im Betrieb der Schneidmühle zu einem Verschleiß der Messer kommt, müssen diese nachgeschliffen werden. Dies bedingt einen Materialabtrag und somit eine Vergrößerung des Schneidspaltes zwischen rotierendem Messer und feststehender Gegenschneide. Zur Funktionserfüllung ist also ein Nachstellen des Schneidspaltes notwendig. Neben dem Arbeitsaufwand erfordert dieses Nachstellen auch eine entsprechende konstruktive Ausgestaltung der Messerbefestigung.

2.3 Produktgestaltung

Nach erfolgter Konzeptfestlegung steht die (Aus-) Gestaltung des Produkts. Der Fokus liegt hierbei auf der Umsetzung des Konzepts in ein konkretes Produkt.

Somit wird das Konzept ausgearbeitet und es erfolgt eine Werkstoffauswahl für die einzelnen Bauteile. Ebenso werden für die Bauteile, die genauen Abmessungen festgelegt. Während der durchzuführenden Festigkeitsnachweise werden ausgewählte Werkstoffe und Abmaße so lange iterativ verändert, bis eine ausreichende Festigkeit gegeben ist. Nachdem die endgültigen Werkstoffe und die endgültige Gestalt feststehen, werden die Fertigungsverfahren festgelegt und schlussendlich sämtliche Fertigungsunterlagen erstellt.

Insbesondere die Werkstoffauswahl ist hierbei Wechselwirkungen unterworfen, die in dem Zusammenwirken zwischen der konstruktiven Gestaltung, der Werkstoffwahl und der Produktionstechnik begründet liegen.

Wie in **Bild 3** zu erkennen ist, erfordert die gegenseitige Beeinflussung eine entsprechende Abstimmung von Konstruktion, Werkstoff und Produktion. Durch die erfolgte Festlegung des Konzepts sind gerade bei der Konstruktion nur beschränkte Änderungen möglich. Daher erfolgt normalerweise eine Anpassung des Werkstoffs an die Konstruktion, was zu einer nicht optimalen Ausnutzung der Werkstoffeigenschaften führt.

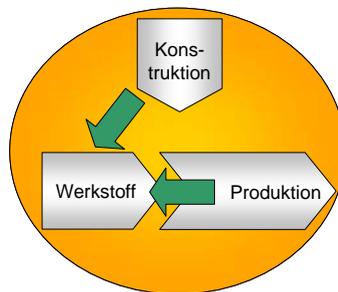


Bild 3: Beeinflussung der Werkstoffauswahl

3 Lösungsintegriertes Vorgehen

Durch eine bewusste Nutzung der Wechselwirkungen zwischen Konstruktion, Werkstoff und Produktion bereits in der Konzeptphase der Produktentwicklung wird es möglich, neue Lösungen zu finden und somit die Beschränkungen, die durch die relativ späte Werkstoffauswahl bedingt sind, aufzuheben. Weiterhin wird das Lösungsfeld, z.B. durch die Anwendung der Bionik erweitert.

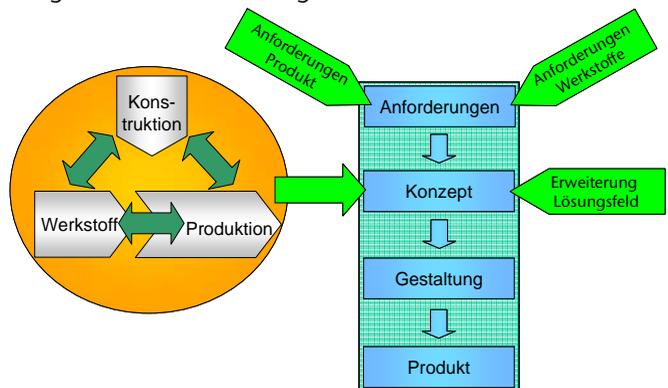


Bild 4: Lösungsintegriertes Vorgehen

Bild 4 stellt die Integration dieser Vorgehensweise in den Produktentwicklungsprozess dar.

Neben der Anforderungsdefinition an das Produkt, ist es hierbei auch notwendig, entsprechende Anforderungen an den Werkstoff zu definieren. Hierbei sind insbesondere auch Vorkenntnisse aus vorhergehenden Entwicklungen oder Versuchen zu berücksichtigen. Auf die Messer der Schneidmühle bezogen, ergeben sich somit folgende Anforderungen:

- Vorkenntnisse:
 - stark angeschliffene Klingen
 - geringer, gleich bleibender Schneidspalt
- Anforderungen Schneidmühle
 - Bedien- und Wartbarkeit durch Nichtfachleute
- Anforderungen Werkstoffe
 - geringer Verschleiß

Dies lässt sich in folgende Anforderungen an die Messer zusammenfassen:

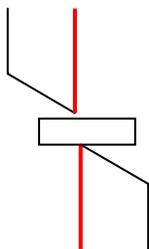
- hohe Einsatzdauer
- keine Ein- oder Nachstararbeiten

Somit wäre die Ausführung als selbstschärfende Messer ideal!

Durch eine Erweiterung des Lösungsfeldes bietet sich hierfür als Analogie die Untersuchung der Zähne von Nagetieren an.

Diese zeichnen sich aus durch:

- hohe Effektivität beim Zerkleinern
- Selbstschärfung
- reduzierte Bruchgefahr
- ständiges Nachwachsen



Der Selbstschärfungseffekt beruht bei diesen Zähnen auf der Materialzusammensetzung mit einer harten Schmelzschicht an der Schneidkante und einem weicheren Dentinbereich (**Bild 5**).

Somit ist fortlaufend gewährleistet, dass sich der weichere Bereich stärker abnutzt, als die harte Vorderkante, was eine stets scharfe Schneidkante und einen gleich bleibenden Schneidspalt zur Folge hat.

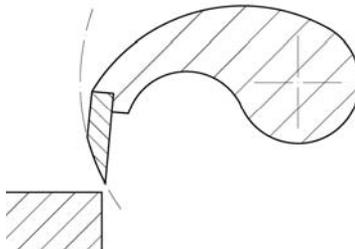
Bild 5: Selbstschärfungseffekt

Die somit resultierenden Anforderungen lassen sich für die Produktentwicklung auf

- Werkstoff
 - hohe Zähigkeit
 - hohe Härte
- Konstruktion
 - gleichmäßige Abnutzung sicherstellen
- Technologie
 - Werkstoffeigenschaften ermöglichen

aufteilen und führen zu einer möglichen Umsetzung, wie in **Bild 6** dargestellt.

Hierbei ermöglicht eine Gradientenhärtung oder keramische Beschichtung der Messerkante eine entsprechende gesteuerte Abnutzung der Messer und stellt eine stets scharfe Schneidkante sicher. Durch die offene Konstruktion ist eine sichere Abfuhr der zerkleinerten Materialien gewährleistet.



B

Bild 6: rotierendes, selbstschärfendes Messer

Ein wichtiger Punkt bei der Gestaltung ist die Krümmung der Messerkante entsprechend der Bewegungsbahn des Rotors. Dies führt zu einem gleich bleibenden Schneidspalt, da sich, bei Abnutzung der Klinge die Schneidkante nur nach hinten verlagert. Somit sind keinerlei Nachstarbeiten notwendig. Nach vollständigem Verschleiß ist lediglich das Messer vollständig auszutauschen.

4 Umsetzung

Die Ergebnisse der lösungsintegrierten Vorgehensweise werden im Rahmen der Projektdurchführung in einem Versuchstand zur Ermittlung von Anwendungsparametern (Zusammenwirken Zuführ-/Schnittgeschwindigkeit) bei der Schneidmühle umgesetzt. Dieser Prüfstand (**Bild 7**) besteht aus einer Kompaktierungseinheit mit angesetzter Schneideinheit.

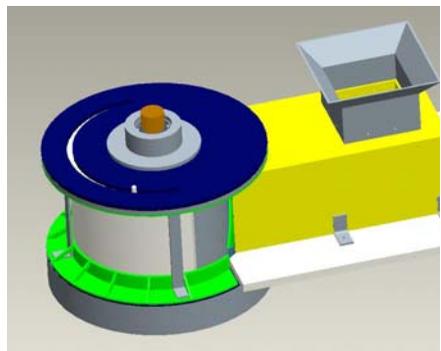


Bild 7: Prüfstand



Bild 8: Messergestaltung

Die Reststoffe werden durch die Kompaktierungseinheit zugeführt, in der Schneideinheit zerkleinert und nach unten abgeführt. Die auf dem Rotor befestigten Messer sind entsprechend den neuartigen Kenntnissen gestaltet (**Bild 8**).

5 Zusammenfassung

Durch die frühe Definition von Anforderungen nicht nur an das Produkt, sondern auch an den Werkstoff werden neue innovative Konzepte ermöglicht. Hierbei fördern die zur Verfügung stehenden Fertigungstechnologien nützliche Kombinationen von Werkstoffigenschaften. Insbesondere ist in der Produktentwicklung auch zu beachten, dass der berühmte „Blick über den Tellerrand“ der Konstrukteurs hierbei zu einer erheblichen Erweiterung des Lösungshorizonts führt und unter Einbeziehung der lösungsintegrierten Gestaltung den Weg für die Entwicklung innovativer Produkte ebnet.

Konstruktion und Berechnung von
Maschinenelementen



Konstruktionsmethodik und
rechnerunterstützte Produktentwicklung



Systementwicklung, Versuchstechnik
und Maschinenakustik



Lehre und Institutsbetrieb



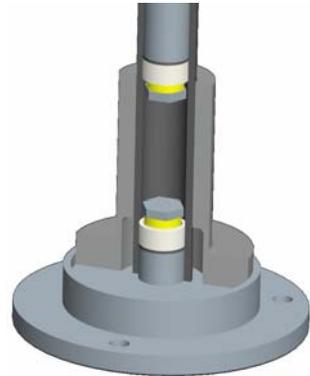
Hochschule und Kontakte



Aufbau einer Anlage zum Innenhochdruckfügen

Hilgermann, J.

Für die Eigenfertigung innenhochdruckgefügter Welle-Nabe-Verbindungen baut das Institut für Maschinenwesen eine Anlage auf. Die Anlage ist Teil des von der DFG geförderten Forschungsvorhabens zur Untersuchung des Ermüdungs-, Reibungs- und Verschleißverhaltens innenhochdruckgefügter Pressverbindungen unter statischen und dynamischen Betriebslasten. Die Anlage wird 0,16l/min Öl bei einem Druck von 4000 bar bereitstellen. Das Verfahren des Innenhochdruckfügens wird im Artikel „Innenhochdruckfügen – eine Versuchs-Parameterauswahl“ beschrieben.



The institute of mechanical engineering is building up an in-house production line for insight-high-pressure-fit shaft to collar connections. The production line is part of the research project to study fatigue-, friction- and wear-behavior of insight-high-pressure-fit shaft to collar connections under static and dynamic operating loads, which is sponsored by DFG. 0,16l/min of oil at 4000bar pressure will be provided by the production line.

The process of insight-high-pressure-fit is been explained in article “Innenhochdruckfügen – eine Versuchs-Parameterauswahl”

1 Die Fügeanlage

Den stark vereinfachte Aufbau der Fügeanlage stellt **Bild 1** dar. Die Fügeanlage besteht aus zwei Kreisläufen, die über eine Druckübersetzung mit einander verbunden sind. Der primäre Kreislauf wird mit einer pneumatisch angetriebenen Ölpumpe (2) betrieben. Diese fördert Öl aus dem Tank (1) unter Druck in den Speicherlader (3). Dieser speichert die für einen Fügevorgang benötigte Energie. Der Druckübersetzer (4) erhöht den Druck im Sekundärkreislauf auf bis zu 4000bar. Der Drucksensor (5) ermittelt den am Fügewerkzeug (6) anliegenden Druck. In Zusammenarbeit mit der Maximator GmbH wurde das Anlagenkonzept erstellt und verwirklicht.

Die Fügeanlage wird ein maximales Fügevolumen von 13cm³ je Fügevorgang bereitstellen. Bei einem Druck von 4000bar wird ein Volumenstrom von 0,16l/min Öl erreicht. Hierdurch wird das Fügen

von Welle mit einem Fügedurchmesser von maximal 45mm und einer Nabenlänge von maximal 90mm ermöglicht.

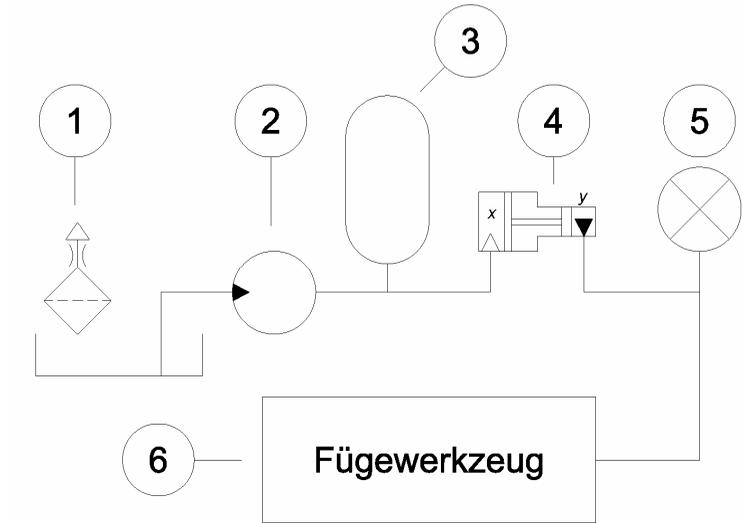


Bild 1: vereinfachte Schaltskizze der Innenhochdruck-Fügeanlage

2 Das Fügewerkzeug

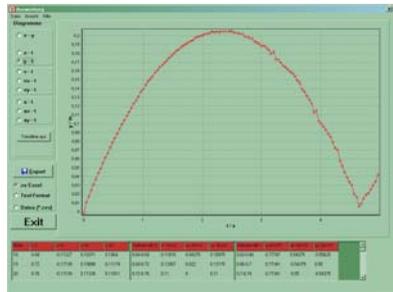
An die Druckerzeugung schließt sich das Fügewerkzeug an. Es beinhaltet zwei Dichtungen, die ein Volumen unterhalb der Nabe abdichten. Das Fügewerkzeug wurde am Institut für Maschinenwesen konstruiert und mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode ausgelegt und optimiert. Das Fügewerkzeug erlaubt das sichere Fügen von Nabenlängen von 10mm bis 100mm und erlaubt außerdem die stufenlose Einstellung der Drucküberstandslänge. Hierdurch wird die für die Forschungsarbeit notwendige Variabilität gewährleistet.

Hochgeschwindigkeitskamera ermöglicht Untersuchung hochdynamischer Prozesse

Thoden, D.

Für die Darstellung schneller Prozesse wurde in diesem Jahr am Institut für Maschinenwesen eine neue Kamera angeschafft, die es erlaubt, Hochgeschwindigkeitsvideos aufzunehmen.

In order to capture rapid processes the Institute for Mechanical Engineering acquired a new camera this year, which is capable of recording high speed movies.



1 Beschreibung

Die Kamera vom Typ Casio Exilim EX-F1 ist die erste Kamera für Privatanwender, die in erster Linie für den Hochgeschwindigkeitseinsatz (Sportfotografie) konzipiert ist /1/. Als Fotoapparat schafft die Kamera in verschiedenen Serienbildmodi bis zu 60 Einzelbilder pro Sekunde, im Videomodus können neben HD- und Standardaufnahmen Hochgeschwindigkeitsfilme mit bis zu 1200 Bildern pro Sekunde aufgenommen werden.

Erreicht wird dieses durch den Einsatz eines lichtstarken CMOS-Bildsensors mit der idealen Auflösung von 6 Millionen Bildpunkten. Trotzdem wird die Auflösung für Hochgeschwindigkeitsfilme stark reduziert, in der höchsten Geschwindigkeit wird nur noch ein schmaler Streifen von 336 x 96 Pixeln aufgenommen, bei 300 Bildern pro Sekunde sind es aber schon 512 x 284 Bildpunkte. Der Grund hierfür liegt in der enormen Menge Licht, die in kurzer Zeit auf den Sensor treffen muss, um registriert zu werden. Abhilfe kann hier zum Beispiel die exzellente Fotoausrüstung des Instituts schaffen, die über zwei professionelle Beleuchtungssysteme mit mehreren Kamerascheinwerfern verfügt.

Daneben ist die Kamera mit einem 12-fach-Zoom-Objektiv ausgestattet und verfügt über vielfältige manuelle Einstellmöglichkeiten, so dass auch schwierigen Bedingungen begegnet werden kann.

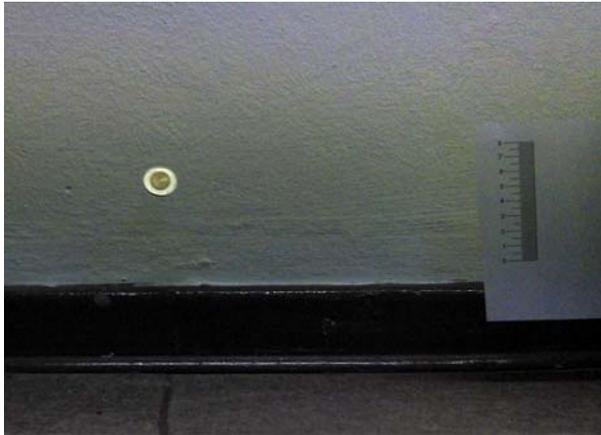


Bild 1: Fallversuch mit einer Münze, Maßstab zur Auswertung auf der rechten Seite

2 Einsatzmöglichkeiten

2.1 Visualisierung

Während es die schnellen Serienbildfunktionen erlauben, das Foto vom entscheidenden Moment eines Ereignisses aufzunehmen, können mit der Hochgeschwindigkeitsfunktion Prozesse sichtbar gemacht werden, die mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind.

Als Beispiele können hier Fräs- oder Drehvorgänge, bei denen der Schneidvorgang unter die Lupe genommen werden soll, oder die Beobachtung des Bauprozesses auf der Laser-Sinter-Anlage genannt werden.

Weiterhin können bei Fallversuchen der Aufprall oder anderweitige Ereignisse beobachtet werden.

2.2 Bewegungsanalyse

Eine interessante Erweiterung zur Kamera stellt der Einsatz einer Bewegungsanalyse-Software dar. Gegenwärtig wird das freie Videoanalyseprogramm Viana 3.64 verwendet [2], mit dem sich ein im Videobild erkennbares Merkmal automatisch wieder erkennen und zweidimensional verfolgen lässt. Bei der Anbringung eines Maßstabes in dieser Bildebene sind sogar Aussagen über Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung des verfolgten Objekts möglich (**Bild 1**). Die Ergebnisse lassen sich zur Weiterverarbeitung als Textdatei oder Excel-Tabelle exportieren.

Leider sind die Datenformate von Kamera und Analyseprogramm nicht kompatibel, wodurch es zu Größeneinschränkungen bei der Umwandlung kommen kann.

3 Entwicklungsmöglichkeiten

Um die Einsatzmöglichkeiten der Bewegungsanalyse zu erweitern ist es daher geplant, ein Analyseprogramm bereit zu stellen, das neben der direkten Verarbeitung der von der Kamera gelieferten Daten auch eine feinere Bewegungserkennung ermöglicht. Das momentane Programm erkennt Verschiebungen erst ab der Größe eines Bildpunktes, wodurch es bei kleinen Bewegungen wie Schwingungen zu Quantisierungseffekten kommt. Ein Interpolationsalgorithmus könnte in diesem Fall Abhilfe schaffen.

4 Zusammenfassung

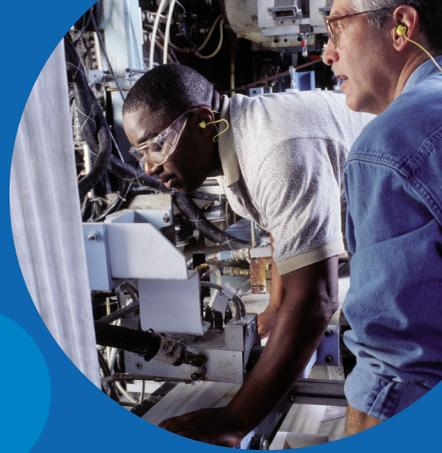
Mit der genannten Kamera ist am Institut ein Messmittel angeschafft worden, das eine neue Sicht auf viele Vorgänge ermöglicht. Mit der Erweiterung der Software kann ein Messsystem geschaffen werden, das in Preis und Leistung seinesgleichen sucht.

5 Literatur

- /1/ Casio Computer Co., Ltd.: Digitalkamera EX-F1 Bedienungsanleitung, Tokio, Japan, 2008
- /2/ N. N.: VIANA – Digitale Videoanalyse,
<http://didaktik.physik.uni-essen.de/viana/>, 5.12.2008

challenge

Your challenge:
a technical career for engineers!



The thrill of technology – Procter & Gamble sucht Talente

Procter & Gamble ist eines der erfolgreichsten Markenartikelunternehmen der Welt mit ca. 138.000 Mitarbeitern, einem Umsatz von 83,5 Mrd. US\$ und einem Portfolio von mehr als 300 Marken. In Deutschland sind wir inklusive Wella, Gillette und Braun mit ca. 15.000 Mitarbeitern an 18 Standorten vertreten.

Weltklasseprodukte herzustellen ist nur mit state-of-the-art Technologie möglich. Weltklasseprodukte zu entwickeln bedeutet, auch technisch der Konkurrenz immer einen Schritt voraus zu sein. Das gelingt nur mit technischen Innovationen!

Wir suchen Ingenieure/Ingenieurinnen und Naturwissenschaftler/-innen mit hohem fachlichen Anspruch und Gespür für das Machbare für die Einsatzbereiche Research & Development, Engineering und Manufacturing. Wir bieten Praktika, Diplomarbeiten und Direkteinstieg.

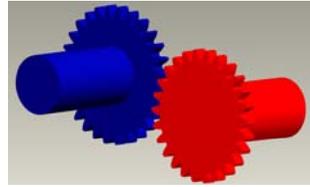
Weitere Informationen findest Du unter

www.PGcareers.com

P&G a new challenge every day



Einsatz von Mehrkörpersimulation zur Ermittlung der dynamischen Kräfte in einem Zahnradgetriebe



Kruk, R.; Kramarczuk, W.; Wiczorek A.

In diesem Artikel wird die Mehrkörpersimulation-Methode (MKS) kurz erläutert, die für die Berechnung von Kräften und Lasten bzw. Ermittlung von kinematischen Verhalten von gesamten Anlagen dient. Die anhand von MKS erhaltenen Ergebnisse lassen sich für FE Simulationen als Randbedingungen einsetzen. Diese Methode wird auch bei einem Vergleich von experimentellen Ergebnissen angewendet. Ein einfaches Beispiel anhand eines Zahnradpaares wird im Rahmen des Artikels kurz beschrieben und simulierte Ergebnisse werden kurz präsentiert.

In this paper there will be described few words about multi body simulation (MBS) in mechanical engineering. A simple example of a gearbox will be modelled with this method and the results of the simulated MBS model for calculated force, torque and accelerometer will be presented.

1 Einleitung

Steigender Wettbewerb zwischen Herstellern erfordert, dass neue Produkte immer schneller auf dem Markt eingeführt werden müssen. Dies darf jedoch keinen Einfluss auf die Qualität des Produktes haben. Zusätzlich sind dabei solche Merkmale wie Lebensdauer, Betriebsfestigkeit und gesamte Kosten des Produktes zu beachten. Die Erfüllung der Anforderungen stellt den Ingenieuren vor neue Aufgaben. Dieses Ziel lässt sich als Entwicklungsprozess bezeichnen, der mit verschiedenen Mitteln erreicht werden kann. Dazu zählen Methoden wie folgt:

- Analytische Methode
- Experimentelle Methode
- Hybridmethode

Die analytische Methode liefert ein Modell, das den entworfenen Prozess mathematisch und physikalisch beschreibt. Sie basiert normalerweise auf vereinfachten theoretischen Annahmen, die noch mit realen Bedingungen konfrontiert und verglichen werden muss. Die anhand analytischer Methode erhaltenen Ergebnisse liefern ein Verhalten des Modells aber nur näherungsweise.

Die experimentelle Methode basiert auf Versuchen, die auf einem Prototyp durchgeführt wurden. Aber die Herstellung des Prototyps ist sehr aufwendig und die Durchführung von Versuchen ist zeitaufwendig. Im Gegenteil zur analytischen Methode ist diese sehr genau, weil sie reale Betriebsbedingungen abbildet.

Die Hybridmethode verbindet beide oben genannten Methoden, die als Ziel die Verringerung von Kosten und Zeitaufwand bei Versuchen hat. Hier werden Prototypen nach numerischen Modellen gebaut. Die durchgeführten Versuche dienen zur Verifizierung des Modells, was als Folge Begrenzung der Prototypenzahl hat.

Die Erfüllung der Forderungen aus dem Anfang des Artikels ermöglichen die numerischen Methoden, die aus klassischen analytischen Methoden hergeleitet wurden. Mit der Hybridmethode können die numerischen Modelle verglichen werden, um einen Vergleich zwischen Theorie und Praxis zu schaffen.

Zu den numerischen Methoden kann man das Modellieren von Anlagen mit Hilfe von CAD-Systemen (Computer Aided Design), FE-Methode (Finiten Elemente Methode) oder MKS (eng.: MBS – Multi Body Simulation) zählen. Die FEM und MKS lassen sich sowohl getrennt als auch gemeinsam anwenden. Die Kombination von beiden Methoden liefert ein besseres Ergebnis von untersuchten (simulierten) Konstruktionen. Ein korrekt gebautes Modell ermöglicht eine genauere Analyse von mechanischen und dynamischen Eigenschaften bei relativ kleinerem Finanzaufwand. Damit kann eine Vorbereitung von mehreren Konstruktionslösungen, ihre numerische Untersuchung und Auswahl der besten Variante innerhalb kürzerer Zeit erreicht werden. Dieser Vorteil hat besondere Bedeutung für die Industrie und unterstützt die Arbeit von Ingenieuren.

2 Mehrkörper Simulationsmethode

MKS ist keine neue numerische Methode und wird zur Modellierung des dynamischen Verhaltens von Konstruktionen sowohl in vielen Forschungs- und Entwicklungszentren als auch in Industrie (Automobil-, Schienen-, Luftfahrtindustrie und Medizin) eingesetzt. Diese Art der Modellierung verwendet Elemente wie starre Körper, Federdämpfer-Elemente und definierbare Randbedingungen (z.B.: äußere Kräfte, Momente, Geschwindigkeit, Verschiebung). Die starren Körper lassen sich beliebig durch Verbindungselemente zusammen verbinden. Wichtig dabei ist, dass die Körper durch Masse, Trägheitsmomente und Schwerpunkt definiert sind. Sie werden als Massenpunkte im Modell abgebildet. Die Verbindungselemente werden durch Feder und Dämpfer abgebildet und dazu braucht man genauere Angaben für Steifigkeit und Dämpfung, die die Relation zwischen den verbun-

denen Körper abbildet. Sie werden im Modell als massenlose Elemente betrachtet.

Zusätzlich enthält das Modell Koordinatensysteme und zentrale Hauptträgheitsachsen. Wichtig für die Modellierung sind Freiheitsgrade (DOF) des Körpers, Lasten, ihre Verläufe (z.B. Zeitabhängigkeit) und in welchen Punkten des Modells sie angebracht sind.

Eine schematische Darstellung eines MKS- Modells ist in dem

Bild 1 zu sehen.

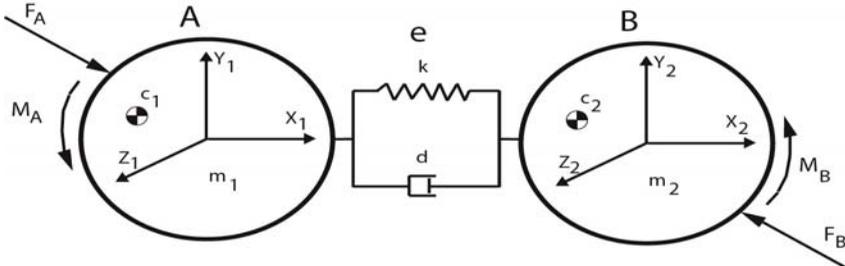


Bild 1: MKS Modell von 2 starren Körper (A, B) verbunden mit einem Verbindungselement e

Die angegebenen Daten ermöglichen die Aufstellung von einem Differentialgleichungssystem, das das untersuchte Produkt abbildet und dessen Lösung die geforderten Informationen liefert. Die detaillierte Vorgehensweise zur MKS-Modellierung wird im Buch /1/ erläutert.

Die Aufstellung von Differentialgleichungssystemen für reelle Konstruktionen ist eine schwierige Aufgabe, besonders wenn die Anlagen aus vielen Komponenten bestehen. Deswegen wurde das MKS-System so aufgebaut, dass man keine Gleichungssysteme bauen muss. Die Modelle werden im ersten Schritt durch Übertragen von fertigen Körpern mit ihren Eigenschaften (Masse, Trägheitsmomente) zusammengesetzt, die im üblichen CAD Systemen erzeugt wurden.

Als Nächstes werden die Freiheitsgrade (translatorisch, rotatorisch) der Körper definiert. Um einen Mechanismus zu erzeugen, müssen die Verbindungselemente und Randbedingungen definiert werden.

Ein so gebautes Modell wird automatisch über das System in ein Gleichungssystem umgewandelt, das daraufhin iterativ gelöst wird. In der Regel dauert die Lösung eines solchen Systems nicht lange und ist kürzer als bei der FE-Methode. Das ist vorteilhaft, weil es ermöglicht, eine Optimierung und eine Änderung des Modells im Fall von unbefriedigenden Simulationsergebnissen schnell durchzuführen.

Die Simulationen können für einen gewissen Zeitabschnitt gemacht werden und dann bekommt man als Ergebnis einen zeitlichen Verlauf von einer gewünschter Größe (Kraft, Moment, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Verschiebung, Verdrehung, usw.). Da die Lösung

für mehrere Punkte des Modells (Starre Körper) erfolgt, ist es möglich einen Punkt auszuwählen und die Verläufe dort genauer zu analysieren. Diese Ergebnisse lassen sich mit den reellen gemessenen Ergebnissen vergleichen, um eine Kontrolle des Modells zu erreichen.

MKS-Systeme ermöglichen eine Simulation von Verläufen für angegebene Randbedingungen (Anfangswerte), wie Auslenkung, Geschwindigkeit, Beschleunigung (translatorisch, rotatorisch) bzw. Kräfte und Momente in definierten Punkten. MKS bietet auch die Möglichkeit eine graphische animierte Darstellung von kinematischen Zusammenhängen des Modells, sowohl zur Kontrolle, als auch für ein besseres Verständnis von beweglichen Teilen in der betrachteten Anlage zu erstellen.

3 Modell von Zahnradgetriebe

Zur Abbildung der MKS-Methode wird die Vorgehensweise bei der Modellierung eines Zahnradgetriebes in diesem Kapitel erläutert. Zur Analyse wurde ein Zahnradgetriebe mit gerader Verzahnung gewählt. Die Parameter des Getriebes sind in der **Tabelle 1** zu sehen.

Zum Modell gehören neben den Zahnrädern noch zwei Wellen mit 50 mm Durchmesser und 100 mm Länge. Eine 3D- Darstellung des Modells ist in **Bild 2** gezeigt.

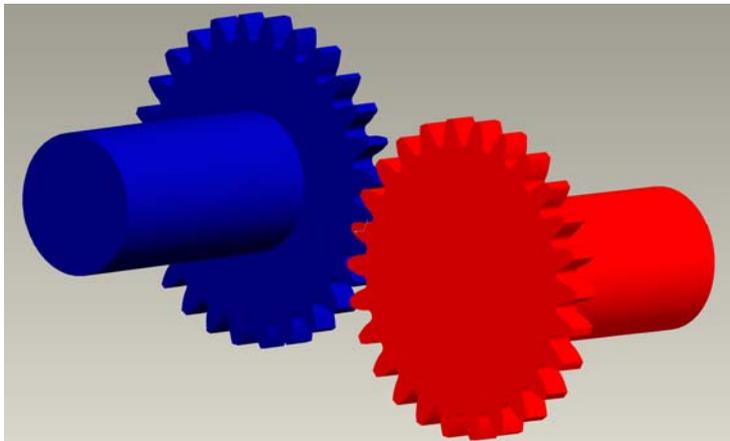


Bild 2: 3D CAD Modell von simulierten Getriebe

Kleines Zahnrad 1 (Ritzel)	
Verzahnungsart	Evolvente, gerade
Zähnezahl z_1	26
Modul m	4 [mm]
Kopfkreisdurchmesser d_a	112 [mm]
Fußkreisdurchmesser d_f	94 [mm]
Zahnbreite b	10 [mm]
Zahnrad 2 (Rad)	
Verzahnungsart	Evolvente, gerade
Zähnezahl z_1	27
Modul m	4 [mm]
Kopfkreisdurchmesser d_a	116 [mm]
Fußkreisdurchmesser d_f	98 [mm]
Zahnbreite b	10 [mm]

Tabelle 1:Daten von analysierten Zahnradern

In dem Fall haben alle Körper nur einen definierten Freiheitsgrad, um die Drehung um die Drehachse zu gewährleisten. Die Zahnräder wurden mit einem Eingangsmoment (zeitveränderlicher Verlauf) angetrieben, dessen Verlauf ist im Bild 3 zu sehen. Damit die Realität abgebildet wird, wird zusätzlich zur Ausgangswelle ein Lastmoment definiert. Das Lastmoment ist hier konstant und beträgt in dem Fall 10 Nm.

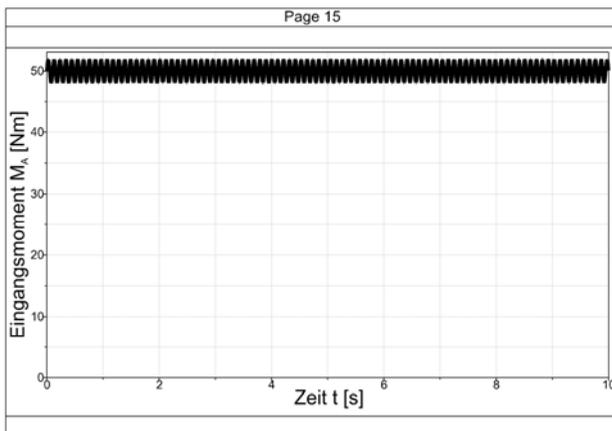


Bild 3: Verlauf des Eingangsmomentes vom simulierten Getriebe

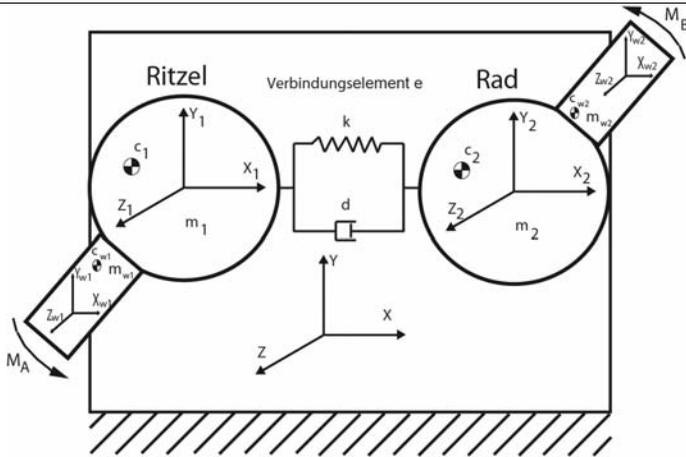


Bild 4: Schematische Darstellung des MKS-Modells

Das Bild 4 stellt das MKS Modell vom implementierten Getriebe dar. Neben starren Körpern (Ritzel, Rad, Welle1, Welle2) wird ein Verbindungselement eingesetzt, das beide Räder verbindet. Dieses Element wurde aus der Standardbibliothek des MKS-Systems genommen, aber es gibt die Möglichkeit für komplizierte Bauteile (z.B. Gleitlager) ein eigenes Element zu definieren und einzusetzen.

4 Ergebnisse der Simulation

Das dargestellte einfache Modell eines Zahnradgetriebes wurde mit Hilfe von SIMPACK Software simuliert. Die große Anzahl von generierten Verläufen, die in jedem vorher definierten Punkt errechnet wurden, zwingt zur Auswahl von Ergebnissen, die in dem Artikel präsentiert werden. Anhand der Verläufe ist eine genauere Analyse des Elementes möglich und die gewonnenen Informationen können für Berechnung von Maschinenelementen der Anlage (z.B.: Lagerauslegung) genutzt werden. Im Bild 5 sind Verläufe für Kräfte im Getriebe zu sehen.

Es ist möglich auch Verläufe von Momenten in den Punkten des Modells zu generieren und analysieren. Diese Verläufe sind im Bild 6 gezeigt. Aus diesem Bild lässt sich ablesen, dass das Moment auf der Ausgangswelle (3) die Werte vom Eingangsmoment (1) erst nach gewisser Zeit erreicht.

Für das dynamische Verhalten des Getriebes wichtig sind auch Verläufe von Beschleunigungen und ein solcher Verlauf für die Winkelbeschleunigung des Ritzels ist in Bild 7 dargestellt. Diese Beschleunigung kann als Antwort des Ritzels auf die Anregung durch das Lastmoment (Eingangsmoment) betrachtet werden.

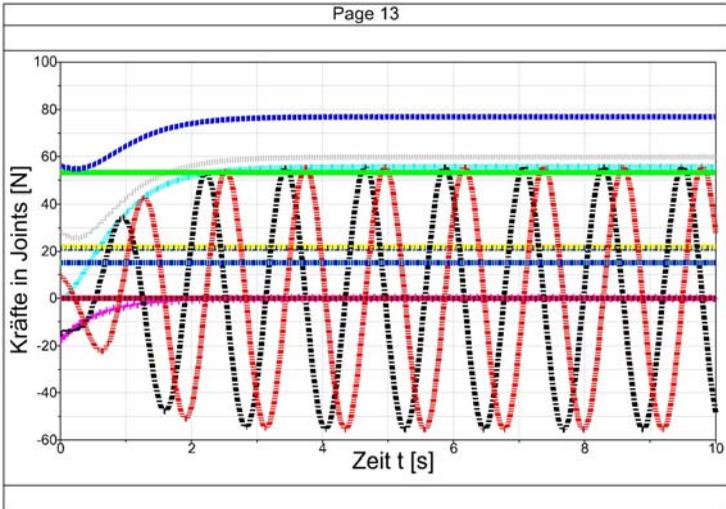


Bild 5: Simulierte Kraftverläufe in dem MKS-Modell vom Getriebe

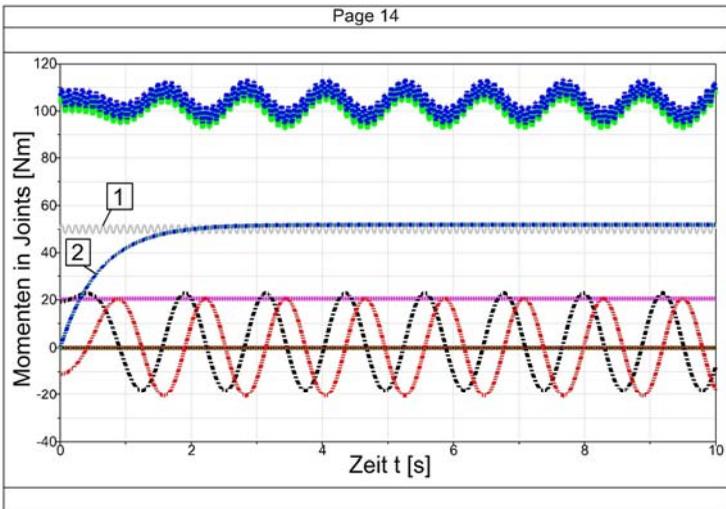


Bild 6: Simulierte Momente in dem MKS-Modell vom Getriebe

5 Zusammenfassung

Die dargestellte Modellierungsart lässt sich ganz gut zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses einsetzen und die dargestellten

Ergebnisse präsentieren nicht alle Möglichkeiten der Methode. Diese Ergebnisse sollen nur als Einführung betrachtet werden.

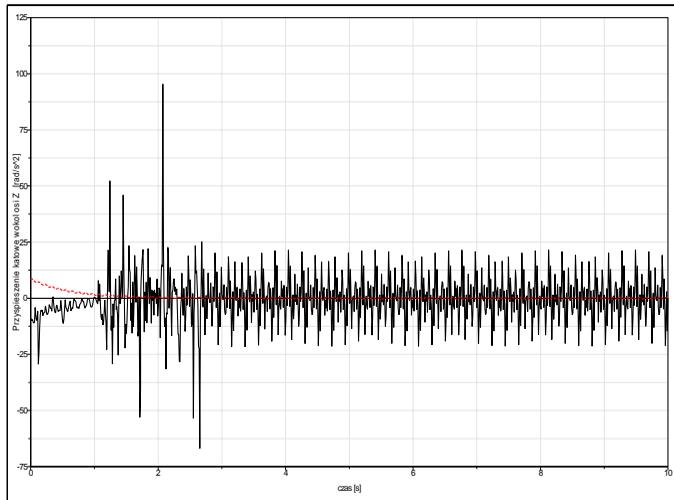


Bild 7: Simulierte Beschleunigung in dem MKS- Modell vom Getriebe

Bei dem heutigen Stand der Technik ist eine Kopplung von Messsignalen von Kräften, Momenten, Beschleunigungen, usw. auf den reellen Objekten wie Zahnradgetrieben mit Simulationen möglich. Solche Signale können direkt als Eingangsfunktionen für Randbedingungen genommen werden und nach dem Simulationsvorgang die künstlich erzeugten Ergebnisse mit entsprechenden reell aufgenommenen Antworten verglichen werden.

6 Literatur

- /1/ Kruszewski, J., Sawiak, S., Wittbrodt, E.: Metoda sztywnych elementów skończonych w dynamice konstrukcji. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999
- /2/ Vöth, S.: Dynamik schwingungsfähiger Systeme. Von der Modellbildung bis zur Betriebsfestigkeitsrechnung mit MATLAB/SIMULINK. Vieweg, Wiesbaden 2006
- /3/ Krings, W., Waller, H.: Matrizenmethoden in der Maschinen- und Bauwerksdynamik. Bibliographisches Institut AG, Zürich 1975
- /5/ SIMPACK Reference. INTEC GmbH, Wessling 2007

Neuer Verspannprüfstand dringt in den Leistungsbereich über 500 kW vor

Lau, P.

Das Prüffeld des IMW ist weiter verstärkt worden: seit neuestem verfügt das IMW über einen Verspannprüfstand, dessen umlaufende Leistung in eine neue Dimension vorstößt. Zunächst werden auf dem „großen Gelenkwellenprüfstand“ Kreuzgelenkwellen aus dem Schienenfahrzeugbereich untersucht – im Anschluss steht er dann für Untersuchungen jeglicher anderer Bauteile zu Verfügung.



The Institute's test bay was upgraded recently: now the Institute of Mechanical Engineering has a new driveline and transmission test rig with a revolving power at its disposal that achieves a new testing dimension. The first subjects of investigation will be cardan shafts out of the rail vehicle area – afterwards it is available for testing various other components.

1 Das Konzept

Der Verspannprüfstand ist gemäß dem in **Bild 1** dargestellten Konzept aufgebaut. Sein Verspannkreis wird über zwei Wellenstränge geschlossen, die durch die beiden links und rechts dargestellten Getriebe A und B verbunden sind.

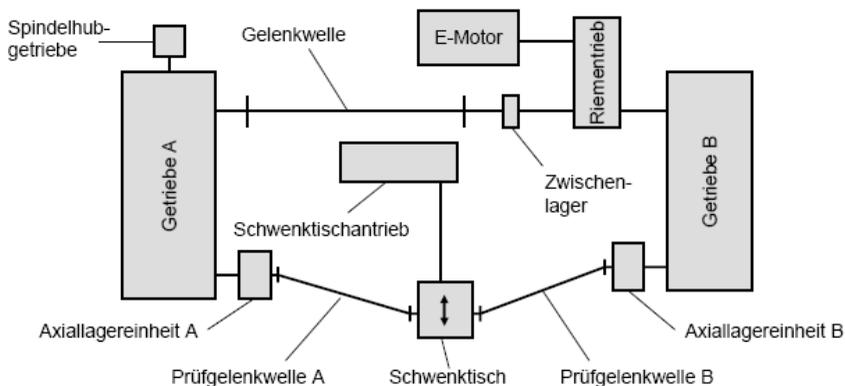


Bild 1: Schematischer Aufbau des „großen Gelenkwellenprüfstands“

Die Verspannung wird dadurch erreicht, dass das Getriebe A mittels des eingezeichneten Spindelhubgetriebes um die Achse der unteren Getriebewelle gedreht wird.

Im gegenwärtigen Zustand nimmt der Prüfstand im unteren Wellenstrang (**Bild 1**) zwei Gelenkwellen mit einer Länge von je 880 mm auf. Die aktuell eingestellten Versuchsparameter im Prüfteil-Wellenstrang sind eine Umdrehungszahl von 600 U/min bei einem Verspannmoment von 9000 Nm – damit ergibt sich eine umlaufende Leistung von 565 kW. **Bild 2** vermittelt einen Eindruck vom Aufbau des Prüfstands.



Bild 2: Der ausgeführte „große Gelenkwellenprüfstand“

Das Clausthaler Konzept für Grundlast von der Nordsee

Dietz, P.; Rolshofen, W., Schäfer, G.

In Zeiten knapper werdender Energieressourcen und vor dem Ziel des Deutschen Bundestages den Anteil von Strom aus erneuerbarer Energie von zurzeit ca. 15% bis zum Jahr 2020 zu verdoppeln, ist die Wissenschaft herausgefordert, neue Lösungen zur Energiegewinnung zu erforschen. Daher haben Experten der TU Clausthal ein Konzept entwickelt, wie die Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen gelöst wird und gleichzeitig eine Grundlastversorgung sichergestellt ist.



In days with narrower energy resources and to achieve an aim of German Parliament that amount of electric power produced by renewable energy of 15% at present which shall be doubled in year 2020, science is challenged to find new solutions for energy extraction. Due to this, experts at the Technical University of Clausthal have developed a concept to work out grid integration of offshore wind turbines as well as base load supply at the same time.

1 Einleitung

Der Lebensstandard und Wohnkomfort in den Industriestaaten hängt maßgeblich von der verfügbaren Energie ab. Aufgrund von knapp werdender fossiler Energieträger bei gleichzeitig steigendem Bedarf sind alternative Konzepte zur Energieerzeugung zu entwickeln.

Als Lösung bieten sich regenerative Energien an. Deren Anteil an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2007 beträgt ca. 15%, wobei der Hauptanteil aus Windkraft (6,2%) und Wasserkraft (4,4%) besteht (s. Bild 1). Mit Beschluss des Deutschen Bundestages vom 6. Juni 2008 soll dieser Anteil aus erneuerbaren Energien im Jahr 2020 bei mindestens 30% liegen /1/. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung soll dabei verstärkt auf Offshore-Windenergie gesetzt werden /2/.

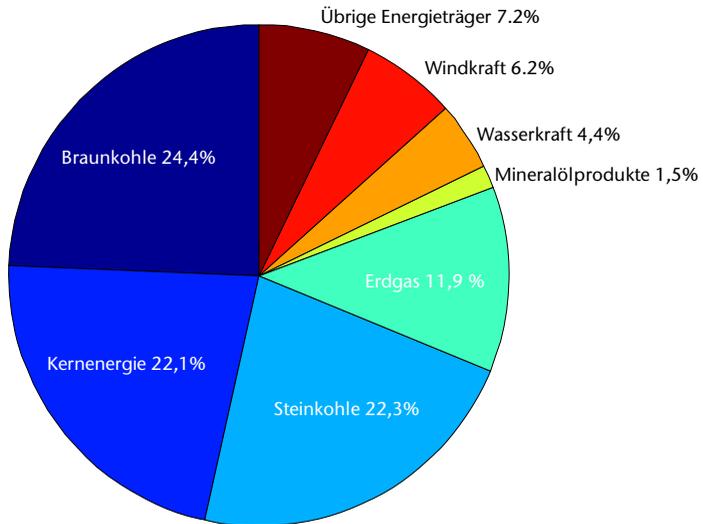


Bild 1: Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern im Jahr 2007 /Quellen: Statistisches Bundesamt; Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.; Statistik der Kohlenwirtschaft e.V.; AG Energiebilanzen e.V./.

2 Problematik

Trotz besserer meteorologischer Bedingungen auf See ist die Windenergie witterungsabhängig, was zu enormen Fehlanpassungen zwischen Erzeugung und Bedarf führt.

So kann es beispielsweise vorkommen, dass es zu Zeiten einer hohen Netzlast (in den frühen Morgenstunden) eine Flaute gibt, die durch andere Kraftwerke ausgeglichen werden muss. Im umgekehrten Fall kann es zu einer Überlastung des Netzes kommen.

Angemerkt sei ebenfalls, dass hohe Investitionskosten für die Anbindung des Offshore-Windparks an das Verbundnetz anfallen aufgrund von großen Entfernungen zur Küste. Diese sind erforderlich, da sich in Deutschland küstennah zumeist Naturschutzgebiete befinden und vielfach Touristen keine Windmühlen am Horizont sehen möchten.

3 Lösung durch das Clausthaler Konzept

Damit die Schwankungen in der Energieerzeugung durch einen Offshore-Windpark ausgeglichen werden und sich besser an den tatsächlichen Bedarf anpassen lassen, haben Forscher an der TU Clausthal (TUC) ein Konzept entwickelt, das die Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen ermöglicht.

In einem Forschungsvorhaben für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) wurde untersucht, ob eine Integration unterschiedlicher Energieressourcen zu einem Offshore-Verbundkraftwerk sogar eine Grundlastversorgung durch Windenergie erlaubt.

Der Grundgedanke beim untersuchten Konzept ist der Ausgleich der Windschwankungen in unmittelbarer Nähe des Windparks, damit die Übertragungskapazität der Netzanbindung immer vollständig ausgenutzt wird. Sollte es vorkommen, dass mehr Windenergie vorhanden ist als das Verbundnetz bedarf, dann kann dieser Überschuss umgewandelt werden. Dabei wird ein Kompressor angetrieben, um Luft in eine Kaverne (künstlich geschaffener, unterirdischer Hohlraum) zu pressen. Somit lässt sich überschüssige Windenergie zwischenspeichern bis die Windenergieeinspeisung ins Verbundnetz absinkt. Dann wird die eingespeicherte Druckluft über eine Turbine entspannt, die einen Generator antreibt. Bei diesem Verfahren entsteht bei der Kompression der Luft Wärme, die an die Umgebung abgegeben wird. Außerdem muss die entspannte Luft vorgeheizt werden, um ein Vereisen der Aggregate zu vermeiden. Deswegen bietet sich an, dass die Kompressionswärme ebenfalls zwischengespeichert wird - in einem Wärmespeicher, um die Luft beim Entladen aus der Kaverne damit vorzuwärmen. Man nennt dieses Wirkprinzip adiabatische Druckluftspeicherung und diese verfügt über einen besseren Wirkungsgrad als die diabate Speicherung.

Weil die Speicherkapazität der Kavernen begrenzt ist und die Erzeugung elektrischer Energie mit diesem Verfahren nicht so schnell auf Änderungen der Windgeschwindigkeit reagiert, besteht eine weitere Komponente des Verbundkraftwerkes aus der Verstromung von sogenanntem Schwachgas. In der Nordsee sind mehrere Lagerstätten dieses Gases vorhanden, welches allerdings durch einen hohen Anteil an molekularem Stickstoff (N_2) verdünnt ist, so dass der Heizwert reduziert ist und unterhalb von $8,5 \text{ MJ/Nm}^3$ liegt. Aufgrund dieses hohen Gehaltes an N_2 ist eine direkte Verwertung nicht möglich und ein Transport durch eine Pipeline ans Festland nicht rentabel. Aber Beispiele belegen, dass diese Gaszusammensetzung in einer Turbine verbrannt werden kann. Daher bietet sich eine Stromerzeugung

mittels Schwachgas als Ergänzung zur Windenergie und Kavernenspeicherung direkt vor Ort an.

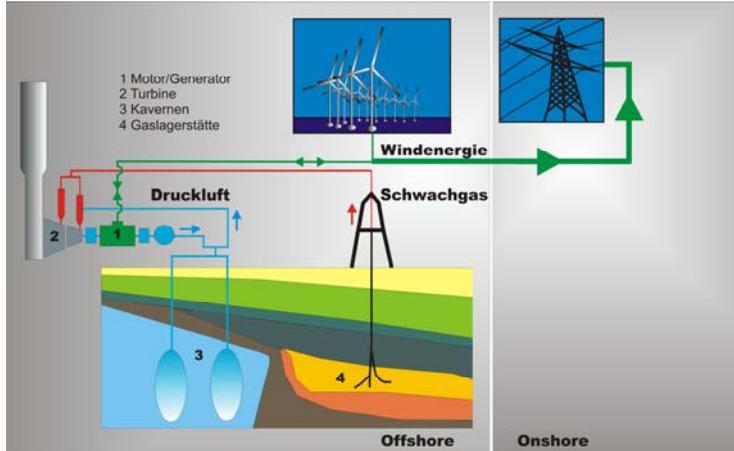


Bild 2: Integration unterschiedlicher Energiequellen zur Grundlastversorgung auf dem Festland durch ein Offshore-Verbundkraftwerk auf Basis erneuerbarer Energien /3/

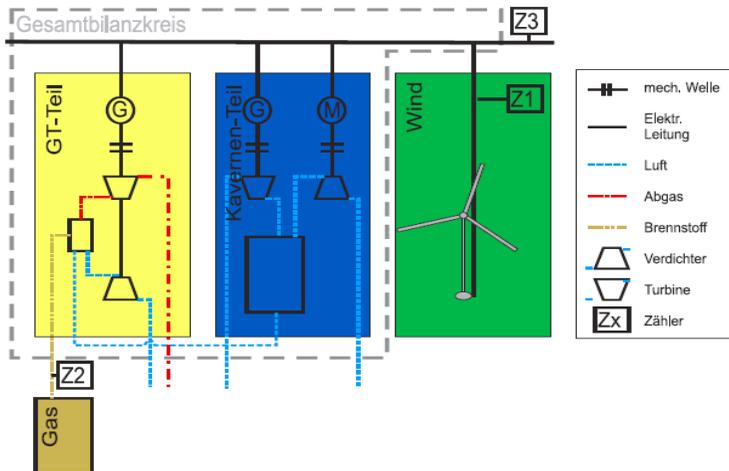


Bild 3: Schaltschema des Offshore-Verbundkraftwerks /3/

Die Grundlastversorgung durch ein Offshore-Verbundkraftwerk setzt sich deswegen aus den Komponenten Windenergie, Druckluftkaver-

nen und Schwachgasverstromung zusammen, die in Bild 2 dargestellt sind. Die Verschaltung der einzelnen Teile zeigt Bild 3, woraus sich auch der Gesamtbilanzkreis ergibt. Um die Wirkungsweise eines solchen Verbundes abzuschätzen und offene Forschungsfragen in diesem Zusammenhang festzustellen, haben Experten an der TUC dessen Machbarkeit untersucht.

4 Realistische Rahmenbedingungen

Bewusst hat sich das Konsortium dafür entschieden, dass das Konzept anhand eines realen Szenarios entwickelt wird. Die Wahl fiel dabei auf den Offshore-Windpark alpha ventus (Testfeld Borkum-West), da dieser bereits genehmigt ist und als Testanlage für die Offshore-Windenergie gilt. Dort sollen 12 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 60 MW aufgestellt werden. Das Betreiberkonsortium Deutsche Offshore-Testfeld- und Infrastrukturgesellschaft mbH & Co KG (DOTI) von alpha ventus besteht aus E.ON Energy Projects GmbH, EWE AG und Vattenfall Europe New Energy GmbH.

Zur räumlichen Einordnung, wo sich dieses Gebiet für den ersten deutschen Offshore-Windpark befindet, ist eine Übersichtskarte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) für die Nordsee in Bild 4 dargestellt. Der Windpark alpha ventus befindet sich im Zentrum des gepunkteten Kreises; direkt an der Leitung zur Netzanbindung. Dort beträgt die Wassertiefe ca. 30m und die Küstenentfernung ca. 45km.

Kohlenwasserstoffe wie das benötigte Schwachgas sind Bergfreie Bodenschätze und dürfen nach dem Bundesberggesetz nur mit einer vom Staat erteilten Bergbauberechtigung aufgesucht und gewonnen werden. Die Erlaubnisgebiete für Kohlenwasserstoffe in der Deutschen Nordsee sind einer Karte des zuständigen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Bild 5 eingezeichnet. Auch hier ist die Lage des Offshore-Windparks alpha ventus durch den gepunkteten Kreis hervorgehoben. Dieser befindet sich im Erlaubnisgebiet B20008/71. Außerdem sind die Bohrlokationen von Explorationsaktivitäten in diesem Gebiet eingetragen (z.B. D1, A1, E1, L3-1 und H18-1).

In einem direkten Vergleich zwischen Geologie und Geographie (s. Bild 6) sind alle wesentlichen Merkmale für ein Offshore-Verbundkraftwerk erkennbar.

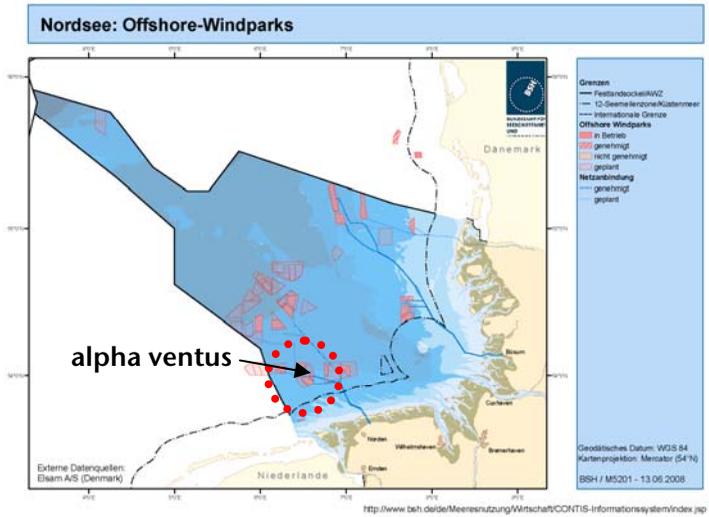


Bild 4: BSH-Karte: Nordsee - Offshore Windparks Pilotgebiete /4/

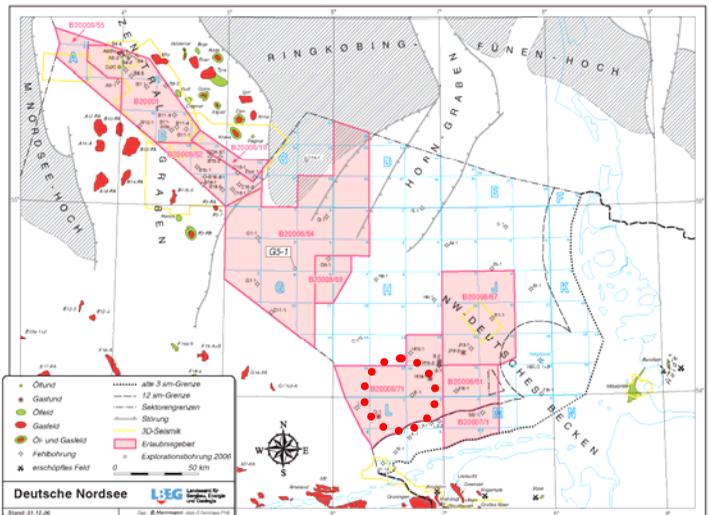


Bild 5: Erlaubnisgebiete für Kohlenwasserstoffe in der Deutschen Nordsee /5/

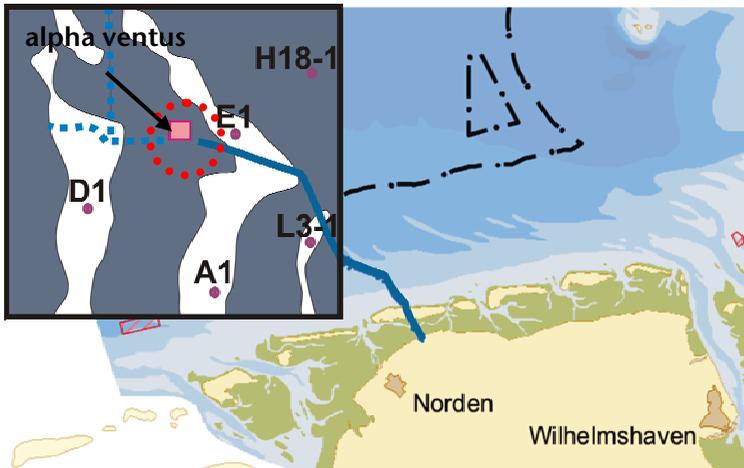


Bild 6: Erlaubnisgebiete für Kohlenwasserstoffe in der Deutschen Nordsee
(Quelle: eigene Darstellung nach Unterlagen BSH und LBEG)

Der viereckige Ausschnitt in Bild 6 vermittelt einen Blick in die Tiefe und zeigt die Salzstrukturen (helle Bereiche) in diesem Gebiet der Nordsee. Angemerkt sei, dass sich alle Bohrungen bis auf H18-1 direkt über einem Salzstock befinden und lediglich D1 und H18-1 bei den Suchbohrungen aus den Jahren 1965 und 1983 mit der damals vorhandenen Technologie als fündig gekennzeichnet sind (s. Bild 5).

Die notwendigen Rahmenbedingungen wie ein Salzstock für die Speicherkaverne sowie eine Gaslagerstätte scheinen in dem untersuchten Gebiet vorhanden und geeignet. Ob an diesem Standort tatsächlich ein Offshore-Verbundkraftwerk betrieben werden kann, muss durch weitere Untersuchungen überprüft werden.

Dies gilt insbesondere für die dortige Gaszusammensetzung, damit eine entsprechende Turbine ausgewählt werden kann. Eine Aufgabe des Institutes für Maschinenwesen (IMW) bestand innerhalb der Projektstudie in der Auslegung geeigneter Turbinen, doch diese hängt wesentlich von der Gasqualität der Lagerstätte ab. Für einen Einsatz von Schwachgasturbinen offshore sind konstruktive Anpassungen bestehender Anlagen notwendig, die im Rahmen weiterer Forschungsaufgaben gelöst werden müssen.

5 Zusammenfassung

Ein interdisziplinäres Team von Experten der TU Clausthal konnte zeigen, dass das vorgeschlagene Konzept die Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen technisch löst und eine Grundlastversorgung sicherstellt. Außerdem lässt sich unter der Berücksichtigung aller volkswirtschaftlichen Kosten feststellen, dass das Clausthaler Konzept wettbewerbsfähig ist. Nun gilt es, diese Clausthaler Idee in die Praxis umzusetzen.

6 Literatur

- /1/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung, Stand: Juni 2008
- /2/ Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See- im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, Januar 2002
- /3/ TU Clausthal (Herausgeber), Dietz, Peter (Projektleitung): Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen – Grundlast von der Nordsee, Papierflieger, Clausthal-Zellerfeld, 2008, ISBN 978-3-89720-978-7
- /4/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- /5/ Jahresbericht des LBEG "Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2006"

Konstruktion und Berechnung von
Maschinenelementen



Konstruktionsmethodik und
rechnerunterstützte Produktentwicklung



Systementwicklung, Versuchstechnik
und Maschinenakustik



Lehre und Institutsbetrieb



Hochschule und Kontakte



Gütesiegel des Fakultätentages Maschinenbau und Verfahrenstechnik FTMV e.V.



Im Rahmen der 4ING Fachkonferenz und gemeinsamen Plenarversammlung von vier Fakultätentagen Bauingenieurwesen und Geodäsie, Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik sowie Maschinenbau und Verfahrenstechnik in Aachen wurden am 15. Juli 2008 zum ersten Mal die Gütesiegel des Fakultätentages Maschinenbau und Verfahrenstechnik (FTMV) verliehen.

Within the 4ING conference of experts and colloquial plenary assembly of four faculty days' constructional engineering and geodesy, electrical engineering and information technology as well as machinery and technology in Aachen the seal of the machinery and technology (FTMV) has been awarded for the first time on 15 July 2008.

1 Grundlage

Grundlage des Gütesiegels ist eine entsprechende Ordnung zur Verleihung des Gütesiegels des Fakultätentages Maschinenbau und Verfahrenstechnik e.V. (FTMV), die am 31.03.2008 in Frankfurt/M. auf seiner außerordentlichen Plenarversammlung beschlossen wurde. In der Präambel heißt es „Der Fakultätentag Maschinenbau und Verfahrenstechnik vergibt für die Erfüllung der Qualitätsanforderungen in Lehre, Forschung und Organisation an Fakultäten / Fachbereiche des Maschinenbaus und der Verfahrenstechnik das Gütesiegel des FTMV e.V.“

Die Vergabe des Gütesiegels wird für die Dauer von 3 Jahren vergeben und erfolgt in Form einer Urkunde an die beantragende Fakultät. Die Beantragung des Gütesiegels kann jährlich beim Fakultätentag Maschinenbau und Verfahrenstechnik erfolgen.

2 Ziele des Gütesiegel

Das Gütesiegel des FTMV bezweckt die folgenden Ziele:

- Sicherstellung der Qualität in Lehre, Forschung und Organisation

- Zertifizierung und Dokumentation für die Erfüllung von Qualitätsanforderungen in den Kriterien Lehre, Forschung und Organisation
- Dauerhaftes Anreizsystem zur Verbesserung der Qualität in Forschung, Lehre und Organisation

3 Erlangung des Gütesiegel

Für die Erlangung des Gütesiegels ist es erforderlich, einen bestimmten Schwellenwert auf Grundlage einer Datenermittlung, Auswertung, Bewertungsschema mit Bewertungsfunktionen und Gewichtungsfaktoren zu überschreiten /2/.

Die Ergebnisse, Auswertung der Datenanalyse wurden darüber hinaus der jeweiligen Fakultät mitgeteilt und dienen zur Standortbestimmung und zur gezielten Verbesserung der Qualität in Forschung, Lehre und Organisation.

Die aktuellen Bewertungsfunktionen des FTMV sind:

- Anzahl der wiss. Stellen in SFB/TR/TFB's pro Anzahl der Professoren
- Veröffentlichungen pro Jahr und wissenschaftliche Mitarbeiter (alle Fachzeitschriften + Konferenzbände)
- Veröffentlichungen pro Jahr und wissenschaftliche Mitarbeiter in allen Fachzeitschriften
- Veröffentlichungen pro Jahr und wissenschaftliche Mitarbeiter in den reviewed'ten Fachzeitschriften
- Veröffentlichungen pro Jahr und wissenschaftliche Mitarbeiter in den Konferenzbänden
- Wissenschaftliche Planstellen pro Professor
- Wissenschaftliche Drittmittelstellen pro Professor
- Anzahl wiss. Drittmittelstellen bezogen auf Anzahl wiss. Planstellen
- Gesamtbudget bezogen auf alle wiss. Stellen
- Anzahl der Patentanmeldungen pro Jahr und Professor
- Investitionsmittel Drittmittel pro Professor
- Internationale Fördergelder pro Jahr bezogen auf Gesamtbudget
- Gastforscherpersonenmonate pro Jahr und Professor
- Anzahl der Promotionen pro Jahr und pro Professor (gesamt, intern und extern)

- Anzahl der Studierenden pro Semester pro Anzahl der wissenschaftlichen Planstellen
- Anteil ausländischer Studierenden (gesamt, EU und Nicht-EU)
- Anteil weiblicher Studierenden
- Anteil des weiblichen wissenschaftlichen Personals
- Einbindung externer Lehrbeauftragter
- Studiendauer – Mittelwert und Median bezogen auf Regelstudienzeit

4 Gütesiegel 2008

Die Fakultät Informatik/Mathematik und Maschinenbau, Bereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik der Technischen Universität Clausthal hat am 15. Juli 2008 im Rahmen der 4ING-Fachkonferenz und Gemeinsamen Plenarveranstaltung von 4 Fakultätentagen das Gütesiegel für 2008 bis 2010 erhalten (siehe Bild 1 und 2). Das Gütesiegel erhielten 2008 weitere 14 Fakultäten von insgesamt 29 Mitgliedsfakultäten des FTMV.



Bild 1: Vergabe der Gütesiegel 2008

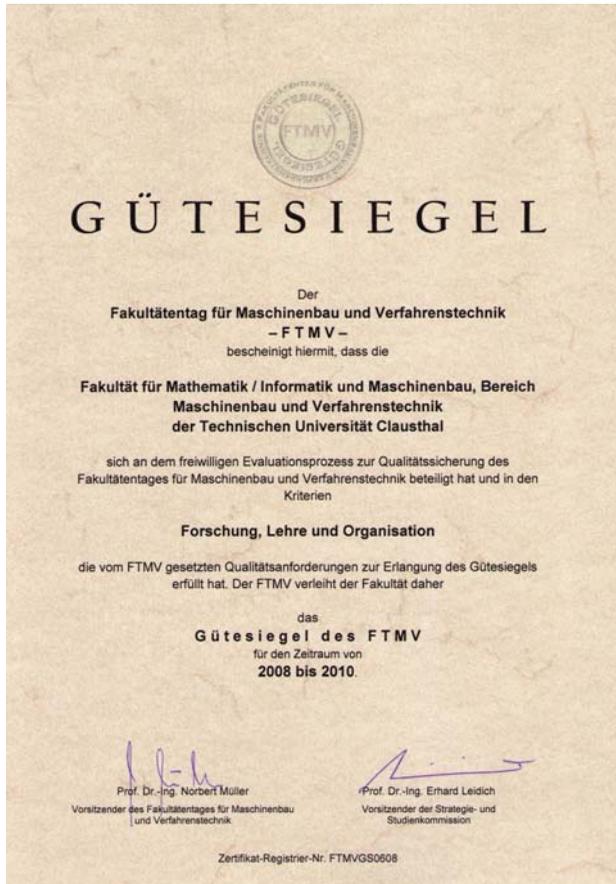


Bild 2: Gütesiegel

5 Literatur

- /1/ Müller, N.; Verleihung der FTMV-Gütesiegel; Zukunft Ingenieurwissenschaften -Zukunft Deutschland, S. 247-249, Springer-Verlag 2009, ISBN 978-3-540-89608-1
- /2/ Albers, A.; Enkler, H.-G.; Ein Verfahren zur Standortbestimmung und Strategiebildung von Fakultäten und Universitäten; Zukunft Ingenieurwissenschaften -Zukunft Deutschland, S. 223-245, Springer-Verlag 2009, ISBN 978-3-540-89608-1

Neuinstallierter 3D Drucker mit FDM-Technologie am Institut für Maschinenwesen

Siemann, E.

Seit Oktober verfügt das Institut für Maschinenwesen über einen 3D Drucker Dimension BST 768 der Firma Stratasys Inc./alphacam Fertigungssoftware GmbH. Damit ist es Studenten der Hochschule und Mitarbeitern möglich, die Fused Deposition Modelling Technologie, kurz FDM, genauer kennen zu lernen und für dreidimensionale Modelle zu nutzen.



Since October the Institute of Mechanical Engineering are able to use a Dimension BST 768 3D printer. Now students and scientific staff can use the fused deposition modelling technology.

1 Einleitung

Der FDM-Prozess gehört zu den generativen Fertigungsverfahren bei denen direkt aus dem Datenmodell der CAD-Anwendung heraus ein reales Endprodukt erzeugt wird. Im Fertigungsprozess wird das drahtförmige Ausgangsmaterial in einer beheizbaren Extrudierdüse aufgeschmolzen und durch einen integrierten Düsenkopf, der sich durch einen 2D-Mechanismus in X-Y-Richtung bewegt, gefördert. Diese Düse hinterlässt entlang ihrer Bahn, der Bauteilgeometrie, das aufgeschmolzene Material, welches auf der Bauplattform erneut erstarrt. Danach wird die Plattform um eine Schichtdicke in Z-Richtung abgesenkt und die nächste Schicht wird analog dazu erzeugt. Prinzipiell ist der Ablauf der Fertigung in **Bild 1** dargestellt.

Mit dieser Technologie können Bauteile innerhalb kürzester Zeit und mit geringen Kosten flexibel produziert werden. Das äußerst feste ABS-Baumaterial entspricht weitestgehend den Eigenschaften eines ABS-Serienbauteiles und ermöglicht so eine Anwendung der Teile für Ergonomie- und Funktionsversuche.

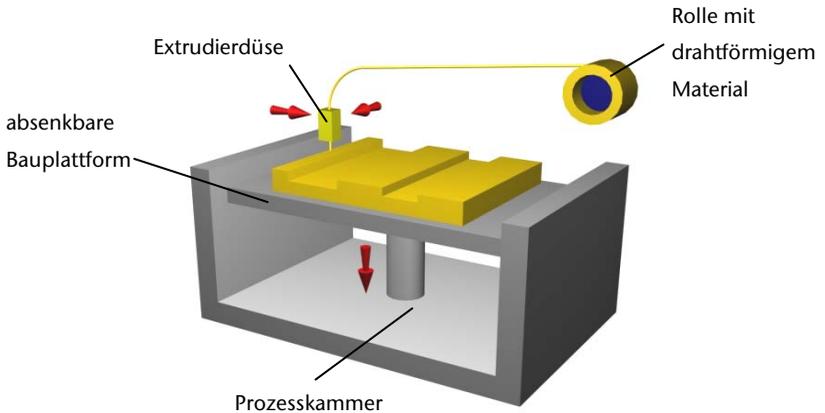


Bild 1: Schematische Darstellung des FDM-Bauprozesses /1/

2 Prozesskette

Wie das bereits am IMW installierte Selektive Lasersintern gehört das Fused Deposition Modelling zu den Rapid Prototyping Verfahren und ist somit ein Bindeglied zwischen Entwurf und Produktion. Startpunkt jeglicher Fertigungsprozesse ist dabei die 3D-CAD Konstruktion die zwingend als Volumenmodell vorliegen muss (siehe **Bild 2**), da aus diesem die Schichtinformationen für den späteren Bauprozess gewonnen werden. Die Schnittstelle zur weiteren Datenaufbereitung stellt die STL-Formatierung dar. Dieser STL-Datensatz entsteht, indem die Oberfläche des CAD-Modells mit kleinsten Dreiecken überzogen wird und so eine Annäherung an die tatsächliche dreidimensionale Geometrie erfolgt.

In der Datenaufbereitung die mit der Software Dimension CatalystEX 3.0 vorgenommen wird, können dann die Bauteile für den Bauprozess platziert, Stützstrukturen (Support) generiert und die Schichtinformationen erzeugt werden. Dies ist nötig, da zur Steuerung der Extrudierdüse beim Bauprozess diese mathematisch gleichen Schichten vom 3D Drucker im Bauprozess abgearbeitet und materiell umgesetzt werden.

Hierbei baut sich Schicht für Schicht ein vollständig generiertes Modell der CAD-Daten auf, dadurch lassen sich die kompliziertesten Konturen und räumlichen Geometrien in kürzester Zeit realisieren.

Die Endbearbeitung der Teile ist der letzte Schritt in der Prozesskette der FDM-Fertigung. Hier muss zum einen der Support vom Bauteil entfernt oder weitere konstruktive Features wie zum Beispiel Gewinde konventionell erstellt werden. Zum anderen kann eine Oberflächenveredelung oder Wärmebehandlung vorgenommen werden, um spezielle Eigenschaften der Bauteile zu erlangen. Die Palette der Optionen geht von Schutz gegen Temperaturschwankungen bis zu elektromagnetischer Abschirmung. Die dabei erzielten Oberflächen können ohne weiteres mit denen von Serienprodukten mithalten oder übertreffen diese sogar.

CAD-Konstruktion

- 3D-Konstruktion
- STL-Formatierung



Datenaufbereitung

- Platzieren der Bauteile
- Support generieren
- Schichten erzeugen
- CMB-Schnittstelle



FDM-Bauprozess

Finishen

- Support entfernen
- Möglichkeit des Schleifens, Lackierens, der NC-Bearbeitung und Wärmebehandlungen



fertiges Produkt



Bild 2: Fused Deposition Modelling Prozesskette

3 FDM-Anlage und Baumaterialien

Der 3D Drucker Dimension BST 768 wird von der Firma Stratasys Inc. hergestellt und vom deutschen Distributor alphacam Fertigungssoftware GmbH in Schorndorf vertrieben. Durch seine geringe Größe, Gewicht und seine Umweltverträglichkeit kann er ohne Probleme in einer Büroumgebung aufgestellt und betrieben werden. Seine Abmessungen sind ca. 0,7 m in der Breite, 0,9 m in der Tiefe, 1 m in der Höhe (ohne Maschinenunterschrank) und sein Gewicht beträgt 136 kg. Kommuniziert wird mit dem in der Anlage integrierten Rechner über eine Standard TCP/IP 100/10 Base-T Netzwerkschnittstelle.

Bauteile finden auf der (B x T) 203 x 203 mm großen Bauplattform Platz und können im bis zu 305 mm hohen Bauraum generiert werden.

Als Baumaterial steht das Thermoplast ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol Copolymerisat) zur Verfügung. Dieses Baumaterial gibt es für den Anlagentyp in den Farben weiß, blau, gelb, schwarz, stahlgrau, rot und grün. Wobei der Drucker diese aber nur Schichtweise wechseln kann und es ihm somit nicht möglich ist Farbverläufe zu erzeugen.

Die in **Tabelle 1** aufgezeigten Materialeigenschaften, wie unter anderem die Zugfestigkeit von 22 N/mm² und das Zug-Elastizitäts-Modul von 1627 N/mm², entsprechen in etwa zwei Drittel eines Standard ABS-Spritzgussbauteiles. Aufgrund dieser Werte ist es möglich die FDM Bauteile sehr flexible und seriennahe anzuwenden.

Mechanische Eigenschaften	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>	<i>Prüfmethode</i>
Zugfestigkeit, Type 1, 0.125	N/mm ²	22	ASTM D638
Zug-Elastizitäts-Modul, Type 1, 0.125	N/mm ²	1627	ASTM D638
Dehnung, Type 1, 0.125	%	6	ASTM D638
Biegefestigkeit	N/mm ²	41	ASTM D790
Biege-Elastizitäts-Modul	N/mm ²	1834	ASTM D790
IZOD-Schlagzähigkeit	J/m	214	ASTM D256
IZOD-Kerbschlagzähigkeit	J/m	107	ASTM D256

Thermische Eigenschaften	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>	<i>Prüfmethode</i>
Formbeständigkeit in der Wärme, bei 4,6 bar	°C	90	ASTM D648
Formbeständigkeit in der Wärme, bei 18,2 bar	°C	76	ASTM D648
Glasübergangtemperatur Tg	°C	104	ASTM (SSYS)

Spezielle Eigenschaften	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>	<i>Prüfmethode</i>
Spezifische Dichte	g/cm ³	1,05	ASTM D792
Rockwell-Härte		R105	ASTM D785
Vertikaler Brenntest (Entflammbarkeit)	mm	HB	UL 94
Elek. Durchschlagfestigkeit	kV/mm	32	IEC 60112
Dielektrizitätszahl (60Mhz)		2,4	IEC 60250

Tabelle 1: Dimension BST 768 Baumaterialeigenschaften /2/

Ein leichtes Entfernen der Stützstrukturen gewährleistet das Break Away Support System (BASS™), welches durch eine spezielle Bauweise und ein separates Supportmaterial das manuelle Entfernen gestattet. Das Supportmaterial geht beim Bauprozess keine feste Verbindung mit dem Bauteilmaterial ein.

4 Anwendungsmöglichkeiten des 3D Druckers

Das Spektrum der Anwendungen für die Dimension BST 768 am Institut reichen vom Lehrbetrieb bis hin zu Funktionsteilen für Prüfstände und Versuchsaufbauten.

In der Lehre soll der 3D Drucker den Studierenden aktuelle Fertigungsverfahren der Produktentwicklung im Rahmen von Vorlesungen, Übungen und Praktika näherbringen. Die Anlage unterstützt hierbei vor allem die Vorlesungen Rechnerintegrierte Produktentwicklung, Rechnerintegrierte Fertigung, Konstruktionselemente sowie die Praktika Rapid-Prototyping und Tooling und das CIM-Praktikum.

Den Studierenden kann so im Bereich der Rapid-Technologien ein neues Fertigungsverfahren praktisch vorgestellt werden und bietet ihnen so die Option eigene Konstruktionen in Übungen zu erstellen (siehe Bild 3 und 4).

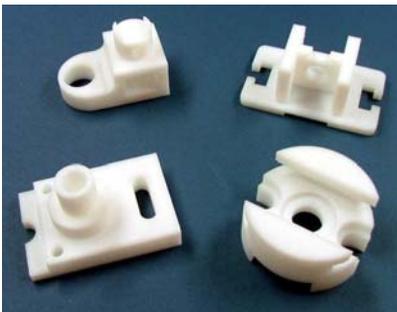


Bild 3: Übungsbauteile aus dem Kurs:
Technisches Zeichnen



Bild 4: Designelement /3/

Weiterhin konnten, wie Bild 5 und Bild 6 zeigen, erste Funktionsteile mit der FDM-Anlage generiert werden. Unter anderem entstanden hierbei mehrere Schnappverschlüsse zum Test der Flexibilität und ein optimiertes Hebelsystem eines Motorradhelm-Visiers.

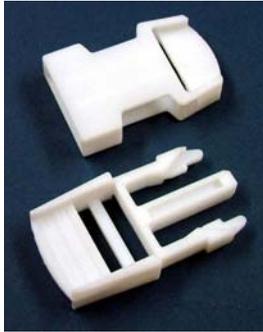


Bild 5: Schnappverschluss



Bild 6: Hebelsystem eines Motorradhelm-Visiers

Die angepasste Konstruktion des Hebels bewirkt eine Erhöhung der Festigkeit durch eine breitere Wandstärke, einer Führung der Feder und der Drehachse, sowie einer stärker ausgebildeten Rundung zur besseren Justierung des Visiers.

5 Zusammenfassung

Durch den installierten 3D Drucker können jetzt schnell und kostengünstig Prototypen und Funktionsteile aus ABS Material hergestellt werden. Die FDM-Technologie ermöglicht es hierbei Seriennahe Material- und Oberflächeneigenschaften der Bauteile zu generieren.

Diese geringen Kosten gestatten es in Praktika und Übungen den Studierenden dieses RP-Verfahren zugänglich zu machen und so die Anschaulichkeit und Qualität der Lehre zu erhöhen.

6 Literatur- und Quellenverzeichnis

- /1/ Müller, N.: Rechnerintegrierte Produktentwicklung: Übung „Rapid Prototyping and Rapid Tooling“, Clausthal-Zellerfeld, 2008
- /2/ Materialdatenblatt Acrylnitril-Butadien-Styrol Copolymerisat, Stratasys Inc., USA, 2006
- /3/ Bathsheba Sculpture LLC: Antichron, Santa Cruz, 2008

TU-Studierende nehmen Sachsens Industrie unter die Lupe

Ernst, C.; Jüttner, M.

Exkursion nach Dresden und Leipzig vom Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal: Die 20 Studenten aus dem ersten bis siebten Semester hatten ein prall gefülltes Programm zu absolvieren, das ihnen einen Einblick ins Berufsleben verschaffen sollte.



The Institute for Mechanical Engineering arranged a field trip to Dresden and Leipzig. 20 students from first to seventh semester attended a tight program to gain insight into professional life.

Zahlreiche Industriebesuche standen auf dem Plan. So schauten sich die Teilnehmer in Dresden einen Airbus-Prüfstand an, auf dem die Firma IABG einen Lebensdauertest für das Großraumflugzeug A380 durchführt. Außerdem wurden die Uhrenmanufaktur Glashütte, der Leipziger BMW-Standort sowie die Deutsche Solar AG und Choren Industries (Biodiesel) in Freiberg in Augenschein genommen.

„Da sieht man eben noch einen riesigen A380 im Test und ist kurze Zeit später in einer Uhrenmanufaktur, wo man ein Schraubchen nur noch unter der Lupe erkennen kann“, sagte der faszinierte Student Sascha Schmidt. Weitere Höhepunkte für die angehenden Maschinenbauer waren Führungen durch die Produktionsstätte des legendären DDR-Sportwagens aus dem Hause Melkus und durch das Siemens Dampfturbinenwerk in Görlitz. Die Vermittlung und Teile der Führung bei Siemens übernahm Dr. Detlef Haje, der einst an der TU Clausthal promoviert hatte. Beim Rundgang zeigten sich die Studierenden insbesondere von der Gewaltigkeit und der Konstruktion der Turbinen begeistert.

Obwohl die Tage mit bis zu vier Programmpunkten voll gepackt waren, stellte sich an den vier Abenden für die Studenten nicht die Frage, ob man sich ausruhen sollte. Es wurden beispielsweise die Stadt Dresden und die Frauenkirche besichtigt sowie das Nachtleben der Elbestadt erkundet. Diplom-Ingenieur Daniel Thoden, Leiter und Organisator dieser Maschinentechnischen Exkursion 2008, freute sich über die Unermüdlichkeit der Studenten – ein Zeichen dafür, dass ihnen die Tour nach Sachsen gefallen hat. „Obwohl die Exkursion

zeitlich recht eng war, würde ich jederzeit wieder teilnehmen, da sie mir sicherlich bei meiner Berufswahl helfen wird“, lobte Student Martin Dippold.



Bild 1: Probesitzen im legendären DDR-Sportwagen aus dem Hause Melkus.

Konstruktionslehre mit neuem Schwung durch Industriekontakt

Hoffmann, A.; Kühnemund, J.; Leitschuh, D.

Die Vorlesung Konstruktionslehre I wurde in Bezug auf die Übungs- und Prüfungsmodalitäten neu gestaltet um verbesserten Praxisbezug und nachhaltigen Lernerfolg herzustellen. Teilnehmende Studenten berichten von eigenen Erfahrungen mit den neuen Anforderungen.

The „Design I“ („Konstruktionslehre I“) lecture was completely reorganized in respect to examination requirements and tutorials to achieve a largely improved practical orientation and persistent learning success. Participating students report on their personal experiences with these new challenges.

Als Maschinenbaustudenten zu Beginn des Hauptstudiums mit Vertiefungsrichtung Konstruktion/Fertigung/Betrieb kamen wir im Wintersemester 2007/08 in die Situation, die (Pflicht-)Vorlesung Konstruktionslehre I in nahezu vollständig veränderter Organisation zu erleben. Obwohl die Vorlesung inhaltlich von Professor Lohrengel zunächst unverändert übernommen wurde, änderte sich die Handhabung von Übungen und Prüfungsleistung deutlich.

Anstatt klassischer Organisation mit vorlesungsbegleitendem Übungsbetrieb und abschließender theoretischer Prüfung, fand eine Anwendung der vermittelten Kenntnisse in einem konkreten, praxisnahen Projekt in enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Otto Bock Health Care statt. Nach beendeter Vorlesung stellte sich die Firma, vertreten durch Dr.-Ing. Kaltenborn, zunächst durch eine Präsentation und Anschauungsmaterial, vor allem bereits entwickelter Prothesen, vor. Wichtigste Bestandteile dieser Erläuterungen waren Informationen über den menschlichen Gehzyklus (vgl. Bild 1), besondere Anforderungen an Kniegelenke und damit an die zu entwickelnde Einheit. Die genaue Aufgabe umfasste schließlich die Entwick-



lung einer lastabhängigen Bremse für prothetische Kniegelenke, wobei natürlich die systematische Vorgehensweise nach der Konstruktionslehre im Vordergrund stand.

Den ersten, in weiten Teilen guten Eindruck von dieser Aufgabe prägte vor allem die gänzlich neue Thematik. Während sich der Maschinenbau für uns bisher eher auf klassische Maschinenelemente wie Wellen und Getriebe beschränkte, bot sich nun ein ganz neues Problemfeld. So zeigte sich bald, dass die im Prothesenbau gegebenen Einschränkungen beispielsweise durch ein zulässiges Maximalgewicht, beschränkten Bauraum und Resistenz gegen Umwelteinflüsse nur mit großer Mühe zu beherrschen sind.

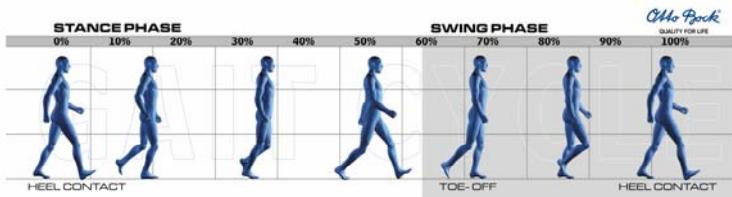


Bild 1: Gehzyklus des Menschen

Nach erfolgter Gruppenbildung bot sich nun die Gelegenheit sich kennenzulernen und erste Ideen auszutauschen. Jede der neun Gruppen bestand dabei aus drei bis vier Studenten, denen jeweils ein wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Maschinenwesen zugeteilt wurde. Organisatorisch gestaltete sich der Ablauf so, dass es wöchentlich ein Zusammentreffen von Arbeitsgruppe, Professor Lohregel und einem Vertreter Otto Bocks gab. Bei diesem Treffen galt es die Ausarbeitungen zu besprechen und vor allem die vielen entstandenen Fragen vorzutragen. Hier zeigte sich der Vorteil der persönlichen Anwesenheit eines fachkundigen und selbst mit der Entwicklung von Prothesen befassten Ingenieurs, der explizit keine Bewertung der Ideen vorgenommen hat. Eben diese Zurückhaltung und die sehr sachliche Beantwortung der Fragen sorgte schließlich dafür, dass der Ideenfindungsprozess nicht vorzeitig durch sein dafür gefährliches Vorwissen beeinflusst wurde. So wurde die Gruppe wesentlich von ihrer Eigendynamik angetrieben und gleichzeitig einer praxisnahen Situation ausgesetzt.

Der Ideenfindungs- und Entwicklungsprozess und der daraus entstandene Prothesenentwurf wurden sorgfältig und möglichst kom-

plett dokumentiert. Sie stellten zusammen mit dem Eindruck bei der wöchentlichen Besprechung den wesentlichen Anteil an der Prüfungsleistung dar. Zusätzlich fand das Projekt einen sinnvollen Abschluss in einer ausgearbeiteten Präsentation der Idee vor allen Gruppen, den gesamten IMW Mitarbeitern und natürlich den Vertretern der Firma.

Aus studentischer Sicht lässt sich, mit einigem zeitlichen Abstand zum Projektgeschehen, ein objektiver Rückblick formulieren. Wie schon angedeutet, fällt es schwer Kritikpunkte an dem Ablauf zu entdecken. Zugegebener Maßen sah das zeitweise besonders im Hinblick auf die enorme Arbeitsbelastung anders aus, aber schon während der Arbeit fiel die deutlich gesteigerte Produktivität im Team auf. Der am leichtesten zu fassende Vorteil der nach Geschlechtern, Nationalitäten und Fachrichtungen gemischten Gruppen, war sicherlich die vorhandene Ideenvielfalt, auf die es bei der Produktentwicklung besonders ankommt. So konnte es für eine Gruppe, die zum Großteil aus Maschinenbaustudenten bestand, sehr von Vorteil sein, verschiedene Sichtweisen anderer Fachrichtungen, beispielsweise der Betriebswirtschaftslehre, kennen zu lernen. Eine der größten Herausforderungen war so nicht das Finden von Ideen, sondern das nicht Verwerfen von utopisch anmutenden Einfällen. Gerade die „abgefahreneren“ Einfälle sorgten für stundenlange Diskussionen, so zum Beispiel ob Knieprothesen zum Bremsen auch Trommeln mit Schüttgut enthalten können. Im Zusammenhang mit dem eng gesteckten Zeitplan lag hier ein gewisses Stresspotential und es entstand, vor allem in der Ausarbeitungsphase kurz vor Abgabe, eine hohe Arbeitsbelastung.

Neben dem Einprägen der Konstruktionsmethodik verbesserten sich zunehmend auch die oft verlangten Soft-Skills. Persönlichen Nutzen erlangten die Gruppenmitglieder vor allem durch einen Gewinn an Diskussions-, aber auch Kritikfähigkeit.

Gute Leistungen wurden schließlich nicht nur durch eine attraktive Aufgabe und die Aussicht auf eine gute Note gefördert, sondern auch durch die ausgelobte Belohnung in Form eines Industriepraktikums und allgemein durch die Wettbewerbssituation unter den Gruppen. Gerade der letzte Punkt hob die Projektsituation als besondere ab, da es zum ersten Mal im Studium galt, selbstentwickelte Ideen unter den Studenten nicht auszuplaudern.

Konstruktion und Berechnung von
Maschinenelementen



Konstruktionsmethodik und
rechnerunterstützte Produktentwicklung



Systementwicklung, Versuchstechnik
und Maschinenakustik



Lehre und Institutsbetrieb



Hochschule und Kontakte



Tagung „Normung und Hochschule“

Bessling, S.; Bormann, E.



Am 19. und 20. März 2009 veranstaltet das IMW eine Tagung zum Thema „Normung und Hochschule“. Ziel dieser Tagung ist es, zu erklären, warum sich Wirtschaft und Politik mehr Ausbildung im Bereich Normung wünschen und wie Forschungsergebnisse in Zukunft besser durch Normung verwendet werden können.

On March 19th and 20th 2009 the IMW organises a conference to the subject “standardization and university”. The intention of this conference is to explain why politics and industry want more education in the field of standardization and how research results can be better made use of by standardization.

1 Inhalt der Tagung

Normen finden heute in vielen Bereichen Anwendung, auch an Hochschulen. Jedoch gibt es nur wenige Lehrveranstaltungen, die sich mit Normen an sich und ihrer Erstellung beschäftigen. Darüber hinaus werden Forschungsergebnisse nur selten in konkreten Forschungsvorhaben fortgeführt.

Ziel der Tagung ist es nun, zu erläutern, warum es wichtig ist, dass mehr Ausbildung im Bereich Normung erfolgt und wie Forschungsergebnisse in Normen Verwendung finden können. Den Wunsch nach mehr Ausbildung konnte man auch dem Ergebnis einer Umfrage im Rahmen des Projektes „Einbindung von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) in Normungsprozesse“ entnehmen. Hier wurde unter anderem die Frage gestellt, ob Berufsanfänger mehr über Normen wissen sollten. Dies wurde von der deutlichen Mehrzahl der Befragten erwünscht. Das genaue Resultat dieser Frage kann man in **Bild 1** erkennen.

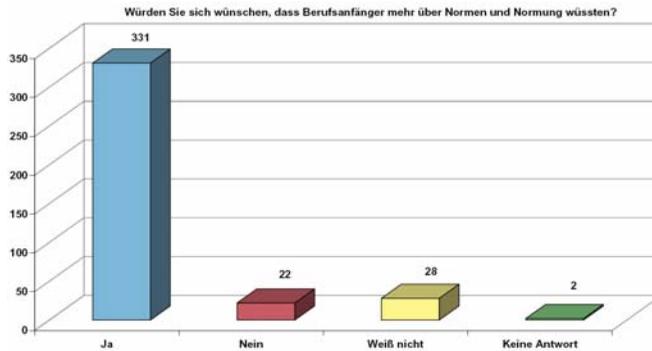


Bild 1 Ergebnis der Frage "Würden Sie sich wünschen, dass Berufsanfänger mehr über Normen und Normung wüssten?"

2 Ablauf der Tagung

Die Tagung wird sich in mehrere Abschnitte unterteilen. Zu Beginn werden in zwei Blöcken Vorträge zu verschiedenen Themen gehalten. Das Spektrum dieser Themen reicht von Vorträgen der Regelersteller darüber, wie sie mit Hochschulen zusammenarbeiten können oder wie Information beschafft werden können, bis zu Vorträgen aus der Industrie, welche Anforderungen sie an Berufsanfänger und Hochschulen stellt. Darüber hinaus wird es Vorträge geben, wie Normung in der Lehre eingebunden werden kann und Forschungsergebnisse in Normen verwendet werden können.

Nach den Vorträgen werden unterschiedliche Workshops stattfinden, in denen über bestimmte Themen, wie Normung und Lehre oder Forschungsergebnisse in der Normung, weiter diskutiert werden kann. Beendet wird die Tagung durch eine abschließende Diskussion aller Teilnehmer.

3 Organisatorisches

Diese Tagung richtet sich an Lehrende von Hochschulen oder auch anderen Bildungseinrichtungen, sowie allen Industrievertretern, die Normung für wichtig erachten. Als Besonderheit werden keine Tagungsgebühren erhoben. Die Tagung ist somit kostenfrei. Bis zum 4. März 2009 werden Anmeldungen für die Tagung entgegengenommen. Falls weitere Informationen über die Tagung benötigt werden, erhält man diese unter der folgenden Email-Adresse tagungen-seminare@imw.tu-clausthal.de.

Bedeutung des ANP als Forum für den Erfahrungsaustausch der Normenanwender



Müller, N.

Da Normen und Standardisierung eine wichtige Grundlage für die Prozesskette in den Unternehmen bilden, kommt der Normung zur Beantwortung der Herausforderungen am Markt ein hoher ökonomischer Stellenwert zu. Die Mitgliedschaft im ANP hilft den Unternehmen diese Herausforderungen im Umfeld von Normung und Standardisierung besser zu verstehen und den strategischen Nutzen der Normung besser einsetzen zu können.

As standardization building an important basis for the process chain in companies, the standardization for an answer of challenges at the market is entitled to a high economical significance. The membership in the ANP helps the companies for a better understanding of these challenges in the area of standardization and to better appoint the strategic need of the standardization.

1 Bedeutung des ANP

Der ANP im DIN ist die zentrale Stimme der Normenanwender und entsprechend der Bedeutung dieser – auch in DIN 820 verankerten. Dabei ist der ANP Anlaufstelle für vielfältige Anfragen im Umfeld von Normung (u. a. im Bereich der Europäischen und Internationalen Normung, Normen-Anwendung, Richtlinienbezugsnahme, Rechtsfragen, Produkthaftungsrisiken, Normenbezug etc.) und Schnittstelle in der Prozesskette zwischen den Gremien des DIN und den Normenanwendern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung.

2 Aufgaben des ANP

Der Ausschuss Normenpraxis hat u.a. die folgenden Aufgaben:

- Die Bedeutung Technischer Regeln, insbesondere Deutscher Normen unter strategischen Gesichtspunkten in allen Lebensbereichen herauszustellen und ihre Anwendung zu fördern.

- Das Verständnis für die Normung zu vertiefen.
- Allen Gremien des DIN Anregungen zum Inhalt und Umfang des Deutschen Normenwerkes sowie Stellungnahmen zu europäischen und internationalen Normungsvorhaben zu vermitteln, die aus den Erkenntnissen der praktischen innerbetrieblichen Normungsarbeit sowie aus den bei der Einführungs- und Anwendungspraxis gewonnenen Erfahrungen erwachsen.
- Den Erfahrungsaustausch hinsichtlich der inner- und überbetrieblichen Normungsarbeit zu pflegen.
- Den Nutzen der Normung transparent zu machen.
- Alle Interessierten mit der Arbeitsweise des DIN und der Normungsarbeit vertraut zu machen, mit gleichartigen Organisationen anderer Länder innerhalb und außerhalb der internationalen Föderation der Ausschüsse Normenpraxis (IFAN) zusammenzuarbeiten.
- Normung verstärkt in der Öffentlichkeit zum Thema machen.
- Unterstützend bei der Qualitätsverbesserung von Normen mitwirken.
- Förderung des Abbaus von organisatorischen Hemmnissen bei der Erarbeitung von Normen.
- Förderung der Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnik als Hilfsmittel in der Normung.
- Wissensmanagement in der Normung unterstützen.
- Normung als ein Marktzugangsinstrument aufzeigen – auch im Zusammenhang mit Zertifizierung und technischer Gesetzgebung.
- Strategische Managementmodelle zur Standardisierung erarbeiten sowie Normung als strategisches Instrument zur Unterstützung der Ziele von Unternehmen, Wirtschaftspolitik im globalen Wettbewerb darlegen und gezielt einsetzen.
- Bedeutung der Normung und Normungserkenntnisse als Bestandteile in die Managementausbildung einbringen, Berufs- und Hochschulen und Universitäten mit dem Thema Normung vertraut machen.
- Weiterbildung im Bereich der Normung und Normenanwendung.

Im Jahre 2009 führt der ANP die 36. Konferenz Normenpraxis - "Zugang zu globalen Zukunftsmärkten; Internationalisierung durch Normung" 24./25. Sep. 2009 in Berlin durch.

3 Struktur des ANP

Der ANP im DIN besteht aus einem Netzwerk von 12 Regionalgruppen (siehe Bild 1) und 3 Sektor-/Projektgruppen in ganz Deutschland mit ca. 400 aktiven Normungsmanagern, die ständig über ein "elektronisches Komitee" – ergänzt durch örtliche Arbeitstreffen – die o. g. aktuellen Probleme gemeinsam besprechen und lösen. /1/

Die 3 Sektor-/Projektgruppen behandeln die Themen Automotive, Elektrotechnik und Produktkonformität und werden ergänzt um eine Strategieguppe zu Fragen der Internationalen und Europäischen Normung (ANP-IE).



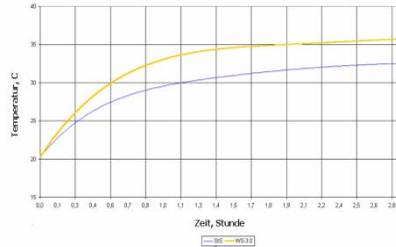
Bild 1: Netzwerk von zwölf Regionalgruppen

4 Literatur

/1/ WWW.ANP.DIN.de

/2/ Ding, P.; Der ANP präsentiert sich mit neuem Gesicht!; DIN
Mitteilung Nr. 9 2008

Untersuchungen des thermischen Verhaltens von Getrieben mit Standard- und Hochverzahnungen



Wieczorek, A.

Zusammenfassung: In dieser Arbeit werden die experimentellen Untersuchungen der thermischen Eigenschaften von Getrieben mit Standard- und Hochverzahnungen vorgestellt. Diese Eigenschaften wurden durch Messungen der Schmieröltemperatur im Betrieb des Zahnradgetriebes ermittelt. Durch diese Untersuchungen am Prüfstand wurden die höchsten Schmieröltemperaturen für geschliffene Zahnräder mit Hochverzahnung und niedrigsten für Getriebe mit Standardverzahnung ermittelt.

Summary: In the paper there were presented some experimental results of oil warming up in lubrication of nonstandard teeth profile meshing and compared to results for standard teeth profile meshing. On the basis of measurement on test stand FZG it was ascertained of higher increments of oil temperature for gears with nonstandard teeth profile.

1 Einführung

Zahnradgetriebe sind integrale Bestandteile der meisten Antriebsanlagen und sie sollen die betrieblichen Anforderungen wie hohe Haltbarkeit, Zuverlässigkeit und ein kleines Verhältnis von Leistung zu Gewicht erfüllen. Durch die Entwicklung der modernen Maschinen und Ausrüstung ist ein deutlicher Anstieg der funktionalen Anforderungen, die an diese Getriebe gestellt werden, verbunden. Dies gilt insbesondere für den Trend zur Verstärkung der Motorleistung an den Antriebstrang. Diese Notwendigkeit erfordert Änderungen nicht nur an den Materialien, sondern auch an der Konstruktion des Zahnradgetriebes.

Mit Verstärkung der Motorleistung ist aber die Erhöhung der Schmieröltemperatur verbunden. Besonders für Großgetriebe mit Planetenstufen ist die Wärmeabführung ein wichtiges Problem.

Für Getriebe mit Hochverzahnung ist die Wärmeentstehung größer als für Getriebe mit Standardverzahnung. Dies wird durch größere

Gleitgeschwindigkeiten der Hochverzahnungen verursacht [1,2]. Diese Tatsache war der Grund der durchgeführten Untersuchungen.

2 Ziel, Bereich und Voraussetzungen des Untersuchungen

Ziel der in diesem Artikel vorgestellten Untersuchungen war der Vergleich thermischen Verhaltens zwischen Getrieben mit Hochverzahnung (Profilüberdeckung gleich $\varepsilon_{\alpha} \approx 2,0$) und Getrieben mit Standardverzahnung ($\varepsilon_{\alpha} \approx 1,625$). Zusätzlich erfolgte auch ein Vergleich zwischen den geschliffen und ungeschliffen Zahnrädern mit Hochverzahnung.

Die Untersuchungen wurden auf dem FZG-Prüfstand [3] durchgeführt (**Bild 1**).



Bild 1: Der Prüfstand mit Messgeräten

Für die Messungen der Schmieröltemperatur wurde ein Temperaturaufnehmer LM-35 [4] und Messerfassungssystem, das auf einer Karte DAQBoard 2005 Iotech [5] und Software DasyLAB 6.0 [6] von National Instruments basiert, verwendet.

Die Parameter der untersuchten Zahnräder sind in der **Tabelle 1** zusammengefasst.

untersuchte Zahnräder	Art der Verzahnung	h^*	ε_α	ζ_f Ritzel/Rad
STS	Standard	2,25	1,625	-2,314/-2,192
WS-3.0	Hochverzahnung (geschliffen)	3,0	2,030	-3,905/-3,904
WF-3.0	Hochverzahnung (ungeschliffen)	3,0	2,030	-3,905/-3,904

Tabelle 1: Parameter der untersuchten Verzahnungen; wobei h^* -Zahnhöhefaktor, ε_α - Profilüberdeckungsgrad, ζ_f -spezifische Gleiten (bei Fuß)

Als Werkstoff für die Zahnräder wurde Stahl 41Cr4 verwendet und sie wurden auch vergütet. Alle untersuchten Zahnräder wurden in Genauigkeitsklasse Nr. 7 nach DIN 3962 hergestellt.

Die Messungen wurden für Zahneingriffsfrequenz $f_z=250$ Hz und für Lastfaktor $Q = 2T/(b \cdot dt^2)$ [1] von 0,18 bis 0,89 MPa durchgeführt.

3 Versuchsergebnisse

Auf **Bild 2 und 3** sind die festgestellten Verläufe der Schmieröltemperatur für die geschliffene Hochverzahnung WS-3.0 und Standardverzahnungen StS bei Lastfaktoren $Q=0,18$ und $0,89$ MPa dargestellt.

Wie man auf den Bildern erkennen kann, weisen die Getriebe mit Hochverzahnungen WS-3.0 höhere Werte der Schmieröltemperatur als die mit Standardverzahnung auf.

Auf den **Bildern 4 und 5** sind die festgestellten Verläufe der Schmieröltemperatur für geschliffene Hochverzahnung WS-3.0 und ungeschliffene Hochverzahnung WF-3.0 bei Lastfaktoren $Q=0,18$ und $0,89$ MPa dargestellt.

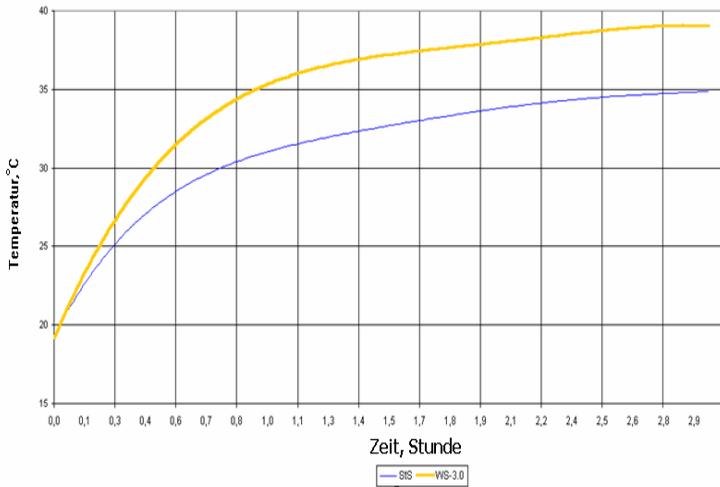


Bild 2: Verläufe der Schmieröltemperatur für Varianten: WS-3.0 und StS; bei dem Lastfaktor $Q=0,18$ MPa.

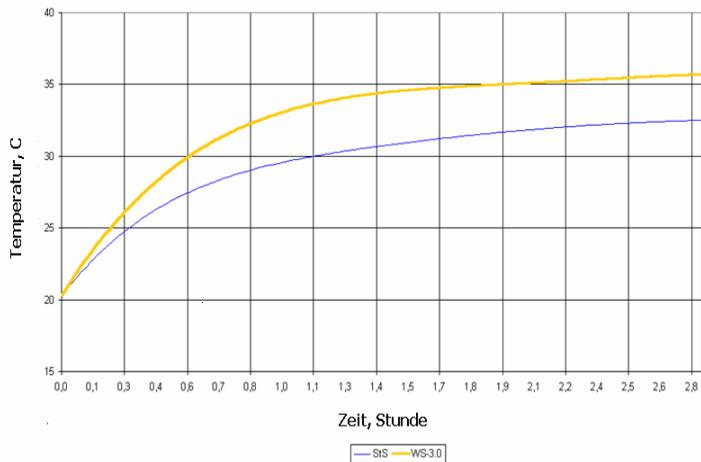


Bild 3: Verläufe der Schmieröltemperatur für Varianten: WS-3.0 und StS; bei dem Lastfaktor $Q=0,89$ MPa.

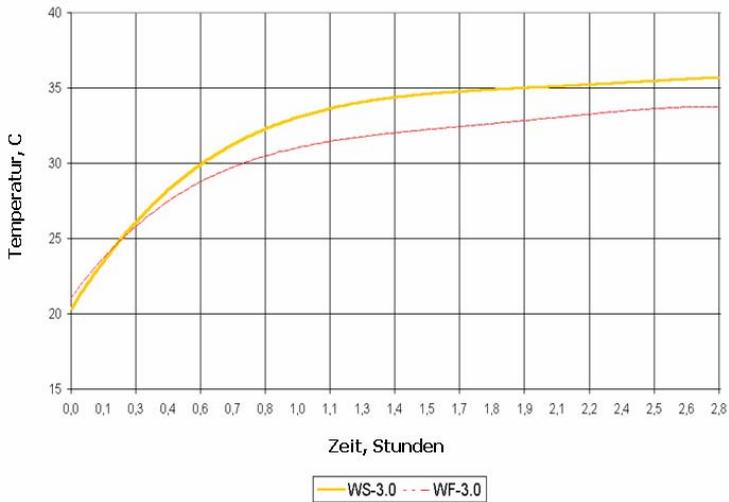


Bild 4: Verläufe der Schmieröltemperatur für Varianten: WS-3.0 und WF-3.0; bei dem Lastfaktor $Q=0,18$ MPa.

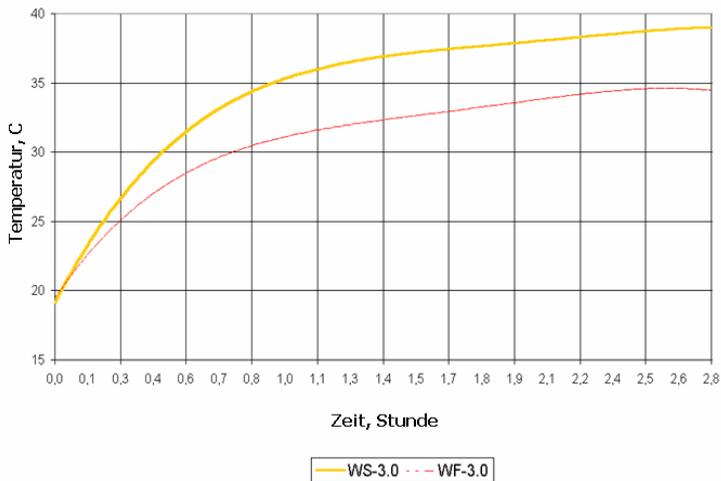


Bild 5: Verläufe der Schmieröltemperatur für Varianten: WS-3.0 und WF-3.0; bei dem Lastfaktor $Q=0,89$ MPa.

4 Zusammenfassung

Aufgrund der vorgestellten Messergebnisse der Schmieröltemperatur kann man folgende Schlussfolgerungen formulieren:

- a) Die Getriebe mit geschliffenen Hochverzahnungen WS-3.0 weisen höhere Werte der Schmieröltemperatur als die Standardverzahnung auf.
- b) Die Schmieröltemperatur des Getriebes mit Hochverzahnung wird neben der Last auch durch die Genauigkeit der Zahnräder beeinflusst.

5 Literatur

- [1] Niemann G., Winter H.: Maschinenelemente, t. II : Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe - Grundlagen, Stirnradgetriebe. Berlin, Springer, 1989.
- [2] Michaelis K.: Die Integraltemperatur zur Beurteilung der Fresstragfähigkeit von Stirnradgetrieben. Dissertation TU München, 1987.
- [3] Wieczorek A: Wpływ wysokosci uzeblenia na miedzyzebne siły dynamiczne w przekładniach. Diss. Schlesische Technische Universität, Gliwicz 2007.
- [4] LM-35 Precision Centigrade Temperature Sensors. Manual. National Semiconductor. November 2000.
- [5] DAQBoard-2005 User Manual. IOtech.
- [6] DASYLab Data Acquisition System Laboratory Band 1: Beschreibung der Programmfunktionen.

Belastungsermittlung von Prothesen beim Gehen

Kaltenborn, S. (Otto Bock HealthCare GmbH, Duderstadt)



Amputationen von Gliedmaßen sind dann erforderlich, wenn durch Krankheit oder nach Unfällen (traumatisch) das Leben des Betroffenen gefährdet ist. In Deutschland liegt die Zahl aller Amputationen zwischen 50.000 und 60.000 pro Jahr /1/. Nach dem Verlust von Gliedmaßen sind die Betroffenen auf die Nutzung von Prothesen angewiesen, um die körperlichen, psychischen und sozialen Folgen auf ein Minimum zu beschränken.

Für die Entwicklung neuer Prothesen ist es von Interesse, welche Belastungen auf das Bauteil wirken, um daraus Anforderungen an die Gestaltung und die Festigkeitsanforderungen abzuleiten. Bisher war die Ermittlung der Belastung nur im Ganglabor auf relativ kurzer, ebener und gerader Strecke möglich. Mit einem neu konzipierten Messsystem sollen nun im Alltag auftretende Belastungen ermittelt werden.

Amputations of the human limb can result from diseases in which the health of the patient is otherwise threatened or may be the result of accidental traumatic injury. The number of amputations in Germany ranges between 50,000 and 60,000 per year. Following amputation, the patient relies on a prosthesis to regain functional capability and to support social rehabilitation and reintegration.

When developing a new prosthetic device, the loading conditions which act upon the device are of particular interest. Given these loading conditions, new products can be designed more effectively. Until recently, the loading conditions acting upon a prosthetic device could only be effectively measured in a gait lab and then only under relatively short distances and on level surfaces. A new mobile measuring system is able to identify prosthetic loading conditions in normal everyday situations and environments.

1 Problemstellung

In der Prothetik ist die Ermittlung der wirkenden Belastung auf Prothesen der unteren Extremität mit Hilfe der instrumentierten Ganganalyse Stand der Technik. Der Patient geht dabei eine definierte Strecke im Ganglabor. Wie in **Bild 1** dargestellt werden für einen

Doppelschritt die kinetischen und kinematischen Daten erfasst, die der Proband beim Gehen generiert.

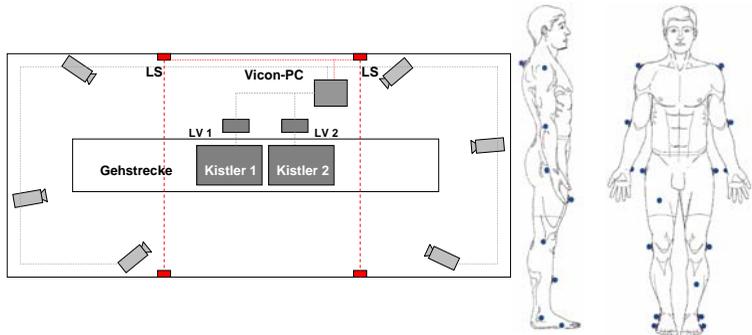


Bild 1: Ganganalysesystem der Otto Bock HealthCare GmbH; Ganglabor Göttingen /2/

Die beim Gehen wirkenden äußeren Kräfte (orthogonale Komponenten F_x , F_y und F_z) werden aus der Bodenreaktionskraft mit 2 hintereinander angeordneten piezoelektrischen Kraftmessplatten (Kistler, Winthertur, CH, 1080 Hz) einzeln für jedes Bein ermittelt. Die digitalisierten Daten erfasst ein PC, der daraus den Vektor der Kraft bildet.

Ein Kamerasystem (Vicon 460, ViconPeak, Oxford, GB; 120 Hz) bestimmt die kinematischen Daten der Bewegung. Dabei werden Marker, die an Gelenken des Probanden befestigt sind verfolgt, deren Bewegung im Raum bestimmt und mit den auftretenden Kräften synchronisiert /2/.

Aus bekannten Kraftvektoren und dem Abstand zum jeweiligen Gelenk, werden die wirkenden Momente bestimmt. Der auftretende Belastungsverlauf variiert mit dem Körpergewicht, der Gangdynamik und auch mit der Untergrundsituation. Für das Gehen in der Ebene ist dieses System etabliert, auch das Gehen auf Schrägen und Treppen wird im Ganglabor untersucht, dies ist jedoch aufwändig und erfordert erfahrenes Fachpersonal. Wie in **Bild 2** dargestellt wirken beim Gehen auf Schrägen oder auf Treppen andere Momente um die Knieachse als beim Gehen in der Ebene.

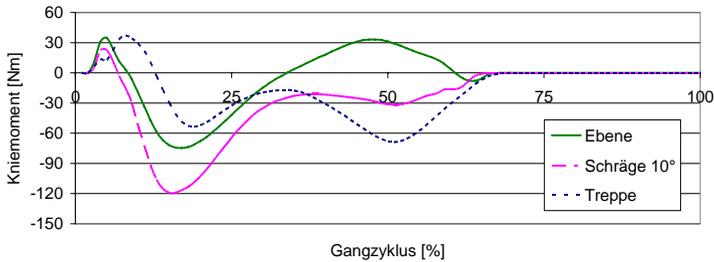


Bild 2: Ergebnisse der Ganganalyse beim Gehen in der Ebene, Schräge runter und Treppe runter (Proband - 100 kg) /4/

Die Möglichkeiten, Belastungen in verschiedensten Alltagssituationen mit der Ganganalyse im Labor zu ermitteln, sind begrenzt. Schon das Aufbauen von Schrägen und Treppen auf die Kraftmessplatten ist durch die Deckenhöhe des Labors limitiert. Weiterhin behindern Geländer und Aufbauten die Markerverfolgung durch das Kamerasystem. Auch die Probanden können durch diese Versuchsanordnung beeinträchtigt werden, und anders als gewohnt gehen.

2 Lösungsansatz

Zur Ermittlung der Belastungsverläufe im Alltag des Probanden wurde für Prothesenträger ein mobiles Messsystem konzipiert. Durch ein Sensorkonzept, das 6 Freiheitsgrade bestimmt, und ein angepasstes System zum Aufzeichnen der Daten sind damit auch Langzeitmessungen möglich.

2.1 Sensorkonzept

Den Kern des Systems bildet ein mobiler Sensor der DMS-basiert, 3 Kräfte (Axialkraft sowie 2 Querkräfte) und 3 Momente (Torsionsmoment und 2 Biegemomente) erfasst. Dieser kann bei Bedarf durch Winkelsensoren ergänzt werden. Der Sensor muss in den Kraftfluss der Beinprothese integriert werden, ohne die Funktion oder das Gewicht unzulässig zu beeinflussen. Weiterhin musste das System für 2 kN Druckkraft, 200 Nm Biegung, 100 Nm Torsion sowie 1 kN Schubkraft dimensioniert werden. Es darf sich unter Last nicht plastisch verformen, muss aber genügend elastische Verformung zur Bestimmung der Kräfte und Momente ermöglichen. Umwelteinflüsse dürfen die Messergebnisse nicht verfälschen /3/. Wie in **Bild 3** zusehen, ist der Sensor mit 22 mm Höhe und 45 mm Breite sehr kompakt.

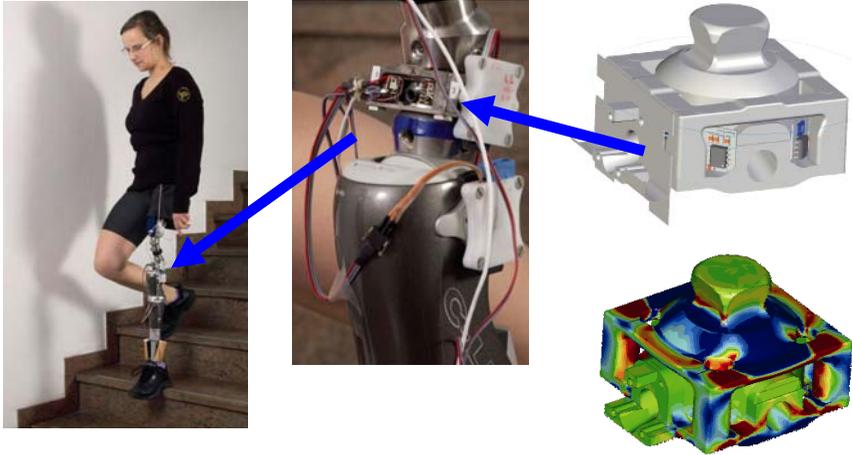


Bild 3: Mobiles Sensorkonzept für Prothesen /3,4/

Die Struktur des Sensorkörpers wurde durch FEM optimiert. Durch Verwendung des Pyramidenanschlusses (ein Standardverbindungselement in der Prothetik), kann der Sensor in unterschiedliche Prothesensysteme und an verschiedenen Positionen eingebaut werden.

2.2 Messdatenspeicherkonzept

Für die Aufzeichnung der Sensorsignale kommt ein bei der Otto Bock HealthCare GmbH entwickelter MicroLogger zum Einsatz. **Bild 4** zeigt die kompakte Bauform.



Bild 4: Mobiles MicroLogger (65 mm x 45 mm x 10 mm – l x b x h) /4/

Durch diesen Miniaturdatenlogger werden die Sensorspannungen mit einem integrierten Spannungsteiler und einem einfachen Tiefpass vorkonditioniert, dann mit einem AD-Wandler digitalisiert und auf Micro-SD Karten aufgezeichnet. **Tabelle 1** beschreibt den MicroLogger detaillierter.

Anzahl der Eingänge	14
Filter	RC Tiefpass, anpassbar
Eingangsspannungsbereich	Über Spannungsteiler anpassbar
Auflösung	12 Bit
Sample-Rate	1 Hz bis 1,6 kHz (je nach Kanalzahl)
Stromverbrauch	ca. \leq 8mA, je nach Samplerate und Kanalzahl
Versorgung	4-16 V
Prozessorfrequenz	8 MHz
EMV	Der Logger ist auf Störaussendung, Störeinstrahlung und ESD geprüft.

Tabelle 1: Spezifikation des Otto Bock MicroLoggers /4/

Die aufgezeichneten großen Datenmengen, die auf Micro-SD Karte gespeichert sind, können am PC mit Hilfe des Programms Otto Bock DATAL abgefiltert, klassifiziert, verarbeitet, zusammengeführt und visualisiert werden. Dabei hilft die Mustererkennung aus der Datenflut z. B. Bereiche zu selektieren, die Gehen repräsentieren oder Bereiche mit hohen Belastungen.

Für die Belastungsermittlung von Prothesen beim Gehen wird eine Abtastrate von 256 Hz genutzt. Dies ermöglicht mit einer 512 MB Speicherkarte die Belastung bei Prothesennutzung über einen Tag aufzuzeichnen. Durch das tägliche Übertragen der Messdaten auf den PC kann die Belastung über einen längeren Zeitraum im Alltag bestimmt werden.

3 Ergebnisse

Die Überprüfung der Messsignale erfolgt durch einen Vergleich des mobilen Sensorkonzeptes (mobil) mit den Ergebnissen der instrumentierten Ganganalyse (gait). **Bild 5** veranschaulicht die Einsatzfähigkeit des mobilen Systems nach Durchführung der Koordinatentransformation.

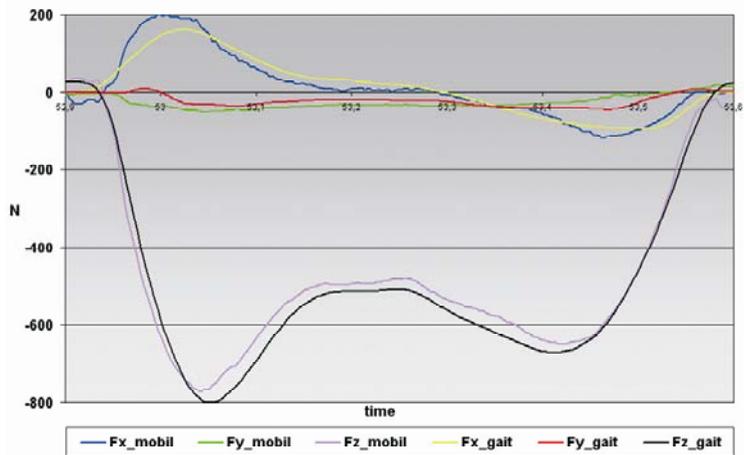


Bild 5: Vergleich des mobilen Messsystems mit den Daten der Ganganalyse – Bodenreaktionskräfte und Kräfte in der Prothese F_x , F_y und F_z beim Gehen in der Ebene /3/

Die Entwicklung hat einen Stand erreicht, der das Sammeln von Messdaten unter Alltagsbedingungen über mehrere Monate erlaubt. Kräfte und Momente können zuverlässig erfasst und neue Erkenntnisse über den Belastungsverlauf auf die Prothese gewonnen werden. Diese Erkenntnisse können auch in die Festlegung von Prüfkriterien einfließen.

4 Zusammenfassung

Das beschriebene mobile Messsystem bietet die Möglichkeit, unter Alltagsbedingungen auftretende Belastungen auf Prothesen über einen längeren Zeitraum aufzuzeichnen. Damit können Aussagen über wirkende Kräfte und Momente getroffen werden, die in die Entwicklung, Konstruktion und Prüfung neuer Prothesen einfließen. Das System ist so konzipiert, dass auf einer Micro-SD Karte die Daten eines Tages gespeichert werden. Aus der Zusammenstellung der Einzeltage kann durch Analysetools auf die Höhe und die Häufigkeit der maximalen Belastung sowie auf Belastungsverläufe im Alltag geschlossen werden, was in dieser Form mit der instrumentierten Ganganalyse im Labor nicht möglich ist. Somit kann dieses System die Ganganalyse ergänzen.

Interessierte können sich für weitere Informationen an Herrn Dr. Sven Kaltenborn bei der Otto Bock HealthCare GmbH in Duderstadt wenden.

(kaltenborn@ottobock.de)

5 Literatur

- /1/ Heller, G.; Günster, C.; Swart, E.: Über die Häufigkeit von Amputationen unteren Extremitäten in Deutschland, DMW 2005 Jul 15
- /2/ Schmalz, Th.; Blumentritt, S.; Altenburg, B.: Biomechanische Analyse des Schrägen- und Treppabgehens mit aktuellen Kniepassteilen, Orthopädie-Technik 9/06
- /3/ Oehler, S.; Pusch, M.; Kraft, M.: Mobilitätsmessungen an Oberschenkelamputierten, Vortrag Orthopädie+Reha-Technik, Leipzig 2008
- /4/ interne Informationen der Otto Bock HealthCare GmbH, 2008

Technische Ausrüstung, Kooperationsangebote und Forschungsschwerpunkte des Institutes

Institut

Die Lehre, Ausbildung, Forschung und Entwicklung am Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen (IMW) deckt folgende Bereiche ab:

- Konstruktion und Berechnung von Maschinenelementen und Maschinenteilen, speziell Welle-Nabe-Verbindungen und Seiltrommeln
- Finite-Elemente- und Mehrkörpersimulation
- Experimentelle Beanspruchungsermittlung
- Maschinenakustik und Schwingungsdiagnostik
- Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen
- Rechnereinsatz im Maschinenbau
- Technische Normung
- Rapid Prototyping / Rapid Tooling

Das interdisziplinäre Team am IMW besteht aus 15 wissenschaftlichen Mitarbeitern/-innen aus den Bereichen Maschinenbau, Werkstoffkunde, Technische Informatik und Geophysik. Weitere 11 Mitarbeiter/-innen und 7 Auszubildende arbeiten in der Verwaltung, mechanischen und elektrotechnischen Werkstatt.

Technische Ausrüstung

Für die entsprechenden Forschungsschwerpunkte verfügt das IMW über gut ausgestattete Labore, ein umfangreiches Prüffeld und die notwendige Hard- und Softwareausstattung für Simulation und Berechnung.

Die Untersuchung von Maschinenelementen kann auf vier Verspannprüfständen, fünf Torsions-Schwingprüfständen, einem kombinierten Umlaufbiege- und Torsionsprüfstand, einer statischen Verspanneinrichtung sowie zweier separaten Umlaufbiegeprüfeinrichtung und einem Druckkammprüfstand durchgeführt werden. Zur Prüfung fördertechnischer Elemente und Anschlagmittel ist eine Zugprüfmaschine mit integriertem Querprüfgerät und ein Seiltrommelprüfstand vorhanden. Eventuelle berührungslose Übertragungen von Messwerten werden mit drei Telemetrieanlagen (64, 32, 8 Kanäle) bewältigt, die auch für ICP-Beschleunigungssensoren geeignet sind. Ein Schleuderprüfstand für schnell drehende Maschinenteile (z.B. Rotoren, Abweiseradwindsichter) und ein Schneidmühlenprüfstand ergänzen die

Prüfeinrichtungen des IMW für Untersuchungen an verfahrenstechnischen Maschinen.

Die technische Ausstattung des Labors für Maschinenakustik und Schwingungen ermöglicht Messungen an kombiniert belasteten Bauteilen. Mittels elektrodynamischer Schwingerreger können Bauteile neben ihrer stat./dyn. Betriebslast gezielt frequenzselektiven Belastungen bis zu einer Frequenz von 5 kHz unterworfen werden. Der Einsatz optischer Ganzfeldmessverfahren ermöglicht darüber hinaus auch die Visualisierung sich einstellender Beanspruchungszustände, wie sie bei Stoßanregungen auftreten.

Das Akustiklabor am IMW ist mit umfangreichem Mess-equipment auf dem neuesten Stand der Technik ausgestattet:

- Oros Signalanalyatoren mit 4 und 32 Kanälen mit einer Bandbreite von bis zu 102kHz pro Kanal zur Echtzeitverarbeitung
- 3 Modalshaker (1kN, 200N, 10N)
- Rotations-Laservibrometer
- Feinwuchtgerät mit Analysefunktionen
- Intensitätsmesssonde
- Diverse akustische Sensoren
- Oros Signalanalyse Software
- Vibrant Me´Scope Modalanalyse Software
- Matlab als Software für Sonderfunktionen

Darüber hinaus verfügt das IMW über einen schallarmen Messraum. Zur maschinenakustischen Beurteilung von Maschinenstrukturen stehen alle gängigen Analyseverfahren wie beispielsweise:

- FFT
- Oktav-Analyse
- Synchrones Order Tracking
- Constant Band Tracking
- Farbwasserfall- und Farbspektrogrammdarstellungen

zur Verfügung. Darüber hinaus kann der Analysator als Standalone-Recorder für Mobile Anwendungen eingesetzt werden.

Das fertigungstechnische Labor besteht aus zwei 4-Achsen-Fräsmaschinen (MAHO MH700S/MH600), einer Drehmaschine (Monforts MNC 5), einer Senkerodiermaschine (CHARMILLER ROBOFORM 505) mit 3D-Bahnsteuerung, und einer ZEISS Koordinatenmessmaschine mit NC-Rundtisch. Als CAD/CAM-System wird CATIA V5 und Pro/Engineer mit Pro/Manufacturing eingesetzt. Maschinenspezifische Postprozessoren erlauben eine durchgängige CAD/NC-Verfahrenskette. Als PDM/PLM-System ist TeamCenter von Siemens im Testeinsatz.

Die Rechnerausstattung umfasst mehrere Server, welche die insgesamt ca. 130 Rechner des Institutes vernetzen. Diese umfassen u.a. verschiedene Internetserver (WWW/FTP), einen Windows Domänencontroller, einen Server für Datenbankdienste, einen Compute-Server für die numerischen Simulationen und einen File-Server mit 12 TB. Als Standardsoftware stehen eine Vielzahl von Programmen zur Verfügung, u. a. die CAD-Pakete ProEngineer Wildfire 3.0 und CATIA V5 sowie die FEM-Programme ANSYS und ProMechanica und das Optimierungsprogramm TOSCA, sowie LMS VirtualLab und SIMPACK für die Mehrkörper-simulation.

Das Institut für Maschinenwesen verfügt über eine vollständige Rapid Prototyping bzw. Rapid Tooling Verfahrenskette zum Lagersintern von Bauteilen. Hierzu gehören im Einzelnen eine Rapid Tooling Anlage EOSINT M 250 der Firma EOS, zum Generieren von metallischen Prototypen, Funktionsteilen und Werkzeugen (Formen und Elektroden), eine DIMENSION BST 768 für den Bau von thermoplastischen Prototypen, verschiedene Konstruktionsarbeitsplätze, Software zur Rapid Tooling gerechten Aufbereiten der CAD-Daten (Magics RP), Apparaturen und Geräte zum Infiltrieren und Beschichten der Sinterbauteile mit Harzen und niedrig schmelzenden Metallen, eine Sandstrahlkabine für verschiedene Strahlmedien (Stahlkugeln, Keramikpulver, Nussgranulat usw.) sowie Arbeitsplätze zur manuellen Nachbearbeitung der Rapid Tooling Erzeugnisse.

Im Bereich der multimedialen Lehre verfügt das IMW über mehrere Kamerasysteme zur Aufnahme und Übertragung von Lehrveranstaltungen und praktischen Experimenten. In einem eigens errichteten Multimedia-Seminarraum können Lehrveranstaltungen vor einer 100“ Rückprojektionswand durchgeführt werden.

Kooperationsangebote

Das IMW arbeitet in einer Vielzahl von Projekten in enger Kooperation mit namhaften Industrieunternehmen in allen Tätigkeitsbereichen zusammen:

Entwicklung, Konstruktion und Fertigung

- Entwicklung neuer Konstruktionen (z.B. Prüfstände und Mühlen),
- Gestaltung von Maschinenelementen und Maschinenteilen,
- Fertigungsmöglichkeiten für Prüfkörper und Nullserien,
- Konstruktion und Herstellung von metallischen Formen, Funktionsteilen und Prototypen durch direktes Lasersintern (Rapid Tooling).
- Spritzgießen kleinerer Kunststoffteile (PE, PP) in geringen Stückzahlen mit Hilfe einer Spritzgusspistole.

Versuche, Messungen und Berechnungen

- Durchführung von komplexen Festigkeitsberechnungen und -nachweisen mit Hilfe der FEM (2D/3D),
- Erarbeitung von Berechnungsansätzen für Maschinenelemente
- Schadensfallanalysen
- Vermessung und Qualitätskontrolle auf der Koordinatenmessmaschine,
- DMS-Messungen unter Betriebsbedingungen an Maschinenteilen,
- Durchführung von maschinenakustischen Untersuchungen und Optimierungen,
- Durchführung von Verschleiß- und Festigkeitsuntersuchungen auf den Prüfständen.

Beratung und Gutachten

- Beratung, Untersuchung und Erstellung von Gutachten zur Bauteilfestigkeit,
- Beratung, Untersuchung und Gutachten zur Konstruktion lärmarmen Maschinen,
- Beratung zu Konstruktions- und Patentfragen,
- Beratung und Hilfestellung bei der Beantragung und Durchführung von nationalen und internationalen Forschungsprojekten.

Forschungsschwerpunkte

Die Forschungsschwerpunkte gliedern sich in folgende Bereiche:

Konstruktion und Berechnung von Maschinenelementen

Neben allgemeinen Fragen der Grundlagen des Maschinenwesens wie Beanspruchungsermittlung, Reibung, Verschleiß und Tragfähigkeit stehen folgende Maschinenelemente besonders im Vordergrund:

- Zahn- und Keilwellen-Verbindungen,
- Spielbehaftete Längsstift-Verbindungen,
- Innenhochdruckgefügte und konventionelle Preßverbindungen mit geometrischen Schwächungen (z.B. Axial- oder Radialbohrungen in Welle und/oder Nabe),
- Torsionssteife Doppelmembrankupplungen mit Ausgleichsfunktion in radialer und axialer Richtung,
- Freiläufe
- Seiltrommeln (ein- und mehrlagig bewickelt),
- Stahldrahtseile und Kunststoffseile
- Bolzen-Lasche Verbindungen,
- Verbindungstechnik Metall-Keramik bei hohen Temperaturen,
- Verbindungselemente unter hohen mechanischen und thermischen Belastungen.

Weitere Forschungsprojekte beschäftigen sich mit der Beanspruchungsanalyse und Optimierung stoßbelasteter Maschinenteile, mit der elasto-plastischen Beanspruchung von Maschinenelementen und der Entwicklung von Berechnungssoftware für Maschinenelemente.

Konstruktionssystematik und Rechnereinsatz im Maschinenbau

Die Entwicklung von Konstruktionsinformationssystemen zur Unterstützung des Produktentwicklers unter Einbeziehung aller Produktlebensphasen sind Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte. Als Grundlage für ein phasenübergreifendes Arbeiten stehen insbesondere die Entwicklung von Schnittstellen und der Produktdatenaustausch (STEP ISO 10303/ISO 13584) im Vordergrund. Weitere Projekte beschäftigen sich mit:

- dem Management kooperativer Produktentwicklungsprozesse,
- dem Qualitätsmanagement in der Konstruktion,
- der Werkstoffauswahl in der Konstruktion,
- Fehlermöglichkeitseinfluss- und Störfallanalysen,
- dem fertigungsgerechten Konstruieren insbesondere an Bauteilen aus Feinblech und lokal eigenschaftsgeänderten Materialien.

Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen

Schwerpunkt der Untersuchungen und Entwicklungen von verfahrenstechnischen Maschinen unter besonderen mechanischen, chemischen und thermischen Belastungen sind:

- Entwicklung von Reaktionsmühlen,
- Gestaltung schnell laufender Rotoren (Windsichter/Prallmühlen),
- chemisches Recycling von Kunststoffen,
- Entwicklung lärmärmer, schnell laufender Mühlen.

Weitere Forschungsvorhaben beschäftigen sich mit der Konstruktionssystematik an Maschinen der Verfahrenstechnik und der Baureihenentwicklung.

Maschinenakustik

Im Rahmen der Maschinenakustik werden Forschungsarbeiten zur Lärminderung von Bauteilen und Maschinensystemen durchgeführt. Für experimentelle Untersuchungen und Entwicklungen zu Körperschall, Schallemission und Körperchallimpedanz- und Dämpfungselementen steht entsprechende Messwerterfassungs- und Verarbeitungshard- und -software zur Verfügung. Ein weiterer Schwerpunkt bildet die Entwicklung von Konstruktionssystematiken und von Beratungssystemen zur Konstruktion lärmärmer Maschinen.

Rapid Prototyping / Rapid Tooling

Die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten auf dem Gebiet Rapid Prototyping / Rapid Tooling umfassen die gesamte Rapid Tooling Verfahrenskette.

Hierzu zählt im Einzelnen:

- die Rapid Tooling gerechte CAD-Konstruktion,
- die Datenaufbereitung für den Sinterprozess,
- der Rapid Tooling Bauprozess einschließlich der Untersuchung von neuen Sinterparametern und Sinterwerkstoffen und
- die Nachbearbeitung bzw. das Finishen der Sinterbauteile durch Beschichten und Infiltrieren.

Weiterhin werden die Anwendungsgebiete der Rapid Tooling Technologie betrachtet wie z. B. die Herstellung von Elektroden für das funkenerosive Abtragen und das Sintern von Formen für den Gummi- und Kunststoffspritzguss oder Faserverbundkonstruktionen sowie das Generieren von Funktions- und Einsatzteilen mittels neu entwickelter Sinterwerkstoffe und Sinterstrategien.

Veröffentlichungen des Institutes seit dem 01.01.2005

Veröffentlichungen 2005

Rolshofen, W.; Dietz, P.; Schäfer, G.: TAI-CHI- Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction, 31. Jahrestagung für Akustik „DAGA'05“, Deutsche Gesellschaft für Akustik, 14.-17.03.2005, München

Schäfer, G.: Schadenskunde von Zahnwellen-Verbindungen, Seminar „Zahnwellenverbindungen und Pressverbindungen“, VDI Bildungswerk, 15./16.03.2005, Chemnitz

Schäfer, G.: Betriebs- und Verschleißverhalten von Zahnwellen-Verbindungen, Seminar „Zahnwellenverbindungen und Pressverbindungen“, VDI Bildungswerk, 15./16.03.2005, Chemnitz

Düsing C., Müller D., Schäfer G.: Konstruktionsmethodik als Exportschlager – Kontinuierliche Kooperation mit Südostasien, TU Contact, Nr. 16, 10. Jahrgang, Clausthal-Zellerfeld, Mai 2005

Grünendick T., Müller D., Rolshofen W.: Die Fabrik der Zukunft - ein europäisches Netzwerk, TU Contact, Nr. 16, 10. Jahrgang, Clausthal-Zellerfeld, Mai 2005

Schäfer, G.: Mechanik, Schäden an Großmaschinen, Tagung „Schadensfalluntersuchung“, Haus der Technik, 7./8.06.2005, Essen

Dietz, P.; Grünendick, T.; Guthmann, A.; Korte, T.: Construction using combined materials – possibilities and limits, Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems, 04.-15.07.2005, Cardiff, GB

Goltz, M.; Müller, D.; Schmitt, R.; van den Bosche, M.: Overcoming the challenges of product development and engineering changes in a distributed engineering environment, Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems, 04.-15.07.2005, Cardiff, GB

Müller, D.: Knowledge-based and requirements-driven product development, Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems, 04.-15.07.2005, Cardiff, GB

Trenke, D.; Rolshofen, W.: Rapid Tooling Process Chain, Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems, 04.-15.07.2005, Cardiff, GB

Rolshofen, W.; Ming, Y.; Wang, Z.: Acoustic Holography in-Solids for Computer-Human Interaction, Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems, 04.-15.07.2005, Cardiff, GB

Schäfer, G.; Wächter, M.: ECTS – Modularisation - Workload, ICEE 2005 International Conference on Engineering Education, 25.-29.07.2005, Gliwice, Poland, ISSN 1562-3580

Schäfer, G.: eLearning Academic Network, ICEE 2005 International Conference on Engineering Education, 25.-29.07.2005, Gliwice, Poland, ISSN 1562-3580

Schäfer, G.: Joint Degrees in Binational Studies, ICEE 2005 International Conference on Engineering Education, 25.-29.07.2005, Gliwice, Poland, ISSN 1562-3580

Ratchev, S.; Pawar, K. S.; Urwin, E.; Müller, D.: Knowledge-enriched requirement specification for one-of-a-kind complex systems, Concurrent Engineering - Research and Application Journal, Vol. 13, No.3, pp. 171-184, September 2005

Müller, D.: Improvement of engineering design processes, Workshop on Statistics in Innovation and the Design Process, ENBIS conference, 14. September 2005, Newcastle upon Tyne, Großbritannien

Schäfer, G.; Wächter, M.: Forming of shaft-hub connections with circular toothed splines, MSD-IE conference, 22.–23. September 2005, Wroclaw, Poland

Rolshofen, W.; Soroka, A.; Eldukhri, E.; Müller, D.: I*PROMS - Innovative Production Machines and Systems, MSD-IE conference, 22.-23. September 2005, Wroclaw, Poland

Dietz, P.; Grünendick, T.; Guthmann, A.; Schäfer, G.: Internal high pressure assembled press fit shaft-hub connections, MSD-IE conference, 22.-23. September 2005, Wroclaw, Poland

Veröffentlichungen 2006

Rolshofen, W.; Dietz, P.; Schäfer, G.: Neuartige berührbare Schnittstellen durch die Rückprojektion akustischer Wellen, Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Fachbeiträge der 32. Deutschen Jahrestagung für Akustik DAGA '06, Braunschweig, ISBN: 3-9808659-2-4

Schäfer, G.: Rapid eLearning im Einsatz, Tag des eLearning CeBIT 2006, Besser lernen – mehr wissen – mehr können, 13.03.2006, Hannover

Rolshofen W., Dietz P. und Schäfer G.: Innovative Interface for Human-Computer Interaction, Proceedings of the 9th International Design Conference DESIGN 2006, Dubrovnik, Croatia, 2006, ISBN 953-6313-82-0

Schäfer, G.: Mechanik, Schäden an Großmaschinen, Tagung „Schadensfalluntersuchung“, Haus der Technik, 17./18.05.2006, Essen

Schäfer, G.: eLearning Academic Network – Blended Lectures, iNEER Special Volume “INNOVATIONS 2006: World Innovations in Engineering Education and Research”, 2006, Arlington USA, ISBN 0-9741252-5-3

Trenke, D., Müller, N. und W. Rolshofen: Selective laser sintering of metal and ceramic compound structures, 2nd Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems, 03.-14.07.2006, Cardiff, GB

Trenke, D.; Dissertation: Selektives Lasersintern von porösen Entlüftungsstrukturen am Beispiel des Formenbaus, April 2006, Papier-flieger Claus-thal-Zellerfeld, ISBN 3-89720-848-2

Hickmann, T., Adamek, T. (Wilhelm Eisenhuth GmbH KG), Müller, N., Trenke, D. (Institut für Maschinenwesen der TU Claus-thal); Der Stahlformenbauer, Ausgabe 05-2006, S. 14-16, Fachverlag Möller 2006

Dietz, P., Guthmann, A. und T. Korte: Material-driven solution finding – functional materials in the design process, 2nd Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems, 03.-14.07.2006, Cardiff, GB

Rolshofen, W. et al.: “TAI-CHI: Tangible acoustic interfaces for computer-human interaction”, Euroscience Open Forum 2006: 15. - 19. Juli; Forum am Deutschen Museum und Deutsches Museum, München

Dietz, P.: Accreditation in Europe – System and Experiences, ICEE 2006 International Conference on Engineering Education, 23.-28.07.2006, San Juan, Puerto Rico, ISBN 1-58874-648-8

Sambale, B.: Fixed outcomes with non-traditional curricula, ICEE 2006 International Conference on Engineering Education, 23.-28.07.2006, San Juan, Puerto Rico, ISBN 1-58874-648-8

Schäfer, G.: Requirements of integrated international engineering studies, ICEE 2006 International Conference on Engineering Education, 23.-28.07.2006, San Juan, Puerto Rico, ISBN 1-58874-648-8

Lütkepohl, A.: Anforderungsgetriebene Konstruktionsmethodik zur werkstoffgerechten Lösungsfindung. Abschlussymposium zum Paketantrag „Kompatibilisierungsmethoden“, 16.11.2006, Clausthal

D. Müller, P. Dietz, N. Müller: Intelligent Assistance for a Task-oriented Requirements Management, Proceedings 2nd International Joint e-Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering (CIS²E 2006), 4. – 14. Dezember 2006

Veröffentlichungen 2007

Müller, N.; Bormann, E.; Kramer, W.; Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards; DIN-Mitteilungen + Elektroniknorm, Ausgabe 03-2007, S. 11-17, Beuth Verlag Berlin 2007, ISSN 0722-2912

Schäfer, G.: Using manufacturing influences to material properties within design, ICMA '07, Singapore, ISBN: 978-981-05-8089-6

Schwarzer, T.: Die Problematik der Auslegung mehrlagig bewickelter Seiltrommeln bei der Bewicklung mit Kunststoff- oder Hybridseilen, 15. Internationale Kranfachtagung, Bochum Mai 2007, ISBN 3-89194-179-X

Rolshofen, W.; Dietz, P.; Beck, H.-P., et al.: Base Load Power from the North Sea. European Wind Energy Conference (EWEC 2007), Milan, Italy, 7-10 May 2007

Schäfer, G.: Netzintegration von Offshore Großwindanlagen, Vortrag, science.fest 2007, Mannheim

Kramer, W.; Müller, N.: Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards, Vortrag, VDI-VDE-DGQ Gemeinschaftskreis Qualitätsmanagement Hannover, 25.06.2007, Hannover

Lohrengel, A.; Schäfer, G.; Wesling, V.: Iterative loop to include material and manufacturing information in an early design stage, Virtual International Conference on Innovative Production Machines and Systems (IPROMS 2007), The Internet, 2nd-13th July 2007, Whittles Publishing (Scotland) (2007). To be published end of 2007

Lohrengel, A.; Schäfer, G.; Wesling, V.: Design strategies for the development of high strength coupling elements from requirement optimized composite materials, Creation of High-Strength Structures and Joints by Setting up Local Material Properties, trans tech publications, Stafa-Zurich, 2007, ISBN: 978-0-87849-455-2

Lohrengel, A.; Ostertag, W.; Sprick, R.: An innovative device for the manufacture of disposable medical- and healthcare products. Virtual International Conference on Innovative Production Machines and Systems (IPROMS 2007), The Internet, 2nd-13th July 2007, Whittles Publishing (Scotland) (2007). To be published end of 2007

Schäfer, G.: Auslegung von Zahnwellen-Verbindungen. VDI-Berichte 2004, VDI Tagung Wiesloch Okt. 2007, ISBN 978-3-18-092004-7

Korte, Th.: Dimensionierung und Gestaltung von spielbehafteten Längsstiftverbindungen. VDI-Berichte 2004, VDI Tagung Wiesloch Okt. 2007, ISBN 978-3-18-092004-7

Dietz, P.; Kruk, R.; Lohrengel, A.; Wieczorek, A.: Stanowisko do badan wlasnosci dynamicznych lozysk. XV Jubileuszowa Miedzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna TEMAG 2007, S. 25-29. Gliwice – Ustron Oktober 2007, ISBN 978-83-917265-6-3.

Dietz, P.; Kruk, R.; Lohrengel, A.; Wieczorek, A.: Wyniki obliczen parametrow dynamicznych lozysk tocznych. XV Jubileuszowa Miedzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna TEMAG 2007, S. 31-39. Gliwice – Ustron Oktober 2007, ISBN 978-83-917265-6-3.

Dietz, P.; Lohrengel, A.; Schwarzer, T.: Charakterystyka naprezen w linach hybrydowych wykonanych z tworzyw w trakcie wielowarstwowego ich nawijania na beben. XV Jubileuszowa Miedzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna TEMAG 2007, S. 139-151. Gliwice – Ustron Oktober 2007, ISBN 978-83-917265-6-3.

Rolshofen, W.; Dietz, P.; Schäfer, G.: Application of Tangible Acoustic Interfaces in the Area of Production Control and Manufacturing. J. Jacko (Ed.): Human-Computer Interaction, Part II, HCII 2007, LNCS 4551, pp. 920–925, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, ISBN: 978-3-540-73106-1

Veröffentlichungen 2008

Käferstein, B.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.: Einfluss der Fügestelle auf den Körperschall in Feinblechkonstruktionen; Tagung Fahrzeugunterboden; CTI Augsburg 23./24.01.2008

Müller, N.; Bormann, E.; Kramer, W.; Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards; DIN-Mitteilungen + Elektroniknorm, Ausgabe 03-2008, S. 15-22, Beuth Verlag Berlin 2008, ISSN 0722-2912

Sambale, B.; Schäfer, G.: Weiterentwicklung dualer Studienangebote im tertiären Bereich; Projektgruppe „Innovationen im Bildungswesen“ der Bund-Länder-Kommission; Arbeitsbericht März 2008

Käferstein, B.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.: Acoustic behaviour of joints in sheet metal; XV Acoustical and Biomedical Engineering Conference; 14.-18.04-2008 Zakopane; Polish Acoustical Society; www.iab2008.agh.edu.pl

Rolshofen, W.; Dietz, P.; Schäfer, G.; Kruk, R.: TAI-CHI: Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction; XV Acoustical and Biomedical Engineering Conference; 14.-18.04-2008 Zakopane; Polish Acoustical Society; www.iab2008.agh.edu.pl

Rolshofen, W.; Schäfer, G.: Offshore-Verbund-Kraftwerk; Ideen Park Stuttgart; 17.05.-25.05.2008 Stuttgart

Schäfer, G.: Mechanik, Schäden an Großmaschinen, Tagung „Schadensfalluntersuchung“, Haus der Technik, 28./29.05.2008, Essen

Schäfer, G.: Calculation of Splined Shafts; 11.-13.06.2008 Universiti Teknologi MARA, UITM Malaysia

Müller, N.; Verleihung der FTMV-Gütesiegel; Zukunft Ingenieurwissenschaften - Zukunft Deutschland; S.247-249, Springer-Verlag 2008 ISBN 978-3-540-89608-1

Korte, T.: Längsstiftverbindungen als Alternative zur Passfeder. Konferenzband zur 16. internationalen wissenschaftlich-technischen Konferenz TEMAG 2008 Lebensdauer von Konstruktionselementen und -baugruppen in Bergbaumaschinen. Biblioteka TEMAG 2008, ISBN 978-83-61442-04-2

Kruk, R., Kramarczuk, W., Wieczorek, A.: Zastosowanie metody sztywnych elementow skonczonech do wyznaczania obciazen dynamicznych przekladnie zebatej. Konferenzband zur 16. internationalen wissenschaftlich-technischen Konferenz TEMAG 2008 Lebensdauer von Konstruktionselementen und -baugruppen in Bergbaumaschinen. Bibliotheka TEMAG 2008, ISBN 978-83-61442-04-2

Kruk, R., Thoden, D., Backhaus, S.-G.: Neuartiger Prüfstand zur akustischen Untersuchung von Wälz- und Gleitlagern. Fortschritte der Akustik : DAGA 2008 ; 34. Jahrestagung für Akustik, 10. - 13. März 2008 in Dresden, ISBN: 978-3-9808659-4-4

Seitz, T.; Dietz, P.; Lohrengel, A.: Werkstoffauswahl für transportable Zerkleinerungseinrichtungen. ProcessNet Jahrestagung 2008, 09.10.2008, Karlsruhe. In: Chemie Ingenieur Technik 9/2008, S. 1436, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, ISSN 0009-286X.



TU Clausthal

Das Karriere-Sprungbrett



Dr.-Ing. Jürgen Großmann,
Vorstandsvorsitzender RWK



Prof. Dr.-Ing. Wan Gang,
Forschungsminister China



Prof. Dr.-Ing. Ekkelhard Schulz,
Vorstandsvorsitzender ThyssenKrupp

Die Technische Universität Clausthal sucht

30 Wissenschaftliche Mitarbeiter/innen

mit dem Ziel der Promotion (Vergütung nach TV-L 13)

Die renommierte TU Clausthal ist innovativ, international und interdisziplinär aufgestellt. Als industriennahe und forschungsstarke Universität verfügt sie über eine der höchsten Drittmittelquoten. Bekannt ist die Hochschule aus dem Harz außerdem für ihre hohe Lehrqualität. Im Rahmen einer Promotion haben Sie die Chance, in ambitioniertem Umfeld eigenverantwortlich zu arbeiten, Ihre Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz weiterzuentwickeln und so die TU Clausthal als Karriere-Sprungbrett zu nutzen.

Weitere Informationen zu den einzelnen Stellen finden Sie unter: www.tu-clausthal.de

Institut für Bergbau, Institut für Chemische Verfahrenstechnik, Institut für Elektrische Energietechnik, Institut für Elektrische Informationstechnik, Institut für Maschinelle Anlagen-technik und Betriebssteuertechnik, Institut für Maschinenwesen, Institut für Metallurgie, Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik, Institut für Prozess- und Produktionstechnik, Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren, Institut für Technische Mechanik, Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik.



Autoren

Bessling, Sara: Jahrgang 1983, studierte Wirtschaftsinformatik an der TU Clausthal, seit 01.10.2008 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW. bessling@imw.tu-clausthal.de

Bormann, Erik: Jahrgang 1971, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 10.07.2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. bormann@imw.tu-clausthal.de

Dietz, Peter: Jahrgang 1939, studierte Maschinenbau an der TH Darmstadt, wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebe der TH Darmstadt, Promotion 1971 über die Berechnung von Seiltrommeln, seit 1974 Leiter der Stabstelle Konstruktionsysteme der Pittler Maschinenfabrik AG, Langen, seit 1977 dort Leiter der Entwicklungsabteilung, seit 1.10.1980 Universitätsprofessor, bis 31.1.2007 Institutsdirektor des IMW. dietz@imw.tu-clausthal.de

Echtermeyer, Pierre: Jahrgang 1983, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 01.10.2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren (ISAF) der TU Clausthal. pierre.echtermeyer@tu-clausthal.de

Ernst, Christian: Pressestelle TU Clausthal. christian.ernst@tu-clausthal.de

Hilgermann, Jan Lukas: Jahrgang 1981, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.2.2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. hilgermann@imw.tu-clausthal.de

Hoffmann, André: studiert allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, andre.hoffmann@tu-clausthal.de

Isranuri, Ikhwansyah: Jahrgang 1964, studierte Maschinenbau an der Universität Sumatera Utara /Indonesien, von 1994 bis 1999 Gastwissenschaftler am IMW, Promotion 1999, inzwischen Leiter des Departments „Mechanical Engineering“ an der University of Sumatera Utara. ikhwansyah@usu.ac.id

Jüttner, Mark: Pressestelle TU Clausthal. mark.juettner@tu-clausthal.de

Kaltenborn, Sven: Jahrgang 1970, studierte Maschinenbau/Allgemeiner Maschinenbau an der TU Clausthal, bis 05/2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bergbau/Prüfwesen, Promotionsthema Festigkeitsuntersuchungen an Schüttgutbehältern bei Stoßbelastung, seit 06.2002 im Strategischen Technologie Management der Otto Bock HealthCare GmbH, Duderstadt. kaltenborn@ottobock.de

Korte, Thomas: Jahrgang 1972, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.5.2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. korte@imw.tu-clausthal.de

Kruk, Radoslaw: Jahrgang 1979, studierte als Doppeldiplom Maschinenbau, AGH Krakau, TU Clausthal, seit 3.2.2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. kruk@imw.tu-clausthal.de

Kühnemund, Jens: studiert allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, jens.kuehnemund@tu-clausthal.de

Lau, Peter: Jahrgang 1970, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.1.2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. lau@imw.tu-clausthal.de

Leitschuh, Daniel: studiert allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, daniel.leitschuh@tu-clausthal.de

Lohrengel, Armin: Jahrgang 1966, studierte Maschinenbau/Konstruktionstechnik an der TU Clausthal und RWTH Aachen, bis 09/1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinenelemente und –gestaltung, Promotionsthema Lebensdauerorientierte Dimensionierung von Freiläufen, bis 01/2007 Leiter Maschinenentwicklung Paul Hartmann AG Heidenheim, seit 1.2.2007 Universitätsprofessor und Institutsdirektor des IMW. lohrengel@imw.tu-clausthal.de

Miehe, Andreas: Jahrgang 1971, studierte Informatik im Maschinenbau an der TU-Clausthal, seit 1998 Berater in der Industrie in den Bereichen Produktdatenmanagement und Netzwerkdesign, seit 1.1.2007 zusätzlich wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. miehe@imw.tu-clausthal.de

Müller, Norbert: Jahrgang 1949, studierte allgemeinen Maschinenbau an der FH Frankfurt und TH Darmstadt, Leiter Zentralaufgaben Konstruktion der Pittler AG, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW, Promotion 1990 über rechnergestützte Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen am Beispiel von Zentrifugentrommeln, Bereichsleiter Informationstechnik der Pittler GmbH, seit 1.11.1997 Professor für Rechnerintegrierte Produktentwicklung am IMW. mueller@imw.tu-clausthal.de

Rolshofen, Wolfgang: Jahrgang 1975, studierte Geophysik an der TU Clausthal, seit 1.5.2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. rolshofen@imw.tu-clausthal.de

Schäfer, Günter: Jahrgang 1963, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.11.89 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW, seit 1991 akademischer Rat, Promotion im November 1995 über Verschleiß und Berechnung von Zahnwellen-Verbindungen, seit 2002 akademischer Oberrat. schaefer@imw.tu-clausthal.de

Seitz, Tobias: Jahrgang 1975, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.5.2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. seitz@imw.tu-clausthal.de

Siemann, Eric: Jahrgang 1978, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.5.2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. siemann@imw.tu-clausthal.de

Thoden, Daniel: Jahrgang 1977, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.7.2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. thoden@imw.tu-clausthal.de

Wächter, Martina: Jahrgang 1959, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.4.1985 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW. waechter@imw.tu-clausthal.de

Wieczorek, Andrzej: Schlesische Technische Universität, Gleiwitz, Polen; Andrzej.N.Wieczorek@polsl.pl

Yanikömer, Temel: studiert allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal. temel.yanikoemer@tu-clausthal.de

So finden Sie das IMW

Aus Richtung Hannover / Hamburg:

A7 bis Ausfahrt **Seesen** → An der Ampel rechts; nach ca. 1,5 km links auf die vierspurige **B243**

B243 an der Ausfahrt **Clausthal-Zellerfeld, Braunlage** verlassen auf die **B242**

B242 → Richtung Ortsteil Zellerfeld abbiegen

Im **Ortsteil Zellerfeld** rechts auf die **B241** einbiegen → nach lang gezogener Linkskurve in den Kreisverkehr einbiegen → auf rechter Spur dem Verlauf der **B241** folgen und den Kreisverkehr verlassen → nach ca. 100 m rechts die Robert-Koch-Straße einbiegen.

Das IMW befindet sich nach ca. 400 m (zwei Querstraßen) auf der rechten Seite.

Aus Richtung Göttingen / Kassel:

A7 bis Ausfahrt **Norheim-Nord** → **B3** bis **Norheim**; in Norheim Umgehungsstraße zur **B247** → **B247** Richtung **Katlenburg / Duderstadt**

In **Katlenburg** auf die **B241** Richtung **Osterode** abbiegen.

Am **Ortseingang Osterode** auf die **B243** Richtung Herzberg. Nach ca. 500 m Ausfahrt **Goslar / Clausthal-Zellerfeld** abfahren → **B241** Richtung Clausthal-Zellerfeld

Nach **Ortseingang Clausthal-Zellerfeld** der Hauptstraße folgend rechts abbiegen → an T-Einmündung (rechterhand der Tankstelle) rechts abbiegen und Clausthal verlassen.

Nach 1,5 km links abbiegen Richtung Goslar / Clausthal → **Ortsschild Clausthal** → in die dritte Straße (Robert-Koch-Straße) links einbiegen.

Das IMW befindet sich nach ca. 250 m auf der linken Seite.

