

Mitteilungen aus dem
Institut für Maschinenwesen
der
Technischen Universität Clausthal
Nr. 31

(Dezember 2006)

Herausgeber:

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Peter Dietz

Redaktion und Layout:

Dr.-Ing. Günter Schäfer
Dipl.-Math. Bianca Sambale

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:

Links unten: Gelenkwelle auf dem Verspannprüfstand. Mitte oben: Ersatzmodell für die Bewicklung einer Seiltrommel mit einem Kunststoffseil. Rechts unten: Institut für Maschinenwesen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Konstruktion und Berechnung von Maschinenelementen	
Korte, T.: Untersuchungen an spielbehafteten Längsstiftverbindungen	3
Lau, P.: Grundlegende Untersuchungen an Zahnwellen zur Kerbwirkungsermittlung	7
Schäfer, G.: Zahnwellen-Verbindungen als Längenausgleich in Gelenkwellen.....	11
Seitz, T.: Entwicklung einer transportablen und kompakten Schneidmühle	15
Schwarzer, T.: Einfluss einer mehrlagigen Bewicklung von Seiltrommeln mit Kunststoffseilen auf deren Gestaltung und Dimensionierung.....	19
Thoden, D.: Elasto-hydrodynamische Schmierung von Druckkämmen	23
Konstruktionsmethodik und rechnerunterstützte Produktentwicklung	
Lütkepohl, A.: Werkstoffgerechte Lösungsfindung durch anforderungsgetriebene Konstruktionsmethodik	27
Müller, D.: Task-oriented requirements management by application of information agents	31
Bormann, E.; Kramer, W.; Müller, N.: Innovation mit Normen und Standards - Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards	39
Experimentelle Methoden und Maschinenakustik	
Bormann, E.; Dietz, P.; Esderts, A.: Schallintensitätsmessung zur Ermittlung von Einzelschallquellen.....	43
Kruk R.; Joostberens J.; Wieczorek A.: Lärm- und Schwingungsminderung durch Änderung der Zahnhöhe in Stirnzahnradgetrieben	49
Korte, T.; Lau, P.; Seitz, T.: Neue Prüfstände zur Bauteiluntersuchung am IMW.....	53
Rolshofen, W.; Dietz, P.; Schäfer, G.: Erste Ergebnisse des TAI-CHI Projektes zu berührbaren Benutzeroberflächen.....	57

Lehre und Institutsbetrieb

Thoden, D.:	
Literaturmanagement: Der schnelle Weg zum richtigen Verweis	61
Lütkepohl, A.; Schwarzer, T.:	
Erweiterung des Lehrangebotes des IMW – Optimierung von Bauteilstrukturen mit TOSCA 6.0	65

Hochschule und Kontakte

Sambale, B.; Dietz, P.:	
Improving the structure and content of the Mexican engineering design education on university level	67
Rolshofen, W.:	
ESOF2006 – Euroscience Open Forum in München	73
Qu, T.; Lütkepohl, A.:	
Bericht eines Austauschstudenten aus Shanghai - Culture Exchange Internship Report	75
Wächter, M.:	
Neue Strukturen an der Technischen Universität Clausthal	77
Seitz, T.; Schwarzer, T.; Rolshofen, W.:	
I*PROMS: Activities at the IMW in 2006	81
Isranuri, I.; Suwandi, N.:	
Rankine cycle thermodynamic simulator of knowledge-based system for noise source identification of a steam power plant	83
Pająk, T.:	
Vor-Investitionsphase des Baus von Müllverbrennungsanlagen in Polen	89
Wolny, St.:	
Belastungen im System Schachtfördergefäß – Einstrich: Mechanisches Dreimassenmodell	95
Wolny, St.; Dzik, St.; Siemieniec, A.:	
Die Messung der Kräfte der gegenseitigen Einwirkung in den Elementen eines Schachtfördergefäßes	99

Ausstattung etc.

Technische Ausrüstung, Kooperationsangebote und Forschungsschwerpunkte des Institutes	105
Veröffentlichungen des Institutes seit dem 1.1.2002	109
Studien- und Diplomarbeiten am Institut im Jahr 2006	113
Autoren	114

Vorwort

Zuerst die erfreuliche Nachricht: Der Nachfolger für die Leitung des Instituts ist gefunden, hat zugesagt und wird am 1. Februar 2007 seinen Dienst in Clausthal antreten. Sicherlich wird er in der Ausgabe der nächsten Institutsmittteilungen ausführlich über sich berichten, deshalb hier nur einige Eckdaten: Herr Dr. Lohrengel hat mit seinem Studium in Clausthal begonnen, ist nach dem Vorexamen nach Aachen übersiedelt und hat dort nach Beendigung seines Studiums am Institut für Maschinenelemente und Maschinengestaltung bei Prof. Gold gearbeitet, wo er über Freiläufe promovierte. Zurzeit ist er bei der Hartmann Gruppe und leitet ein Subunternehmen, das Maschinen zur Herstellung von Produkten für Hartmann herstellt (Hartmann kennt man natürlich von den Verbandskästen im Auto).

Mit diesem befriedigenden Ergebnis der Suche nach einem Nachfolger werde ich ab März in den Ruhestand gehen, habe aber immer noch genügend im Institut zu tun, so dass ich mir ein Dienstzimmer gesichert habe, in dem ich die begonnenen Projekte noch zu Ende führen werde. Da gibt es neben einigen DFG- und AiF-Projekten insbesondere Förderungen, für die ich mich in Ländern wie Mexiko, Brasilien, Thailand, Malaysia und Indonesien für das Institut und die Hochschule aufopfern kann.

Persönlich wird mir sicherlich nicht langweilig werden, da ich mich in der letzten kommunalpolitischen Kampagne zu Wahl gestellt habe und jetzt Bürgermeister von Clausthal-Zellerfeld und Buntenbock bin (vier Wochen musste ich dafür von jedem Laternenmast in Clausthal runterlächeln). Bis jetzt hat mir dieses Amt so aufregende Dinge beschert wie die Eröffnung der Kaninchenzüchter-Ausstellung oder die Leitung der traditionellen Clausthaler Riesensauferei beim Anstich des Carolusbieres. Aber ich merke schon, dass insbesondere in der Kommunikation der Bergstadt mit der Universität noch ein bisschen Grundlagenarbeit zu leisten ist. Interessant und durch Forschungsarbeiten bestätigt sind bekanntlicherweise die Ähnlichkeiten der Tätigkeiten: Produktentwickler wie Bürgermeister müssen Probleme lösen, die aus ungenauen und von Vorfixierungen strotzenden Aufgabenstellung zuerst zu einer Anforderungsliste und einer Funktionsstruktur analysiert werden müssen, beide müssen Entscheidungen treffen ohne ausreichende

Unterlagen hierzu und beide müssen schließlich ihre Lösungen „verkaufen“. Für beide ist die Teamarbeit ungeheuer wichtig und beide haben dabei ihre „natürlichen Feinde“ (bei den Konstrukteuren waren das die Verkaufsingenieure). Vielleicht entwickle ich aus meinen Erfahrungen mal eine Anleitung zum methodischen Vorgehen in der Kommunalpolitik – aber zurzeit glaube ich noch, dass die Einführung des gesunden Menschenverstandes in die Politik uns einen guten Schritt weiterbringen könnte.

Obwohl in Niedersachsen in diesem Jahr zum ersten Mal die Studiengebühr erhoben wurde, hat sich die Studentenzahl der Technischen Universität Clausthal in etwa erhalten, wenn auch die Neuanfänger im Maschinenbau etwas abgefallen sind. Wir sehen diese „Erleichterung im Technischen Zeichnen“ aber als vorübergehend an und glauben an einen entsprechend größeren Schub im nächsten Jahr. Natürlich spielen zurzeit die Detailplanung der Bachelor- und Masterstudiengänge und die entsprechenden Vorbereitungen zur Akkreditierung innerhalb der Fakultät eine überragende Rolle (Martina Wächter berichtet darüber in dieser Ausgabe) – ich glaube, dass manche Kollegen jetzt erst merken, dass sich die gesamte Studienstruktur verändert hat und nicht nur die Titel der ansonst gleichen Vorlesungen. Das Institut für Maschinenwesen wird mit dem Technischen Zeichnen, mit den Konstruktionselementen und dem methodischen Teil der Konstruktionslehre im Bachelorstudium vertreten sein, die Experimentelle Festigkeit und die Simulationen werden ebenso wie die Maschinenakustik und Spezialkapitel aus der Konstruktionslehre Teil des Masterstudium werden. Hinzu kommen Veranstaltungen in der Mechatronik, für die Herr Lohrengel sicherlich interessante Beiträge leisten wird.

Unsere Universität durchlebt zurzeit einige Turbulenzen. Hannover hat beschlossen die Studentenerwerke Clausthal und Braunschweig zusammenzulegen, was auf heftigen Widerstand unserer Studierenden stößt. Gleichzeitig scheint der Minister finster entschlossen, die drei Hochschulen in Hannover, Braunschweig und Clausthal zu einer „Niedersächsischen Technischen Hochschule“ zusammenzuschließen, was für unsere kleine, aber feine Universität langfristig den Tod bedeuten würde. Die beteiligten Hochschulen und die Regionalpolitiker versuchen mit Zähnen und Krallen ihm diese Idee auszureden, was momentan ganz erfolgreich aus-

sieht. Das gelingt eigentlich nur, wenn unsere Uni sich als noch attraktiver in Lehre und Forschung zeigt und man dies besonders auf die überschaubare Größe und die vernetzte Zusammenarbeit in einer so kleinen Forschungsstätte zurückführt. Jede Meinungsbildung in diesem Sinne aus der Industrie wird uns bei der Argumentation helfen – wie wär's mit einem ermunternden Brief von Ihnen?

Das Institut für Maschinenwesen spielt in diesem Konzert ein wichtiges Instrument. Als Institut, durch das alle Ingenieurstudenten „durchmüssen“ und das immer noch vergleichsweise viele Forschungsmittel einwirbt (mehr als die Vergleichsinstitute in manchen größeren Universitäten), haben wir eine Vorzeigefunktion, was uns für die Zukunft auf Erwartungshaltungen treffen lässt, die es mindestens im Forschungsbereich zu erfüllen gilt. Das Institut ist mit etwa 17 Wissenschaftlichen Mitarbeitern nach wie vor eine forschungsintensive Einheit. Neben übernommenen und weitergeführten Vorhaben - darunter ein akustisches Vorhaben zur Körperschalleitung in Lagern, das wie Pech immer noch an uns hängt – gibt es einige neue Betätigungsfelder, die auch auf Neuausrichtungen schließen lassen. Die Forschung an Welle-Nabe-Verbindungen (Thomas Korte und Peter Lau berichten in diesem Heft) wurde erweitert auf Gelenkwellen (Artikel von Günter Schäfer) – dies bedeutet wegen der Größenordnungen den Bau von zwei großen Verspannungsprüfständen mit bis zu 1200 kW umlaufender Leistung, für diese Größenordnung bereiten wir zur Zeit auch unsere Drehmoment-Querkraft-Prüfstände auf. Qinsong Hua hat mit einer neuen Idee zur Verschleißtheorie in Zahnwellenverbindungen seine Promotion erfolgreich abgeschlossen.

Im Bereich der Maschinenelemente werden die von Dr. Mupende angefangenen Untersuchungen an Druckkammern weitergeführt, zu denen Daniel Thoden hier einen Bericht schreibt. Die nicht wegzu denkende Seiltrommelforschung wird durch Tim Schwarzer in einem Artikel vertreten, in dem wir versuchen Stahlseile durch die viel leichteren und nicht minder zugfesten Kunststoffseile zu ersetzen.

Der lang gehegte Wunsch nach der Entwicklung einer Allzweckmühle für den Hausmüll, der noch aus der Zeit unseres Sonderforschungsbereichs stammt, wurde in diesem Jahr durch ein Forschungsvorhaben bei der DECHEMA realisiert, Tobias Seitz berichtet.

Auch die „Kästchenmaler“ kommen in diesem Jahr etwas stärker zu Wort. Dirk Müller hat erfolgreich

mit dem Versuch promoviert, intelligente Agenten für die Erstellung und Verwaltung von Anforderungen einzusetzen und damit die Tradition des Institutes im requirement engineering fortzusetzen, Anke Lütkepohl (vormals Guthmann) schreibt über eine funktionsorientierte Werkstoffsuche, und die Youngster im Institut, Wibke Kramer und Erik Bormann, schreiben über ein Projekt von Prof. Müller, das die Interaktionen von Normen in der Marktwirtschaft betrifft – ein Projekt in Zusammenarbeit mit dem DIN. Erfolgreich war in diesem Jahr auch Detlef Trenke mit seiner Arbeit über Rapid Tooling.

Sie sehen, es bleibt nach wie vor lebendig am Institut – dies gilt auch für unsere internationalen Projekte und Beziehungen. TaiChi zeigt erste Ergebnisse (Wolfgang Rolshofen) und die Bemühungen in I*PROMS führen hoffentlich bald zu greifbaren Projekten. Eine Kontaktreise nach Tbilissi sorgte auch in diesem Jahr für den Erhalt des Tschatscha-Bestandes am Institut. Nach erfolgreicher Beendigung unseres Ausbildungsprojekts EAPSTRA in Thailand/Malaysia haben wir mit den gleichen Partnern einen neuen Antrag gestellt, der sich mit der Konstruktionslehre befasst – fast deckungsgleich mit dem zur Zeit schon in Mexiko laufenden Projekt, über das Bianca Sambale berichtet. Und schließlich haben Günter Schäfer und ich gerade eine anstrengende und alkoholreiche Reise hinter uns, in der wir die Zusammenarbeit mit Brasilien erneuern wollen.

Auch die erfreuliche Zusammenarbeit mit der Industrie in diesem Jahr lässt erkennen, dass das Institut jederzeit und mit Freuden neue Aufgaben und Probleme anpackt und für neue Erkenntnisse offen ist. Dies wird schon ein bisschen Wehmut in mir auslösen, wenn ich dem aktiven Institutsleben den Rücken kehren werde und – wie Frau Kurz es auszudrücken pflegt – „mehr im Rathaus als im Institut rumpoltere“.

Noch ist es aber nicht so weit, noch bin ich stolz Ihnen auch in diesem Jahre wieder ein interessantes Heft mit den neusten Nachrichten aus dem IMW präsentieren zu können. Auch in diesem Jahr danke ich für die Zusammenarbeit mit Ihnen und für Ihr Interesse an unserem Institut und wünsche Ihnen für den Jahreswechsel einen guten Rutsch.



Untersuchungen an spielbehafteten Längsstiftverbindungen

Korte, T.

Längsstiftverbindungen zur Übertragung von Drehmoment bieten ein großes Potenzial zur Leistungssteigerung in der Antriebstechnik. Um eine beanspruchungsgerechte Auslegung der Längsstiftverbindung zu ermöglichen werden am Institut für Maschinenwesen theoretische und praktische Untersuchungen durchgeführt.

Longitudinal pin connections for transmission of torque provide big potential to improve drive systems. At the Institute of Mechanical Engineering investigations are executed to enable a load based dimensioning of such pins.

1 Stand der Technik

Längsstiftverbindungen gehören zu den form-schlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen. Sie bestehen aus axial im Fügedurchmesser angeordneten Stiften ^{NTS} als Mitnehmerelementen. Am Institut für Maschinenwesen wurden erste Dimensionierungsgrundlagen für diese Verbindungsart erarbeitet. Die Untersuchungen berücksichtigten unter anderem Parameter wie Anzahl der Stifte, variierende Durchmesserhältnisse von Welle, Nabe und Stift sowie den Einfluss der Verbindungsbreite. Die Untersuchungen wurden numerisch und experimentell durchgeführt. Statische Verdrehversuche und Messungen der Verformungen mit der Koordinatenmessmaschine sowie Spannungsmessungen mit Dehnungsmessstreifen dienten zum Abgleich der FE-Analysen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind unter anderem Gestaltungshinweise bezüglich Geometrie, Stiftnzahl sowie Passungswahl, die es dem Konstrukteur

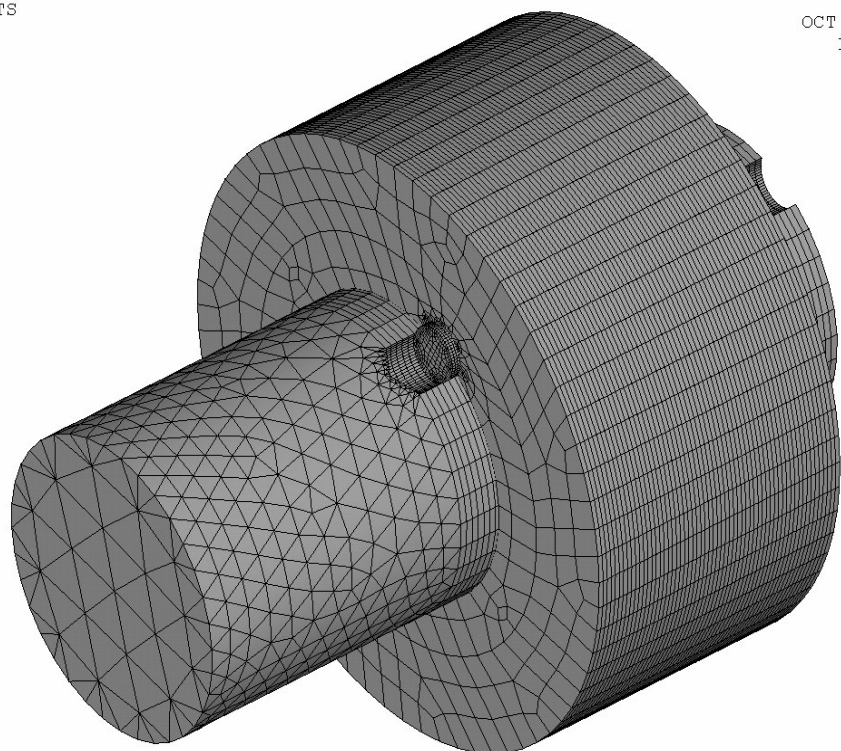
ermöglichen, Längsstiftverbindungen unter Berücksichtigung der Lasteinleitung auszulegen /1,2/.

2 Ziel der Untersuchungen

Ziel des aktuellen, von der DFG geförderten Forschungsprojektes ist die Erweiterung des Kenntnisstands durch:

- Erweiterung der erarbeiteten Berechnungsgrundlagen unter Berücksichtigung des teilplastischen Materialverhaltens,
- Untersuchung der Gestaltfestigkeit von Längsstiftverbindungen unter kombiniert statisch-dynamischer Torsions- und Biegebelastung und
- Untersuchung der Reibdauerbeanspruchung unter dynamischer Beanspruchung.

Im Fokus der Untersuchungen stehen in erster Li-



OCT 29
19:1

Bild 1: elementiertes Modell einer Längsstiftverbindung

nie Ein- und Dreistiftverbindungen. Da die Beanspruchungen entscheidend von den Verformungen der einzelnen Kontaktkörper (Welle, Nabe, Stift)

abhängen, sind umfangreiche Parameteruntersuchungen mit Belastungs-Verformungskopplung nötig. Außerdem verursachen plastische Verformungen Veränderungen in der Kontaktzone, die Auswirkungen auf das Zentrier- und Betriebsverhalten haben.

3 FE-Untersuchungen

Mit Hilfe von Finite-Elemente-Berechnungen wird zunächst das Beanspruchungsverhalten der spielbehafteten Längsstiftverbindungen unter Berücksichtigung des elastoplastischen Materialverhaltens untersucht. **Bild 1** zeigt das elementierte Modell einer Längsstiftverbindung.

Um den Aufwand für die Erstellung der Simulation zu reduzieren, wurde ein vollständig parametrisches Modell entwickelt, das über ein Skript die erforderlichen Daten zur Modellgenerierung abfragt. Eingaben sind dabei:

- Durchmesser von Welle, Nabe und Stift
- Passungen mit Abmaßen von Welle, Nabe und Stift
- Anzahl der Stifte, Teilung
- Verbindungslänge
- Teilungsabweichungen
- Größe der Drehmomentbelastung

Untersucht werden zunächst Ein- und Dreistiftverbindungen. Von Interesse sind dabei insbesondere das Plastifizierungs- und das Ausgleichsverhalten bei Verwendung mehrerer Stifte, auch unter Berücksichtigung der Teilungsabweichungen.

Element	Welle	Nabe	Stift
Werkstoff	42CrMo4	C45	115CrV5
Zugfestigkeit [N/mm²]	1050	750	690
Streckgrenze [N/mm²]	700	400	500
Bruchdehnung [%]	12	14	25
Brucheinschnürung [%]	50	35	45
Elastizitätsmodul [N/mm²]	210000	210000	210000
Poissonzahl ν	0,3	0,3	0,3

Tab. 1: Werkstoffwahl und Kennwerte

Die gewählten Werkstoffe der Bauteile für die Simulation und die Versuche sind **Tabelle 1** zu entnehmen.

Hier sind auch die Werkstoffkennwerte aufgeführt, wie sie als Eingabe für die Simulation dienen.

3.1 Verlauf der plastische Verformungen

Die **Bilder 2 und 3** zeigen exemplarisch die plastischen Verformungen im hochbelasteten Anfangsbereich der Nabe und die Verformungen längs der Stiftbohrung. Es wurde eine Verbindung mit 32 mm Wellendurchmesser und 4 mm Stiftdurchmesser bei einer Torsionsbelastung von 1000 Nm untersucht.

Aufgrund der nicht zentrischen Lagerung der Welle kommt es zum Anliegen der Welle an der Nabeninnenseite. Die radiale Komponente der bei der Ab-

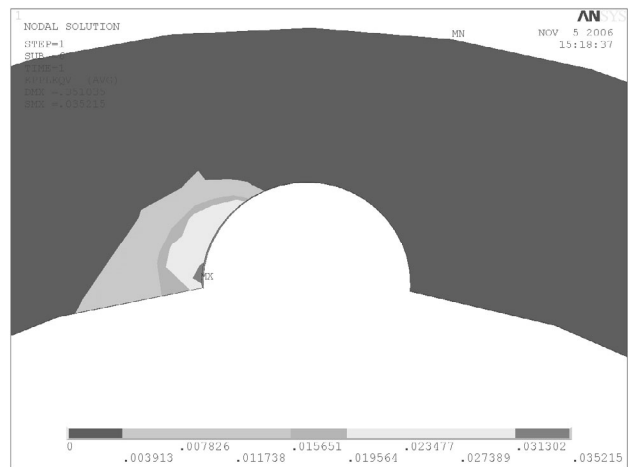


Bild 2: Plastische Verformungen am belastungsseitigen Nabenrand bei 1000 Nm Torsion



Bild 3: Plastische Verformungen in der Nabe längs der Stiftbohrung bei 1000 Nm Torsion

stützung auftretenden Kraft bewirkt eine zusätzliche Flächenpressung. Dies ist von Interesse, da bei Be-

rücksichtigung der Reibung ein lokaler Pressverband entsteht, der Anteile des Gesamtdrehmomentes überträgt.

Außerdem ist zu erkennen, dass bei hinreichend dickwandigen Naben die größten Verformungen im vorderen Bereich der Verbindung auftreten. **Bild 4** zeigt die plastischen Verformungen am Stift der oben genannten Verbindung.

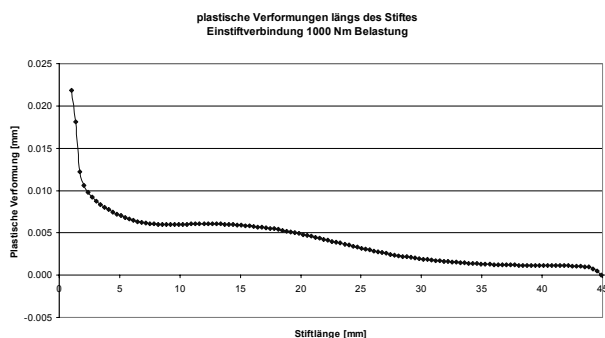


Bild 4: plastische Verformungen längs des Stiftes

3.2 Einfluss des Spiels der Verbindung

Bei spielbehafteten Längsstiftverbindungen erfolgt die Zentrierung der Verbindung nicht über das Mitnehmerelement, wie zum Beispiel bei der Flanken-zentrierung einer Zahnwellenverbindung. Aus diesem Grund ist bei Längsstiftverbindungen die Festlegung der Passung zwischen Welle und Nabe zum einem und zwischen Stift und Stiftbohrung zum anderen von besonderer Bedeutung. Für Passfedern mit Rückenspiel ist gemäß DIN 6892 eine Passung Welle/Nabe H7/k6 angegeben. In [1] wird diese Passung auch für spielbehaftete Längsstiftverbindungen empfohlen. Insbesondere hinsichtlich der Gestaltfestigkeitsuntersuchungen ist das plastische Verhalten der Verbindung im Rahmen der durch die Passung tolerierten Maße von Interesse. Beispiel-

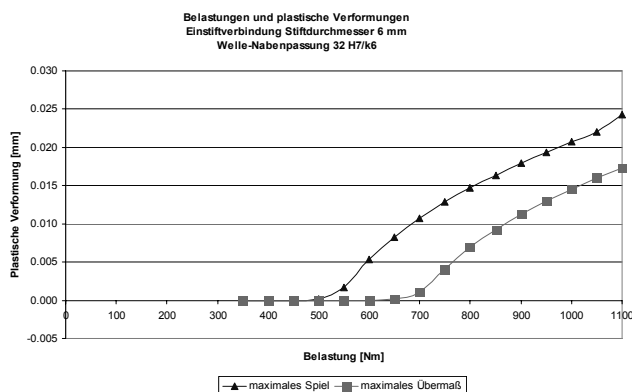


Bild 5: Plastische Verformungen bei maximalem Spiel, bzw. maximalem Übermaß

haft sind in **Bild 5** die Auswirkungen des Spiels an einer Einstiftverbindung mit einem Stiftdurchmesser von 6 mm zusammengefasst. Untersucht wurde eine Verbindung mit der Übergangspassung 32 h7/k6 im Fügedurchmesser jeweils mit dem maximalen Spiel und dem maximalen Übermaß ohne Spiel im Stift.

Es ist anhand der Abbildung zu erkennen, dass das Übertragungsverhalten des Stifts bei der Übermaßpassung von einem anteiligen Presssitz überlagert wird. Der reibschlüssig übertragene Anteil ist als horizontaler Abstand zwischen den beiden Verläufen in Bild 5 zu erkennen.

3.3 Einfluss von Teilungsabweichungen am Umfang

Durch Einflüsse der Fertigung entstehen Teilungsabweichungen am Umfang der Fügefläche. Das bedeutet, dass die ideal angenommene Teilung der Stifte in der Realität nicht erzeugt werden kann. Dies kann durch das parametrische FE-Modell dargestellt werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass bei einer Mehrstiftverbindung ein Stift eine gewisse Winkelabweichung von der Sollgeometrie der Teilung aufweist. Dies wurde in verschiedenen Dreistiftverbindungen simuliert.

Bild 6 zeigt exemplarisch das Verhalten einer Dreistiftverbindung mit einem Stiftdurchmesser von 6 mm bei einer Torsionsbelastung von konstant 700 Nm. In einer idealen Längsstiftverbindung ohne Teilungsabweichungen sind bei dieser Belastung kei-

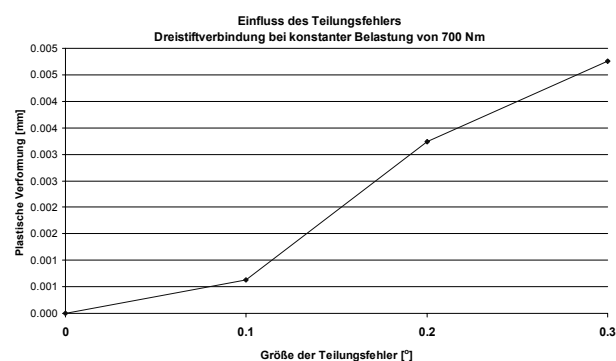


Bild 6: Einfluss der Teilungsabweichung auf die plastischen Verformungen im Stift

ne plastischen Verformungen zu erwarten. Dargestellt sind demnach die plastischen Verformungen die durch die Teilungsabweichungen verursacht werden.

4 Fertigung der Proben und Versuche

Die für die Versuche erforderlichen Proben werden in der institutseigenen Werkstatt gefertigt. Hier werden verschiedene Fertigungsverfahren hinsichtlich ihrer Eignung, die Bohrungen wirtschaftlich und mit geringen Abweichungen von der Sollgeometrie auszuführen, untersucht.

Die Längsstiftbohrungen der Probe in **Bild 7** wurden durch Bohren hergestellt. Dabei wurden die

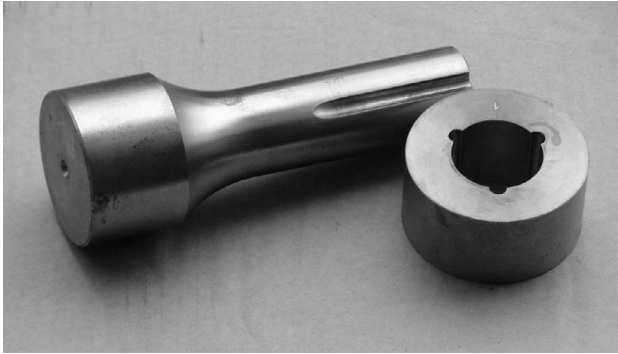


Bild 7: gebohrte Längsstiftprobe

Bohrungen in die plangedrehten Probenrohlinge eingebracht. Nach dem Reiben der Bohrungen auf das Maß H7 wurden die Proben auf die erforderlichen Maße längsgedreht. Der Auslauf der Stiftbohrung wurde in der abgebildeten Probe mit einem Radius versehen.



Bild 8: Längsstiftprobe nach Wechseltorsionsprüfung

Der Verschleiß in Form von Reibkorrosion tritt bei den spielbehafteten Längsstiftverbindungen verstärkt in den Vordergrund, da Relativbewegungen zwischen drei Kontaktkörpern auftreten. Aus die-

sem Grund stellt die Untersuchung des Verschleißverhaltens neben den Tragfähigkeitsuntersuchungen einen wesentlichen Anteil dar. **Bild 8** zeigt einen Prüfkörper mit Reibrost in der Fügefläche und in den Stiftbohrungen nach erfolgter Wechseltorsionsprüfung.

5 Zusammenfassung

Am Institut für Maschinenwesen werden die Untersuchungen an Längsstiftverbindungen weitergeführt. Die Erkenntnisse des Verhaltens unter statischen Bedingungen und unter Berücksichtigung rein elastisch-plastischer Materialgesetze werden in den teilplastischen Materialbereich hinein erweitert. Hierzu wurde ein parametrisches FE-Modell erstellt, um verschiedene veränderliche Parameter mit geringem Programmieraufwand simulieren zu können. Es finden außerdem Versuche an gefügten Verbindungen unter Betriebslasten statt. Ziel dieser dynamischen Versuche sind Erkenntnisse über das Verschleißverhalten und die Gestaltfestigkeit von Längsstiftverbindungen.

6 Literatur

- /1/ Birkholz, H.: Auslegung von Längsstiftverbindungen mit mehreren Mitnehmerelementen unter Drehmomentbelastung. Dissertation, TU Clausthal 2004
- /2/ Birkholz, H.: Untersuchungen zum Beanspruchungsverhalten spielbehafteter Längsstiftverbindungen. Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen Nr. 2; Clausthal 2003
- /3/ Wesolowski, P.: FEM-Simulation von Längsstiftverbindungen mit teilplastischem Materialverhalten. unveröffentlichte Studienarbeit, IMW TU Clausthal, 2006

Grundlegende Untersuchungen an Zahnwellen zur Kerbwirkungsermittlung

Lau, P.

Zur Auslegung von Achsen und Wellen dient heute die DIN 743 /1/. Die darin enthaltenen Kerbwirkungszahlen für Zahnwellenverbindungen nach DIN 5480 /2/ stehen teilweise im Widerspruch zu Erfahrungen und Beobachtungen aus der Praxis. Daraus ergibt sich der Bedarf einer Überprüfung, Präzisierung und Ergänzung. Diese Aufgabenstellung verfolgt das laufende FVA-Vorhaben 4671 „Profilwellen-Kerbwirkung“, das vom IMW zusammen mit dem IMM (Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion) der TU Dresden bearbeitet wird.

At present the German standard DIN 743 is used for designing axles and shafts. It contains fatigue notch factors for spline shafts according to the German standard DIN 5480. But these factors partially conflict with practical experiences and studies. The outcome of this is the need for improvement in terms of examination, specification and completion. Exactly this is the intention of the ongoing research-project FVA 4671 „Profilwellen-Kerbwirkung“ where-in the IMW works in close collaboration with the IMM (Institute of Machine Elements and Machine Design) of the Technical University of Dresden.

1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Das Ziel des Vorhabens besteht darin, bestehende Unsicherheiten hinsichtlich der Belastungsgrenzen (Verformung, Anriss, Bruch) bei quasistatischer Belastung (Spitzenbelastung) auszuräumen und verlässliche Kerbwirkungszahlen sowie Betriebsfestigkeiten für die dynamische Beanspruchung zur Verfügung zu stellen. Um eine effektive Anwendung der Ergebnisse zu erreichen, sollen die neu gewonnenen Ergebnisse in DIN 743 "Tragfähigkeitsnachweis von Achsen und Wellen" eingebunden werden.

Die Aufgabenbereiche innerhalb des Vorhabens verteilen sich wie folgt: Während in Dresden die numerischen Variationsrechnungen durchgeführt werden, bei denen Clausthal in einem Teilbereich Zuarbeit leistet, erfolgt die experimentelle Absicherung an repräsentativen Verbindungsgeometrien am IMW in Clausthal. Gegenstand der experimen-

tellen Untersuchungen sind dabei Zahnwellenverbindungen nach DIN 5480 – 25x1,75x13 9H/6g.

2 Untersuchte Merkmale

Die im Zuge der Untersuchungen an der genannten Verzahnung im Mittelpunkt stehenden Merkmalsvariationen sind:

- Werkstoffwahl (Vergütungsstahl – Einsatzstahl)
- Ausbildung der Profilwellenübergänge / Auslaufgeometrie (gebundener Auslauf – freier Auslauf)
- Fertigungsverfahren (spanend – spanlos hergestellte Verzahnung / geschliffene – gewalzte Verzahnung)
- Belastungsarten (Torsion – Biegung)
- Zeitlicher Verlauf der Belastungen (quasi-statisch – dynamisch)

Neben der Variation dieser Merkmale finden zur Steigerung des Praxisbezugs weitere orientierende Untersuchungen statt. Sie betrachten die Auswirkung:

- des Vorhandenseins einer Sicherungsringnut in der Verzahnung (nach DIN 471 /3/) und
- einer veränderten „Nabenlage 1“ (statt der „Nabenlage 0“; dazu siehe **Bild 1**).

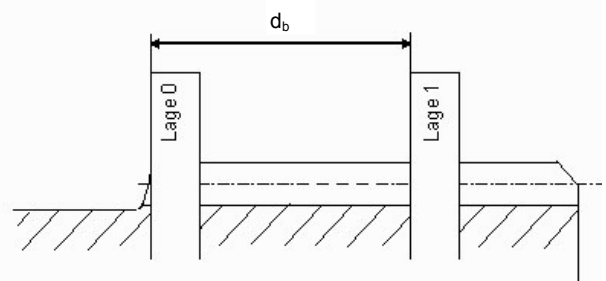


Bild 1 Die unterschiedlichen Nabenlagen am Beispiel eines Prüflings mit freiem Auslauf

Die systematische Untersuchung der Kombination der unterschiedlichen Merkmale soll verallgemeinerungsfähige Aussagen ermöglichen. Die Aufgaben des IMW beschränken sich allerdings nicht allein

auf die Durchführung von Untersuchungen bei quasistatischen und dynamischen Belastungen. Parallel erfolgen weitere Untersuchungen und Messungen, die der Verbesserung des Kenntnisstands über die vorliegenden Prüfteile hinsichtlich ihrer werkstoffkundlichen und fertigungsimmanenten Eigenschaften dienen:

- Bestimmung des Härte-Tiefe-Verlaufs,
- Zugversuche,
- Gefügeuntersuchungen,
- Eigenspannungsuntersuchungen und
- Rauigkeitsmessungen.

3 Prüfteile

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Auslaufgeometrien sowie des Unterschieds zwischen den verschiedenen gefertigten Verzahnungen sei auf **Bild 2** bis **Bild 5** verwiesen.

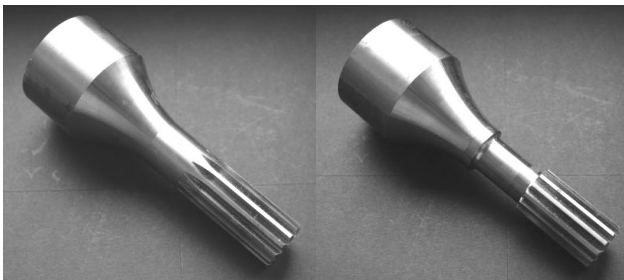


Bild 2 und 3: Beide Auslaufformen am Beispiel von Prüflingen mit geschliffener Verzahnung



Bild 4: Prüflinge mit gebundenem Auslauf und gewalzter (links) bzw. geschliffener Verzahnung (rechts)

Bild 5: Analog zu **Bild 4**; hier mit freiem Auslauf



Das für die Durchführung der einzelnen Untersuchungen benötigte Gegenstück bildet eine innen

verzahnte Nabe. Sie besteht ebenfalls aus dem für die Prüflinge verwendeten Vergütungsstahl. **Bild 6** stellt eine entsprechende Zahnwellenverbindung dar.



Bild 6 Prüfling und Nabe im gefügten Zustand

4 Experimentelle Untersuchungen

Die Prüflinge aus dem zweiten Werkstoff werden zurzeit gefertigt. Daher liegen momentan noch keine Ergebnisse aus den zugehörigen Untersuchungen an den Prüflingen aus dem Einsatzstahl vor.

4.1 Untersuchungen bei quasistatischer Belastung (Torsion)

Die in den nachfolgenden Diagrammen aufgeführten Drehmoment-Verdrehwinkel-Verläufe stellen nur einen Ausschnitt der gesamten Untersuchungsergebnisse dar. Die Diagramme geben in vergleichender Darstellung die Ergebnisse aus Untersuchungen an jeweils zwei Gruppen von Prüflingen wieder, die sich hinsichtlich eines Merkmals unterscheiden. Die Vergleiche sind dabei auf die Merkmalsvariationen beschränkt, die den größten Einfluss auf die Versuchsergebnisse haben.

Bild 7 zeigt die Auswirkung der unterschiedlichen Auslaufformen am Beispiel von Prüflingen mit gewalzter Verzahnung und einer Nabenlage mitten in der Verzahnung. Die beiden oberen Verläufe gehören dabei zu Prüflingen mit gebundenem Auslauf. Klar erkennbar ist die deutlich höhere Streckgrenze und Festigkeit gegenüber der anderen Auslaufform. Wie bereits in diesem Diagramm ersichtlich, tritt bei den Untersuchungsergebnissen zur statischen Torsionsbelastung eine recht geringe Streuung auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Ausgangsmaterial für die Fertigung der Prüflinge aus einer Werkstoffcharge entnommen wurde. Weiterhin zeichnet sich der Vergütungsstahl durch eine sehr große Duktilität aus – dies führte dazu, dass bei Versuchen an Prüflingen mit gebundenem Auslauf Verdrehwinkel von über 100° erreicht wurden.

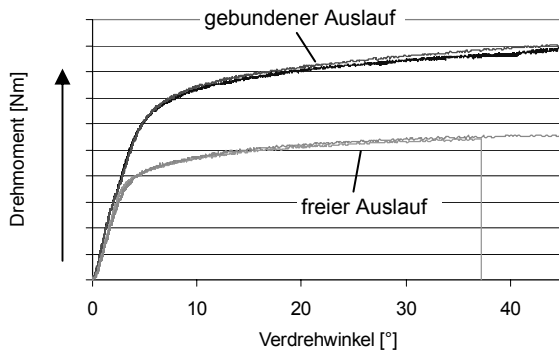


Bild 7: Drehmoment-Verdrehwinkel-Verläufe bei Prüflingen mit unterschiedlicher Auslauf-form

Bild 8 zeigt die Auswirkungen der unterschiedlichen Fertigungsverfahren der Verzahnung bei Prüflingen mit gebundenem Auslauf und Nabenlage am Verzahnungsbeginn: Die markierten oberen drei Verläufe gehören zu Prüflingen mit geschliffener Verzahnung. Liegen sie im elastischen Bereich noch leicht über denen der Prüflinge mit gewalzter Verzahnung und erreichen auch geringfügig höhere Werte bei der Streckgrenze, so tritt ihr Bruch bei deutlich niedrigeren Verdrehwinkeln (kleiner 30°) auf.

Dazu ist anzumerken, dass die senkrechten Abfälle am rechten Ende einzelner Verläufe durch das Eingreifen der Prüfstands-Winkelabschaltung entstehen. Nach Lösen der Prüflingsbefestigung und Zurückdrehen der Prüfzelle konnten die zugehörigen Versuche jeweils fortgesetzt werden. Dabei erreichten die Prüflinge mit gewalzter Verzahnung genauso hohe Festigkeitswerte, im Vergleich zu den Prüflingen mit geschliffener Verzahnung.

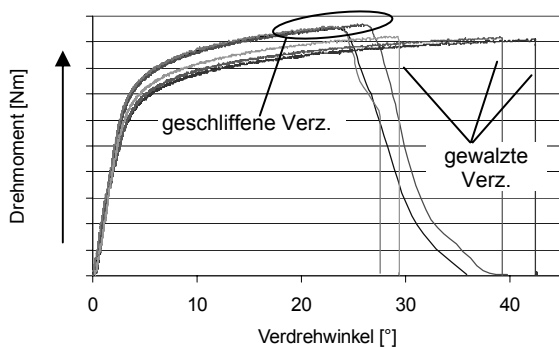


Bild 8: Drehmoment-Verdrehwinkel-Verläufe bei Prüflingen mit unterschiedlich gefertigter Verzahnung

In **Bild 9** wird die Auswirkung einer vorhandenen Sicherungsringnut ersichtlich. Die dargestellten Verläufe stammen aus Versuchen an Prüflingen mit geschliffener Verzahnung, gebundenem Auslauf

und bei Nabenlage 0, wobei die markierten Verläufe zu Prüflingen ohne Sicherungsringnut gehören.

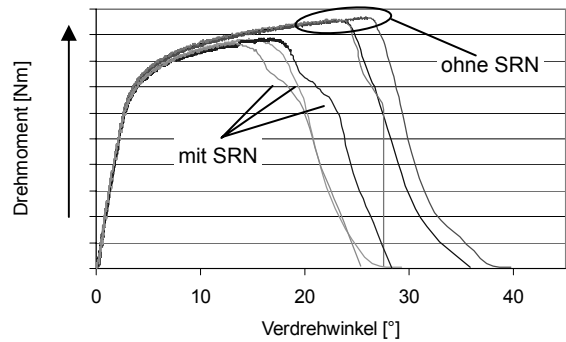


Bild 9: Drehmoment-Verdrehwinkel-Verläufe bei Prüflingen mit und ohne Sicherungsringnut

Aus der Betrachtung der Verläufe ergibt sich, dass bei Vorhandensein der Nut Streckgrenze, Festigkeit und maximale Verdrehwinkel zu kleineren Werten hin verschoben sind.

4.2 Untersuchungen bei quasistatischer Belastung (Biegung)

Für eine vergleichende Betrachtung der unterschiedlich ausgeführten Prüflinge bei dieser Belastungsart existiert momentan noch keine ausreichende Datenbasis. Exemplarisch zeigt **Bild 10** den aufgenommenen Biegemoment-Weg-Verlauf einer Untersuchung an einem Prüfling mit geschliffener Verzahnung, gebundenem Auslauf, Sicherungsringnut bei Nabenlage 0.

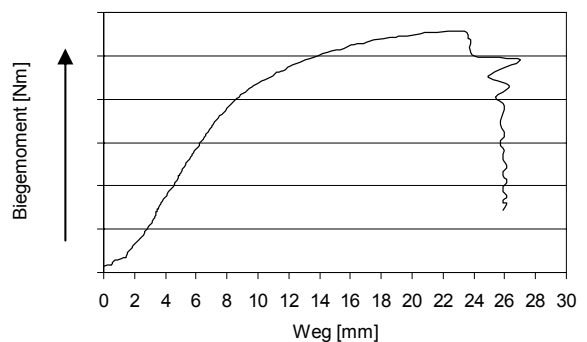


Bild 10: Biegemoment-Weg-Verlauf

4.3 Untersuchungen bei dynamischer Belastung (Torsion)

Auch bei den Dauerschwing-Untersuchungen unter Torsions-Belastung zeigt sich der bei den zugehörigen statischen Versuchen festgestellte, schwächende Einfluss des freien Auslaufs. Sowohl bei den Prüflingen mit geschliffener Verzahnung, wie

auch bei denen mit gewalzter Verzahnung, liegen die Wöhlerlinien der Prüflinge mit gebundenem Auslauf erheblich über denen der Prüflinge mit freiem Auslauf; siehe dazu **Bild 11** und **Bild 12**.

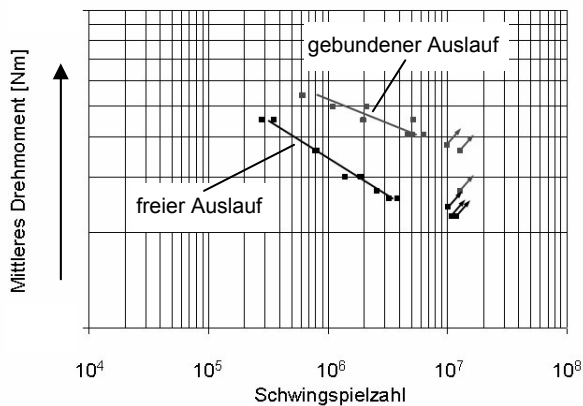


Bild 11: Bruchschwingspielzahlen und Wöhlerlinien für Prüflinge mit geschliffener Verzahnung

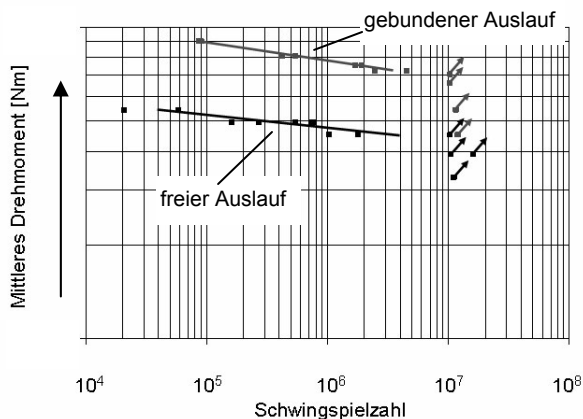


Bild 12: Bruchschwingspielzahlen und Wöhlerlinien für Prüflinge mit gewalzter Verzahnung

Vergleicht man weiterhin die erreichten Bruchschwingspielzahlen bzw. die Wöhlerlinien der Prüflinge mit gleicher Auslaufgeometrie untereinander, so zeigt sich der Einfluss des Fertigungsverfahrens der Verzahnung: Lasthorizonte, die bei Prüflingen mit geschliffener Verzahnung zu Brüchen im Zeitfestigkeitsbereich führen, liegen bei den Prüflingen mit gewalzter Verzahnung größtenteils im Bereich der Dauerfestigkeit.

4.4 Untersuchungen bei dynamischer Belastung (Biegung)

Auch im Bereich der Untersuchungen bei Umlaufbiegung gibt es bereits Ergebnisse. Am weitesten fortgeschritten sind dabei die Untersuchungen an Prüflingen mit freiem Auslauf, geschliffener Verzahnung und bei Nabenlage 0, deren Ergebnisse in **Bild 13** dargestellt sind. Für den Vergleich mit an-

deren Prüflingsarten fehlen augenblicklich aber weitere Untersuchungsergebnisse.

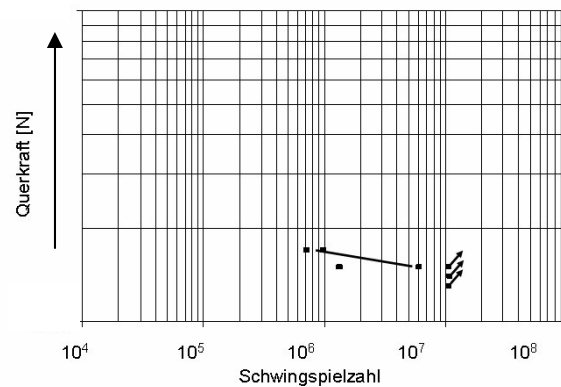


Bild 13: Bruchschwingspielzahlen und Wöhlerlinien für Prüflinge bei Biegebelastung

5 Anmerkungen

Das vorgestellte Forschungsvorhaben (Projekt Nummer 14058 BG) wird aus Mitteln der FVA (Forschungsvereinigung Antriebstechnik) bzw. der AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen) finanziert. Nähere Ergebnisse stehen vor Abschluss der Untersuchungen nur dem Projekt begleitenden Ausschuss zur Verfügung.

6 Zusammenfassung

Im Zuge eines Forschungsvorhabens finden am IMW experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der Kerbwirkung an Zahnwellenverbindungen nach DIN 5480 mit unterschiedlichen Auslaufformen statt. Neben der Auslaufform werden in den Untersuchungen hauptsächlich Werkstoff- und Fertigungseinflüsse betrachtet. Basierend auf dem Vergleich der bereits erhaltenen Ergebnisse lassen sich erste Rückschlüsse zu Gunsten einer Auslaufform und eines Fertigungsverfahrens ziehen.

7 Literatur

- /1/ DIN 743: Tragfähigkeitsnachweis von Achsen und Wellen. Beuth, Berlin, 2000
- /2/ DIN 5480: Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser. Beuth, Berlin, 2006
- /3/ DIN 471: Sicherungsringe für Wellen; Regelausführung und schwere Ausführung. Beuth, Berlin, 1981

Zahnwellen-Verbindungen als Längenausgleich in Gelenkwellen

Schäfer, G.

Entsprechend der Kombination von Funktionsträgern innerhalb einer Kreuzgelenkwelle mit verzahntem Längenausgleich, ist deren Dimensionierung auszuführen. Besonderes Augenmerk wird in diesem Artikel auf die Betriebssicherheit des Längenausgleichs unter Verschleiß und dessen Gestaltungsregeln gelegt.

The combination of different machine elements like bearings and involute-shaft-hub-connection makes a detailed calculation necessary. The article is focused on the calculation of the splined part under friction wear and its design recommendations.

1 Einleitung

Gelenkwellen gehören innerhalb der Maschinenelemente zur Gruppe der nichtschaltbaren Kuppelungen. Durch ihre Gelenke können sie Winkel- und Radialversätze in Antriebssträngen ausgleichen. Die Gelenke werden bei hohen Drehmomentbeanspruchungen in der Form des Kreuzgelenks ausgeführt. Für den axialen Ausgleich beim Betrieb von Gelenkwellen kann in der Zwischenwelle ein Längenausgleich in Form einer Zahnwellen-Verbindung verwendet werden (**Bild 1**). Ein Kreuzgelenk besitzt bei Abbeugung ein ungleichförmiges und nichtlineares Übertragungsverhalten. Bei der Zusammenschaltung zweier Kardangelenke zu einer Gelenkwelle in W- oder Z-Anordnung weist die Gelenkwelle insgesamt ein gleichförmiges, konstantes Übersetzungsverhältnis auf. Die Zwischenwelle besitzt jedoch auch bei konstanten Beugungswinkeln eine ungleichförmige Drehbewegung, durch die der Längenausgleich dynamisch torsions- und biegebelastet wird. Aufgrund von Schadensanalysen der letzten zehn Jahre ist selten der Gelenkbereich o-

der die Gestaltfestigkeit der Verzahnung die primäre Ausfallursache. Der häufigste Grund von Ausfällen an diesen Elementen ist der Verschleiß im Längenausgleich durch Reibkorrosion und weitere Formen von Abrasivverschleiß (**Bild 2**).

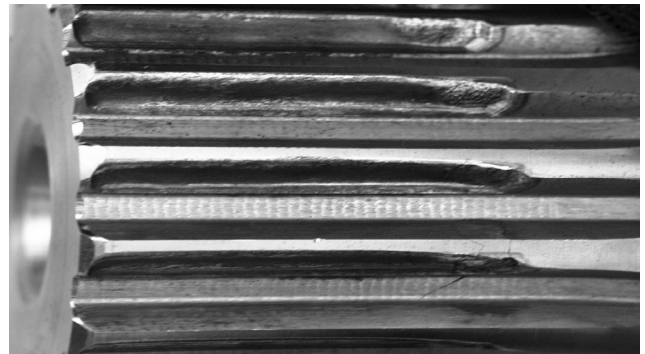


Bild 2: Reibverschleiß an einer Axialausgleichs-Wellenverzahnung

Verschleiß an einer Zahnwellen-Verbindung die Flanken, stellt sich Spiel in der Verbindung ein. Im verzahnten Längenausgleich treten beim umlaufenden Betrieb der Gelenkwelle dadurch Knickspiel oder Vibrationen auf. Es kommt zu erhöhten Unwuchten durch Massenverlagerungen (**Bild 3**), die zum Versagen der Gelenkwelle führen können.

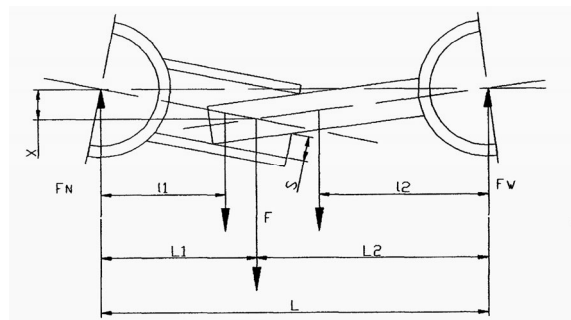


Bild 3: Knickspiel im Längenausgleich einer Gelenkwelle /1/

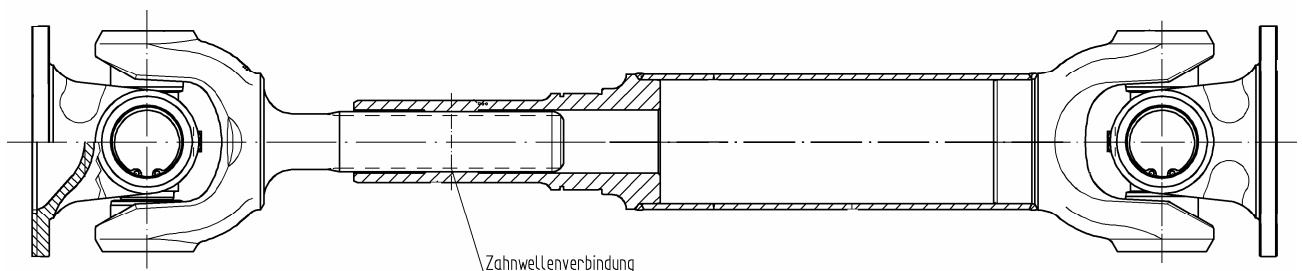


Bild 1: Kreuzgelenkwelle mit Zahnwellen-Verbindung als Längenausgleich

Für die betriebssichere Dimensionierung des Längenausgleiches an Gelenkwellen existiert bis jetzt noch keine allgemein anerkannte und einheitliche Berechnungsvorschrift. Der aktuelle Kenntnisstand, der wesentlich in Forschungsvorhaben der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) erarbeitet wurde, behandelt ausschließlich das dynamische bzw. kinematische Verhalten von Gelenkwellen mit Kreuzgelenken.

In der 2003 erschienenen überarbeiteten VDI-Richtlinie 2722 „Gelenkwellen und Gelenkwellenstränge mit Kreuzgelenken“ finden sich Erläuterungen und Anweisungen zu Einbaubedingungen für die Homokinematik beim Betrieb. /3/

2 Problemstellung

Papendorf beschreibt in /2/ die speziellen Anforderungen von Gelenkwellen für den hochtourigen Lauf, der bei endlichen Durchmessern die notwendige Steigerung des Leistungsdurchsatzes ermöglicht. Danach sind konstruktive Maßnahmen und deren abgesicherter Festigkeitsnachweis zwingend erforderlich. Eine konstruktive Maßnahme zur Beeinflussung der biegekritischen Drehzahl ist unter anderem ein biege-steifer Längenausgleich. Für die Sicherstellung dieser Eigenschaft muss über der Betriebszeit das Verschleißverhalten im Längenausgleich betrachtet werden. Eng verbunden mit dem Verschleiß ist nach bei hochtourig laufenden Gelenkwellen die Schmierung im Bereich des verzahnten Längenausgleiches zu betrachten. Er gibt eine konstruktive Lösung zur Verhinderung des Abschleuderns von Fett an und nennt den spielbehafteten verzahnten Längenausgleich als begrenzendes Kriterium für die Wuchtgüte einer Gelenkwelle. Das Knickspiel im Längenausgleich kann zu Massenverlagerungen in der Zwischenwelle führen. Besonders bei geringen Drehmomenten verliert die flankenzentrierte Verzahnung nach DIN 5480 ihre Zentrierwirkung und knickt im funktions- und verschleißbedingten Verzahnungsspiel unter Eigengewicht ein, was entsprechende Unwuchten zur Folge hat. Dieser Fall ist bei den Zahnwellen-Verbindungen als Betriebsfall mit überwiegender Querkraft bekannt /4/. Auf Basis der industriell möglichen Untersuchungen wird in /1/ ein höherer Überdeckungsgrad in der Verzahnung zur Reduzierung des Knickspiels im Längenausgleich empfohlen, ohne jedoch konkrete Angaben zur Ausführungslänge machen zu können. An diesem Punkt sind Grundlagenuntersuchungen notwendig, die auch durch ein theoretisch konstruktives Arbeitspa-

ket zur Leitung von Biegemomenten durch Längenausgleichselemente ergänzt sein sollten. /1-2/

3 Lösungsweg

Die bei den Gelenkwellen wirksame Schädigungskette führt von der radialen und axialen Relativbewegung im Längenausgleich über dessen Reibungseigenschaften (Schmierung) zum Verschleiß und der damit verbundenen Spielzunahmen, die letztendlich ein unzulässiges Knickspiel und Unwuchtkräfte hervorruft. Die Reduzierung der Gestaltfestigkeit durch Verzahnungskerben (**Bild 4**) ist für die betriebssichere Dimensionierung von hochtourigen Gelenkwellen nur von sekundärer Bedeutung. Die Beeinflussung der Lebensdauer und Tragfähigkeit von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen erfolgt durch zwei weitere prinzipiell verschiedene Vorgänge: Verschleiß und Ermüdung. Das verschleißbedingte Abtragen von Zahnflankenbereichen führt von Beginn an schmierungsabhängig zu einer kontinuierlichen Spiel- und Exzentrizitätsvergrößerung. Im Bereich höherer Lastwechselanzahlen kommt es dann ermüdungsbedingt zusätzlich zum Ausbrechen einzelner Flankenbereiche. Beide Vorgänge überlagern sich und führen damit zum 'Aufbrauchen' der Formschlusselemente.

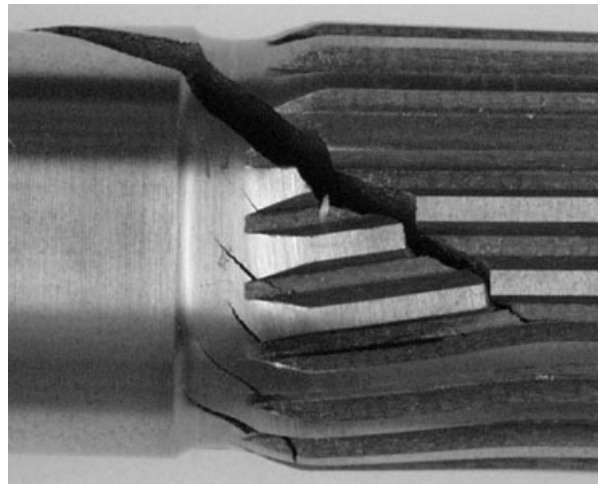


Bild 4: Gestaltfestigkeitsschaden durch Torsionsbruch an Verzahnungskerben /5/

Im Rahmen der am IMW laufenden Untersuchungen für Die FVA und ihre Mitgliedsfirmen sollen mittels experimenteller und theoretischer Untersuchungen verschleißrelevante Parameter herausgearbeitet und eine entsprechende Gestaltungsrichtlinie abgeleitet werden, mit der die Reibdauerbeanspruchungen unter Berücksichtigung der Betriebsbelastungen gezielt minimiert werden können.

Gelenkwellen lassen sich in die Sparten „Fahrzeugwellen“ und „Industriewellen“ gliedern. Fahrzeuggelenkwellen werden in der Regel mit höheren Drehzahlen betrieben als Industriewellen und unterliegen somit auch anderen Ausfallkriterien.

Um aus den experimentellen Untersuchungen die notwendigen Schlüsse ziehen zu können, werden einerseits die Belastungsparameter (Beugungswinkel, Überdeckungsgrad, Verschiebewege, Drehmoment, Drehzahl, Querkraft, Oberflächenpaarung, Kontaktflächenrauigkeit und Schmierzustand) erfasst und protokolliert. Andererseits werden die sich dabei einstellenden radialen Relativbewegungen, Längskräfte, Bauteiltemperaturen sowie Verdrehflanken- und Knickspiele bestimmt.

Mit den Ergebnissen wird dem Konstrukteur eine Berechnungsgrundlage zur Verfügung gestellt, die es ihm ermöglicht, Längenausgleiche zuverlässig zu dimensionieren. Als Ergebnis des Vorhabens stehen ihm Hinweise für die verschleißarme Ausführung des Längenausgleiches unter praxisrelevanten Einsatzbedingungen zur Verfügung.

4 Experimentelle Untersuchungen

Da dazu im Versuch eine praxisnahe Belastung der Gelenkwelle bei geringen Energiekosten notwendig ist, wird eine Durchführung in einem mechanischen Verspannprüfstand im Umlaufbetrieb realisiert. **Bild 5** zeigt den prinzipiellen Aufbau des Prüfstandes.

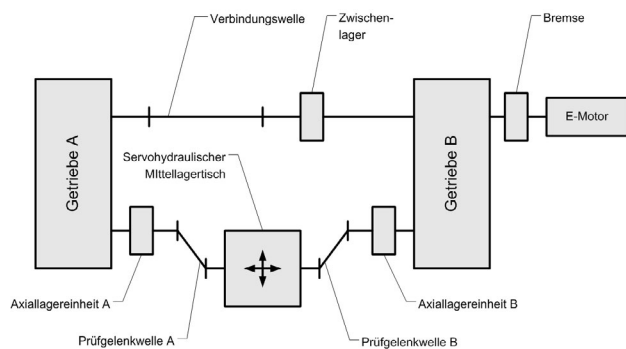


Bild 5: Prüfstandskonzept

Am Institut für Maschinenwesen stehen mehrere Verspannungsprüfstände zur Verfügung. Der leistungsfähigste Prüfstand ist aus zwei Stirnradgetrieben mit einer Leistung von 320 kW bei einer Drehzahl von maximal 2091 U/min im schnelleren Strang und einer Übersetzung von 1:1,4 aufgebaut. Für die Drehmomentverspannung wird ein hydraulischer Verspannmotor mit einem maximalen dynamischen Drehmoment von 2000 Nm bei 2000 U/min verwendet. In **Tabelle 1** sind eingestellten

Prüf-Drehzahlen und –Drehmomente unter Verwendung des vorhandenen Prüfstandes angegeben.

	Drehzahl [1/min]	Drehmoment [Nm]
Verspannmotor	1430	2000
Prüfkörper	1020	2800

Tab. 1: Prüf-Drehzahlen und –Drehmomente (vorhandener Verspannprüfstand)

In **Bild 6** ist eine Übersichtsaufnahme des vorhandenen Gelenkwellenprüfstandes zu sehen. Um eine möglichst große Einbaulänge für die Prüflinge zu realisieren wurden die beiden Verspanngetriebe auf einer verlängerten Aufspannplatte montiert und die Verspannmotorwelle links im Bild entsprechend verlängert. **Bild 7** zeigt den Verspannmotor mit seiner hydraulischen Drehdurchführung und einen der beiden gleichzeitig laufenden Prüflinge in abgebeugter Versuchslage.

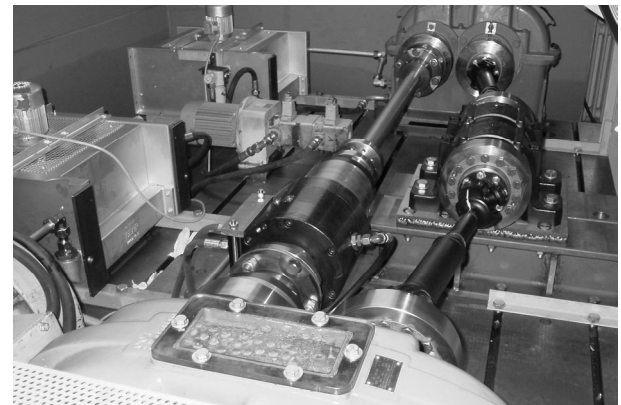


Bild 6: Gesamtansicht des kleinen Verspannprüfstandes, 300 kW umlaufende Leistung

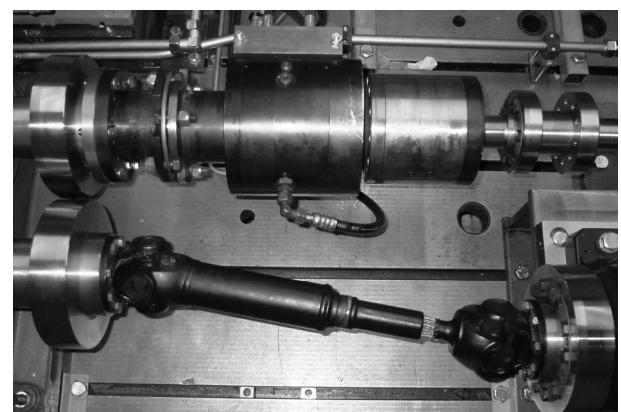


Bild 7: Gelenkwelle in Z-Anordnung mit 10° Beugewinkel im Prüfstand

Zusätzlich zu diesem laufenden Verspannungsprüfstand wird ein weiterer noch leistungsfähigerer Verspannprüfstand im ersten Halbjahr 2007 mit einer umlaufenden Leistung von 1.200 kW aufgebaut. Auf diesem Prüfstand werden dann die größeren

Baugrößen der Gelenkwellen mit verzahntem Längenausgleich untersucht.

Neben dem Beugewinkel wird in weiteren Versuchsreihen auf den beiden Prüfständen ein Verschiebeweg von 1 bis 5 mm unter Drehmomentbelastung von maximal 2,8/11 kNm realisiert.

Bei Gelenkwellen mit Anwendung im Walzwerksbereich und Stückgewichten von bis zu 40 t kann es durchaus vorkommen, dass im Längenausgleich ein ständiges Einknicken stattfindet. Eine Zentrierung durch das Profil wird verhindert. Zur Simulation dieses hohen Eigengewichtes wird in der Versuchsdurchführung von außen am Mittelteil der Gelenkwelle eine Querkraft aufgebracht.

Die Ergebnisse dieser Versuche werden regelmäßig aktuell im Arbeitskreis „Nichtsichtbare Kupplungen“ der FVA den Mitgliedsfirmen zur Nutzung vorgestellt.

5 Numerische Untersuchungen

Die theoretischen Untersuchungen stellen einen flankierenden, aber wesentlichen Arbeitspunkt in diesem Vorhaben dar. Sie haben zum Ziel möglichst stabile Extrapolationsregeln für weitere Baugrößen aufstellen zu können. In diesem Sinn werden die experimentellen Versuchsergebnisse zur Kalibrierung genutzt.

Bild 8 zeigt einen Ausschnitt des FE-Modells. Es handelt sich um den Verzahnungsauslauf der Wellenverzahnung hin zur Gabel des Kreuzgelenks. Darüber ist in dunklerem Ton die dünnwandige Nabe zu erkennen.

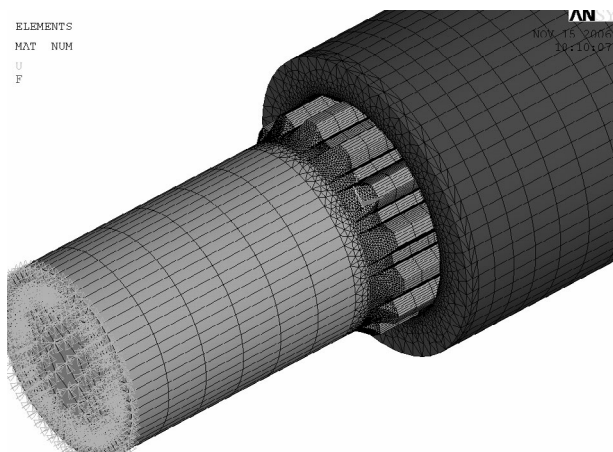


Bild 8: FEM-Vernetzung im Verzahnungsauslauf der Welle mit aufgesetzter Nabe

In **Bild 9** ist dann im größeren Ausschnitt auch der Übergang der Nabe in den Rohrbereich der Gelenkwelle zu erkennen. Bild 9 zeigt auch die Vertei-

lung der Vergleichsspannung nach v. Mises in der Nabe unter reiner Torsionsspannung bei linearelastischem Werkstoffverhalten. Trotz der dünnwandigen Ausführung der Nabe tritt auch bei der großen Überdeckungslänge von 3,0 x Bezugsdurchmesser die charakteristische Spannungsüberhöhung am lasteinleitungsseitigen Nabenrand auf.

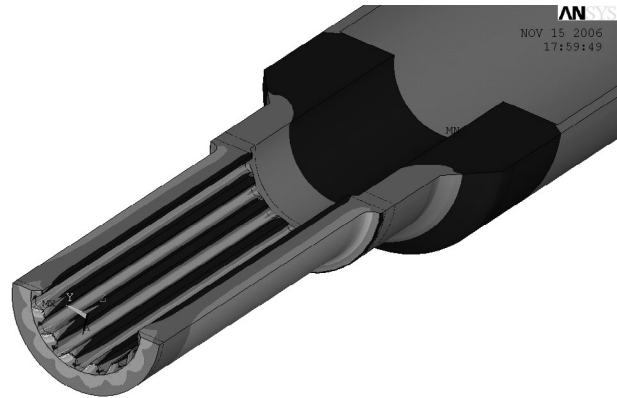


Bild 9: Vergleichsspannung in der Nabe nach v. Mises

6 Weitere Informationen

Interessierte können sich für weitere Ergebnisse auch an Herrn Hagemann bei der FVA in Frankfurt wenden (bernhard.hagemann@vdma.org).

Die Förderung dieses Forschungsvorhabens erfolgt mit Mitteln der Stiftung Industrieforschung unter der Projekt-Nr. S 747.

7 Literatur

- /1/ Ritter, N.; Papendorf, J.: Konstruktive Maßnahmen zur Erhöhung zulässiger Betriebsdrehzahlen von Kreuzgelenkwellen in Schienenfahrzeugen. Konferenz-Einzelbericht: 5. Schienenfahrzeugtagung. Band 5 (2002) Seite 52-54, Tezloff Verlag Hamburg
- /2/ Papendorf, J.: Einsatz von Kreuzgelenkwellen in hochtourigen Antrieben. Konferenz-Einzelbericht: Dresdner Maschinenelemente Kolloquium, Tagungsband (2003), Seite 693-709, Verlag Mainz, Aachen
- /3/ VDI-Richtlinie 2722: Gelenkwellen und Gelenkwellenstränge mit Kreuzgelenken Einbaubedingungen für Homokinematik, August 2003
- /4/ Schäfer, G.: Der Einfluß von Oberflächenbehandlungen auf das Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellen-Verbindungen mit Schiebeseitz. Dissertation Technische Universität Clausthal, 1995
- /5/ Dietz, P.; Garzke, M.: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben Zahnwellenfestigkeit Di 289/9-2. Clausthal, 1998

Entwicklung einer transportablen und kompakten Schneidmühle

Seitz, T.

Am Institut für Maschinenwesen wird seit Mai 2006 an der Entwicklung einer transportablen und kompakten Schneidmühle zum Zerkleinern gearbeitet. Dieses von der DECHEMA geförderte Projekt hat das Ziel, Schneidmühlen derart zu optimieren, dass ein flexibler Einsatz direkt am Ort der Abfallentstehung möglich wird.

Since May 2006, the IMW works on the development of transportable and compact cutting-mill. This project, founded by DECHEMA, has its intention in the optimisation of cutting-mills, so that they allow a flexible use at the point of waste origin.

1 Problemstellung

Die Kunststoffzerkleinerung hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen, da Kunststoffabfälle, die im Rahmen des Dualen Systems Deutschland (DSD) gesammelt werden, wieder verwendet werden müssen. Um aus diesem Gemisch gebrauchter Kunststoffabfälle ein technisch verwertbares Ausgangsprodukt zu gewinnen, muss ein Mahlgut mit ausreichendem Schüttgewicht erzeugt werden. Wesentlich ist hierbei neben der kontinuierlichen Materialzuführung der Abtransport des zerkleinerten Kunststoffs. Gerade der kontinuierliche Betrieb konventioneller Schneidmühlen ist mit Problemen wie Verstopfen im Mühleneinlauf bzw. im Siebablauf und Aufwickeln von Folienteilen am Rotor verbunden.

Der Müll, wie er zum Beispiel auf Schiffen, Flugzeugen, in Großküchen, Krankenhäusern, in der Chemischen- und Pharmaindustrie anfällt, wird nicht sorgfältig getrennt, sodass mit dem gleichzeitigen Anfall von zu zerkleinernden Gegenständen z.B. aus Metall, Holz, Textilien oder Hartstoffen wie Glas, Steine oder Keramik zu rechnen ist, die ihrerseits völlig andere Anforderungen an den Zerkleinerungsprozess stellen. Dieser „Hausmüll“ weist somit eine sehr unterschiedliche Zusammensetzung auf. Hinzu kommt gerade bei der hier in Frage kommenden Anwendung ein im Vergleich hoher Anteil an artfremden Wertstoffen vor – von der Sardinenbüchse bis zum Damenstrumpf –, der von der Mühle mit verarbeitet werden muss. Die Zerkleinerung

solcher Abfälle stellt an Schneidmühlen hohe Ansprüche.

Vorhandene Mühlen sind aufgrund ihres Gewichtes (1t und mehr) nur stationär einsetzbar. Der variable Einsatz an verschiedenen Orten wird außerdem durch die Größe der Anlagen erschwert. Dies widerspricht den Anforderungen der Industrie, Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle an Orten zu zerkleinern, an denen großvolumige und schwere Anlagen nicht einsetzbar sind. Als Beispiel und als besondere Aufgabenstellung für dieses Vorhaben sei der Einsatz im Transportwesen, vor allem der Schifffahrt und dem Flugverkehr (800 Passagiere im A380), genannt. Aber auch die Zerkleinerung von Hausmüll unmittelbar am Ort des Entstehens bietet erhebliche Vorteile in der weiteren Verwertung und beim Transport. Der „Zerkleinerer auf dem Mülleimer“ wäre insbesondere in dicht besiedelten Gebieten eine bahnbrechende Neuerung.

2 Stand der Technik

Schneidmühlen werden heutzutage vor allem im Bereich Kunststoffzerkleinerung angewandt. Vereinzelt werden auch Mühlen für Zerkleinerung von Holz, Papier und Müll angeboten /1/. Eine Zerkleinerung verringert hier nicht nur das Volumen sondern verbessert durch die größere Oberfläche auch den Behandlungsprozess in einer Müllverbrennungsanlage.

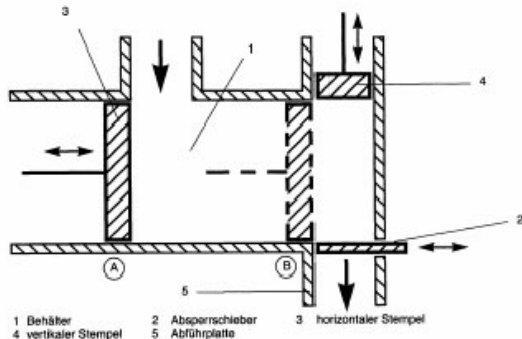
Ein Hauptproblem bei der Zerkleinerung von Kunststoffgemischen liegt in einer geeigneten Zuführung des Aufgabegutes. Dieses sollte nach einer Vorzerkleinerung den Messern möglichst als homogener Block zugeführt werden. Gleichzeitig muss neben der Zuführung eine Kompaktierung des Aufgabegutes erfolgen.

Hierzu wurden vom IMW im Rahmen des SFB 180 „Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen unter besonderen mechanischen, thermischen und chemischen Belastungen“ Untersuchungen zur Verbesserung des Schneidprozesses durchgeführt.

Für diese Untersuchungen entstanden eine Kolbenpresse und ein Pendelschlagwerk.

Die Kolbenpresse (**Bild 1**) dient der Kompaktierung des Aufgabegutes, so dass es als möglichst homogener Block dem Schneidprozess zugeführt werden kann.

Bild 1: Kolbenpresse



Ein zusätzlicher Vorteil der Zuführung mittels Kolbenpresse ist eine Minderung der Geräuschemissionen da ein Großteil der Schallabstrahlung bei Schneidmühlen durch die normalerweise sehr groß ausgeführten Aufgabeeffnungen erfolgt.

Das Pendelschlagwerk (**Bild 2**) dient der Untersuchung eines definierten Einzelschnittes. Die maximale Schlaggeschwindigkeit beträgt 10 m/s. Die verwendeten Schneiden lassen sich einfach austauschen und ermöglichen so die Untersuchung verschiedener Geometrien. Weiterhin kann der Spalt zwischen Schneide und Gegenschneide sowie der Schneidwinkel verändert werden.

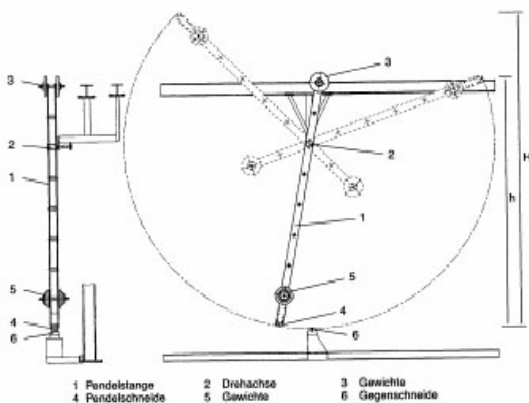


Bild 2: Pendelschlagwerk

Bei der Anwendung einer Schneidmühle im Bereich der Hausmüllzerkleinerung ist zu beachten, dass hier, bedingt durch das mangelhafte Mülltrennungsverhalten der Bevölkerung, mit einem äußerst heterogenen, mit Feuchtigkeit durchsetztem Wertstoffgemisch zu rechnen ist. Zudem variiert die Zusammensetzung von Haushalt zu Haushalt und auch über den Jahresverlauf.

Ansätze zu Entwicklung kompakterer Schneidmühlen existieren durchaus und werden verschiedentlich auch schon vertrieben. Sie zeigen anschaulich den Bedarf an solchen Geräten. Allerdings schließen auch hier die noch zu hohen Massen einen mobilen Einsatz, insbesondere in Luftfahrzeugen, aus.

3 Forschungsziel

Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer kompakten und transportablen Schneidmühleneinheit, die die Zerkleinerung der Wertstoffe entstehungsnahe vornimmt und so Transport, Lagerung und Weiterbehandlung wesentlich erleichtert.

Dazu werden die einzelnen Baueinheiten zur Vorzerkleinerung, Zuführung, und Schnitt modular aufgebaut, untersucht und später zu einer Einheit zusammengefasst.

Die Untersuchung erfolgt nicht nur hinsichtlich Leistungsfähigkeit, sondern insbesondere auch bezüglich Wartungsaufwand, Geräuschemissionen und Gewicht. Dazu wird auch der Einsatz alternativer Werkstoffe geprüft.

Ziel ist es, einen Demonstrator herzustellen, der dezentral einsetzbar ist und an dem die Anwendbarkeit nachgewiesen werden kann. Durch Messungen wird es möglich sein, die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Schallreduzierung zu überprüfen und Optimierungspotenziale aufzuzeigen.

Der Weg zum Erreichen des Forschungsziels untergliedert sich in verschiedene Arbeitsschritte.

3.1 Kompaktierungs- und Schneidversuche

Mittels der Kolbenpresse und des Pendelschlagwerks werden Versuche mit standardisiertem Untersuchungsmaterial durchgeführt. Sie ermöglichen Aussagen zum Kompaktierungsverhalten der unterschiedlichen Wertstoffe und die Bewertung der verschiedenen Schneidenformen und -arten. Weiterhin wird aus den Ergebnissen deutlich werden, bis zu welcher Ausgangsgröße eine ökonomische Verarbeitung der Wertstoffe möglich ist. Dies gestattet eine Aussage über den Einsatz und die Auslegung einer Vorzerkleinerung.

3.2 Aufbau eines Versuchsstands zum Vorzerkleinern und Kompaktieren

Die geforderte kompakte Bauweise lässt sich nur bewerkstelligen, wenn einige der bei herkömm-

lichen Schneidmühlen getrennten Einheiten zusammengefasst werden. Daher sollen das Vorzerkleinern und Kompaktieren eine Einheit bilden. Hierzu wird ein Versuchsstand aufgebaut, an dem verschiedene Möglichkeiten der Vorzerkleinerung erprobt werden können, z.B. Mehrwellenzerkleinerer, Messerwalzen, Stanzmesser, Walzen, Raspelwelle, Sägegitter, Schlagstempel usw.. Diese Möglichkeiten der Vorzerkleinerung sollen auf ihre potenzielle Anwendbarkeit zum Kompaktieren des Aufgabegutes untersucht werden. Bei diesem Versuchsstand wird weitgehend auf handelsübliche Einheiten zurückgegriffen, die für die oben beschriebene Aufgabe entsprechend konfektioniert werden.

3.3 Werkstoffbewertung und –auswahl

Der transportable Einsatz der Schneidmühleneinheit erfordert die Verwendung von "leichten" Werkstoffen. Hier muss eine Auswahl getroffen und auf ihre Verwendbarkeit hinsichtlich mechanisch-technologischer und tribologischer Anforderungen überprüft werden.

Für diesen Arbeitsschritt spielt der Gedanke der „transportablen und geräuscharmen“ Einheit eine wesentliche Rolle. Gemeinsam mit der Werkstoffauswahl (z.B. Leichtbaumaterialien, faserverstärkte Kunststoffe) wird hier auch deren Einfluss auf die späteren Geräuschemissionen betrachtet und in die Bewertung mit einbezogen.

3.4 Abschließende Konstruktion der Vorzerkleinerungs-/Kompaktierungseinheit

Aus den Ergebnissen der vorhergehenden Arbeitsschritte wird nun eine Einheit zur Vorzerkleinerung und zum Kompaktieren entwickelt. Hierbei wird auf mögliche Lärmquellen geachtet und diese durch konstruktive Maßnahmen so weit wie möglich ausgeschlossen. Weiterhin wird auf die Betriebsbedingungen besonderen Wert gelegt z.B. Reinigung, Transport, Verschleiß.

3.5 Konstruktion der Schneideinheit

Bei der Konstruktion der Schneideinheit finden die Ergebnisse der vorhergegangenen Schritte Anwendung. Auch bei der Schneideinheit ist auf eine möglichst Gewicht sparende Konstruktion zu achten. Weiterhin geht von der Schneideinheit ein Großteil der Geräuschemissionen aus.

Als Lärminderungsmaßnahmen bieten sich nach /2/ an:

- Rotormesser schräg oder versetzt anordnen, Rotor- und Statormesser gegeneinander schräg stellen (ziehender Schnitt)
- offene Rotorbauweise
- stabile, schwingungsarme Gehäusekonstruktion
- Mahlraum von Gestell- und Anbauteilen entkoppeln
- luftdichte Verbindungen
- gutes Auswuchten rotierender Teile
- geräuscharme Lager und Antriebsmotoren

3.6 Fertigung und Erprobung des Demonstrators

Die entwickelten Einheiten werden hier konstruktiv zusammengefasst und der Demonstrator wird unter Beteiligung der Industriepartner aufgebaut. Abschließend erfolgt eine Erprobung unter Verwendung von standardisiertem Versuchsmaterial und realem Hausmüll. Die beteiligten Industriepartner werden den Demonstrator ebenfalls unter realen Einsatzbedingungen testen.

4 Zusammenfassung

Mit Abschluss des Projekts werden wesentliche Erkenntnisse zur Verfügung stehen, die es ermöglichen, heutige Schneidmühlen hinsichtlich Gewicht und Geräuschemissionen sowie der Anwendbarkeit bei heterogenen Wertstoffzusammensetzungen zu optimieren. Dies bringt nicht nur Einsparungen beim Transport und der Lagerung der Wertstoffe, sondern ermöglicht auch erstmals den Einsatz einer Schneidmühle direkt am Entstehungsort der Abfälle. Besonders durch die Möglichkeit des transportablen Einsatzes, z.B. in Luftfahrzeugen, wird sich ein völlig neues Anwendungsgebiet erschließen.

5 Literatur

- /1/ Höffl, K.: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen, Springer Verlag Berlin, 1993
- /2/ Nusser, E.: Lärmemissionen von Schneidmühlen, Kunststoff 74 (1984) 7, S377-379

Einfluss einer mehrlagigen Bewicklung von Seiltrommeln mit Kunststoffseilen auf deren Gestaltung und Dimensionierung

Schwarzer, T.

Die bestehenden Dimensionierungs- und Auslegekriterien für Seiltrommeln basieren zurzeit ausschließlich auf dem mechanischen Verhalten von Drahtseilen. Um der Forderung nach einer weiteren Reduzierung des Gesamtgewichts von Seiltrieben nach zu kommen, sollen in Zukunft auch hochfeste Chemiefaserseile bei mehrlagiger Trommelbewicklung verwendet werden. Deren gegenüber dem Drahtseil stark unterschiedlichen Seileigenschaften verursachen eine gänzlich andere Trommelbeanspruchung. Aus diesem Grund müssen die bestehenden Berechnungsgrundlagen an den neuen Seiltyp angepasst werden.

The existing dimensioning and design criteria's for hoisting winches are based exclusively on the behaviour of steel wire ropes. In order to fulfil the further demands of reducing the total weight of winches, high-strength chemical fibre ropes are to be used for multi-layer winches in future. The strongly different rope characteristics opposite the wire rope cause completely different drum loads. For that reason the existing design fundamentals must be adapted to the new type of ropes.

1 Einleitung

Im Bereich der Seiltechnik werden hochfeste, synthetische Faserseile bislang fast ausschließlich als stehende Seile, wie z.B. Verankerungsseile, eingesetzt. Die gegenüber herkömmlichen Drahtseilen höhere Zugfestigkeit und das drei- bis achtfach geringere spezifische Gewicht prädestinieren die Kunststoffseile für den Einsatz als laufendes Seil in Leichtbaufördermitteln, speziell in mobilen Anwendungen. In **Tabelle 1** sind die Eigenschaften zweier synthetischer Fasern denen von Stahl gegenübergestellt.

	Dyneema SK60	Aramid LM	Stahl
Dichte (g/cm ³)	0,97	1,44	7,82
Zugfestigkeit (N/mm ²)	2700	2700	bis 2160
Elastizitätsmodul (N/mm ²)	87000	58000	200000
Bruchdehnung (%)	3,5	3,7	1,1

Tabelle 1: Kenndaten von Seilfasern /1/

Es liegen bis dato wenige Erkenntnisse und wissenschaftliche Untersuchungen zu laufenden Kunststoffseilen vor. Im Wesentlichen beschränken sich die bisher durchgeführten Untersuchungen auf die Ermittlung der Biegewechselzahl und die maximal zulässige Seilzugkraft beim Lauf des Seils über Seilrollen. Das Fehlen von abgesicherten Erkenntnissen über die, die Trommelbeanspruchung beeinflussenden Eigenschaften, wie z.B. das Quer- und das Längselastizitätsmodul, macht eine beanspruchungsgerechte und gewichtsoptimierte Auslegung derzeit noch nicht möglich. Selbiges gilt für das Spulverhalten der Kunststoffseile und die sich einstellende Seilpaketsteifigkeit bei einer mehrlagigen Bewicklung der Seiltrommel.

Ziel der laufenden Forschungsarbeiten am Institut für Maschinenwesen ist es, in analytischen und experimentellen Untersuchungen den Einfluss der geänderten Seileigenschaften auf die Trommelbeanspruchung zu ermitteln und die gewonnen Erkenntnisse in die bestehenden Berechnungs- und Dimensionierungsgrundlagen zu integrieren /2,3/.

2 Zielsetzung Leichtbauseiltrieb – Optimierungsparameter

Die Beanspruchungen einer Seiltrommel werden im Wesentlichen durch den Druck der Seillagen auf den Trommelmantel und auf die Bordscheiben hervorgerufen. Die Höhe der Beanspruchungen wird dabei durch die Seileigenschaften, maßgeblich durch das Querelastizitätsmodul, beeinflusst. Grundsätzlich gilt folgender Zusammenhang: Die Belastung der Bordscheiben steigt mit abnehmendem Querelastizitätsmodul, während mit zunehmender Seilsteifigkeit, sprich mit einem zunehmenden Querelastizitätsmodul, die Last nahezu direkt auf den Mantel übertragen wird. Die Interaktion zwischen dem eine bestimmte Steifigkeit aufweisenden Seilpaket und der Seiltrommel sind bei der Entwicklung von Berechnungsmethoden keinesfalls losgelöst voneinander zu betrachten.

Bild 1 zeigt das Zusammenspiel und die gegenseitige Beeinflussung der Seil- und Trommeleigen-

schaften auf das Seilpaket und letztendlich auf die Beanspruchungsentwicklung.

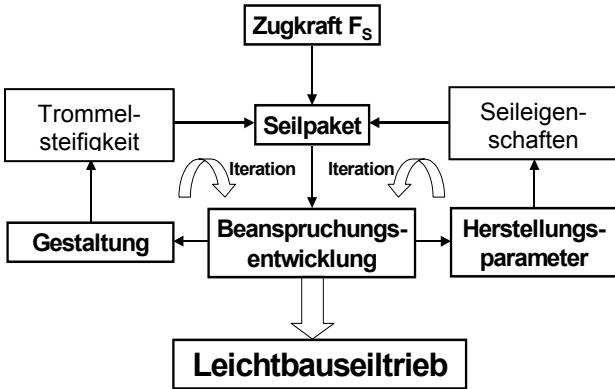


Bild 1: Zusammenspiel der auf die Beanspruchungsentwicklung einwirkenden Parameter

Zu den Optimierungsparameter zählen einerseits das Seilherstellungsverfahren mit Variation der Schlaglänge, der Schlagart, der Litzenanzahl, welche letztendlich das Seilpaketverhalten beeinflussen und andererseits Trommelparameter wie die Mantel- und die Bordscheibengeometrie und das Fertigungsverfahren, welche einen Einfluss auf die Trommelsteifigkeit haben.

Die Abstimmung der beschriebenen in **Bild 1** benannten Parameter aufeinander ermöglicht letztendlich die Entwicklung eines gewichtsoptimierten Seiltriebes.

2.1 Numerische Untersuchung des Einflusses variiert Seileigenschaften auf die Trommelbelastung

Um die Einflüsse auf eine mehrlagig mit einem Kunststoffseil bewickelte Seiltrommel abzuschätzen, wurden an einem vereinfachten FE-Modell numerische Untersuchungen mit variierten Seileigenschaften durchgeführt. Das verwendete Modell beschränkt sich auf eine Seiltrommel mit fünf idealisierten Seillagen, welche als rechteckiges Seilpaket angenommen bzw. dargestellt werden. Für eine konstante Seilzugkraft von $F_S = 20$ kN wurden dem vereinfachten Seilpaket unterschiedliche Kombinationen aus Quer- und Längselastizitätsmodul zugeordnet. Um bei diesen Modellbetrachtungen den Einfluss auf die Seiltrommelsteifigkeit zu berücksichtigen, wurden die Berechnungen mit verschiedenen Durchmesserhältnissen ausgeführt, wobei ein Verhältnis von Trommeldurchmesser D zu Seildurchmesser d von $D/d = 24$ und $D/d = 17$ simuliert wurde. Der Seildurchmesser wurde als konstant angenommen.

Bild 2 zeigt den Verlauf der sich einstellenden Bordscheibenverformungen für ein Durchmesser Verhältnis von $D/d = 24$ mit konstant gehaltenen Querelastizitätsmodul E_{SQ} bei veränderlichem Längselastizitätsmodul E_{SL} .

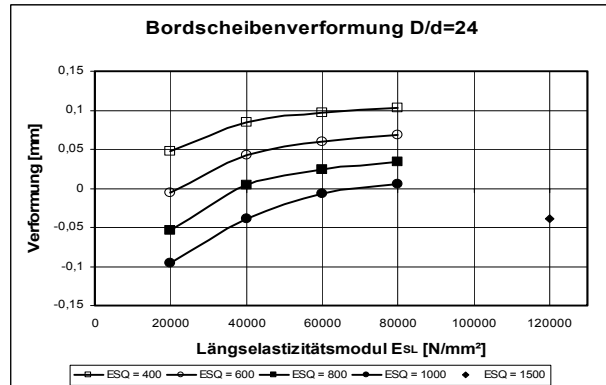


Bild 2: Bordscheibenverformung in Abhängigkeit vom Seillängselastizitätsmodul E_{SL}

Es ist zu erkennen, dass mit steigendem Seillängselastizitätsmodul E_{SL} für alle gewählten Seilquerelastizitätsmodule E_{SQ} eine degressive Zunahme der Bordscheibenverformung zu erkennen ist. Der Vergleich zwischen dem berechneten kleinsten und größten Querelastizitätsmodul E_{SQ} zeigt über dem Längselastizitätsmodul E_{SL} eine annähernde Verdopplung der Bordscheibenverformung. Einen identischen Verlauf weisen die Bordscheibenverformungen für den Fall mit dem kleineren Durchmesser Verhältnis von $D/d = 17$ auf, die auftretenden Verformungen sind für alle eingesetzten Querelastizitätsmodule E_{SQ} um den Faktor drei größer.

Für den Fall konstant gehaltener Längselastizitätsmodul E_{SL} bei veränderlichem Querelastizitätsmodul E_{SQ} wurden entsprechende Betrachtungen durchgeführt. **Bild 3** zeigt die berechneten Bordscheibenverformungen für das Durchmesser Verhältnis $D/d = 24$.

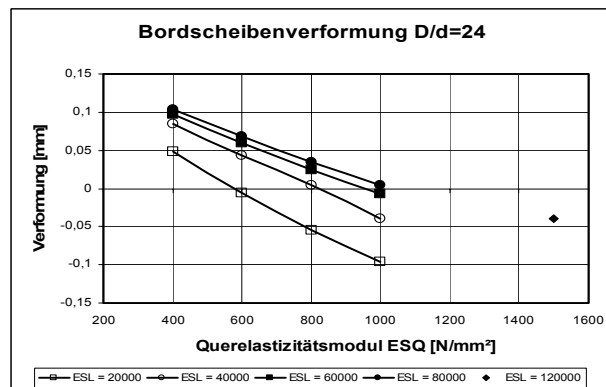


Bild 3: Bordscheibenverformung in Abhängigkeit vom Seilquerelastizitätsmodul E_{SQ}

Es lässt sich aus den Berechnungsergebnissen eindeutig ein linearer Zusammenhang zwischen der Bordscheibenverformung und dem Querelastizitätsmodul E_{SQ} erkennen. Die größten Verformungen ergeben sich (wie auch bei der Betrachtung mit einem veränderlichen Längselastizitätsmodul) für das kleinste berechnete Querelastizitätsmodul.

Die Verformungsverläufe für die Seiltrommel mit einem Durchmesser Verhältnis von $D/d = 17$ zeigen ein lineares Verhalten, entsprechend dem in **Bild 3** dargestellten Fall.

Um eine Aussage über die sich einstellende Bordscheibenbeanspruchung treffen zu können, wurde der Verlauf der radialen Biegespannung über dem Seillängselastizitätsmodul E_{SL} ausgewertet. Die auftretenden Biegespannungen für die beiden untersuchten Durchmesser Verhältnisse zeigen einen mit den Bordscheibenverformungen verwandten Verlauf. Die Kombination aus kleinstem Querelastizitätsmodul und größtem Längselastizitätsmodul ruft in diesem Fall die größten Bordscheibenverformungen und abhängig davon die größten Biegespannungen hervor. Der Einfluss der Trommelgeometrie bewirkt eine um $1/3$ größere radiale Biegespannung für das Durchmesser Verhältnis $D/d = 17$.

Die Untersuchungen zeigen, dass für ein Kunststoffseil (mit deutlich kleineren Werten für Längs- und Querelastizitätsmodul) die auftretenden Bordscheibenverformungen und radialen Biegespannungen in der Regel größer sind als bei der Verwendung eines herkömmlichen Drahtseils (vgl. **Bild 2** und **Bild 3**, Punkt bei $E_{SQ} = 1500 \text{ N/mm}^2$ und $E_{SL} = 1500 \text{ N/mm}^2$). Es ist außerdem festzuhalten, dass die entstehenden Beanspruchungen und Verformungen im Wesentlichen linear vom Querelastizitätsmodul abhängen. Bei verringertem Trommel- zu Seildurchmesser Verhältnis D/d steigt die Beanspruchung an.

2.2 Analytische Betrachtung der Kunststoffseileigenschaften

Kunststoffseile bringen gegenüber den Stahlseilen viele Vorteile mit sich, jedoch sind auch einige unsichere Eigenschaften zu berücksichtigen, die sich negativ auf die Verwendung als laufendes Seil bei mehrlagiger Seiltrommelbewicklung auswirken. Zum einen weisen Kunststoffseile im Vergleich zu Drahtseilen größere Dehnungen auf, zum anderen ist ihre Beständigkeit insbesondere im Dauerbetrieb und in Bezug auf die Ummantelung weitestgehend

unbekannt. Selbiges gilt für die Beständigkeit gegen verschiedene Umwelteinflüsse, wie z.B. UV-Einstrahlung, Hitze- und Kälteeinwirkungen sowie der Kontakt mit anderen Medien.

Bild 4 zeigt den Querschnitt eines ummantelten Aramid-Faserseils.



Bild 4: Aramid-Faserseil für Treibscheibenaufzüge, Firma Schindler

Das mechanische Ersatzmodell für die Bewicklung einer Seiltrommel mit einem Kunststoffseil (**Bild 5**) berücksichtigt im Gegensatz zum Stahlseilersatzmodell, welches das Seil vereinfacht als eine Feder annimmt, die vorhandenen Dämpfungseigenschaften des Kunststoffseils. Die Nachbildung erfolgt durch eine Feder-Dämpfer-Einheit, vgl. *Mupende /4/*.

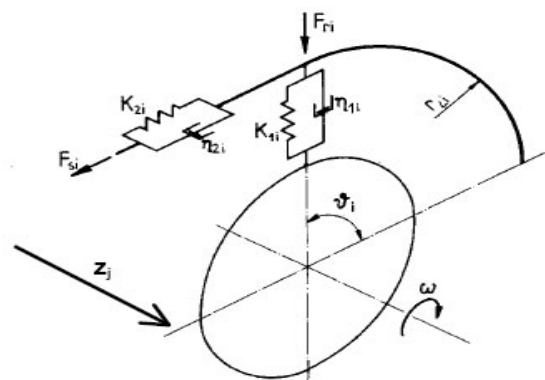


Bild 5: Ersatzmodell für die Bewicklung einer Seiltrommel mit einem Kunststoffseil

Die am Ersatzsystem angreifenden Kräfte sind die Seilzugkraft F_{si} und die Radialkraft F_{ri} . Entgegen der bisherigen Annahme der sofortigen Krafteinwirkung beim Stahlseil, wächst beim Kunststoffseil die Radialkraft F_{ri} über ein Zeitintervall erst auf ihren Maximalwert an. Somit unterliegt auch die sich einstellende Verformung des Seils in Querrichtung einer Zeitverzögerung, welche abhängig von der Dämpfung des Seils ist.

Das **Bild 6** zeigt die zeitliche Abhängigkeit der Seilquerverformung von der Dämpfung.

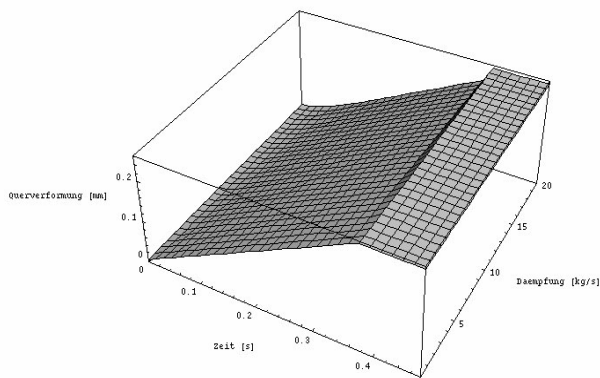


Bild 6: Abhängigkeit der Querverformung von der Seildämpfung

Die durch die Dämpfung hervorgerufene verzögerte Verformung des Seils induziert eine Verlustarbeit im Seil. Die vorhandene Dämpfung wirkt sich aber nicht nur in Seilquerrichtung sondern auch auf den Vorspannungsabfall und den damit verbundenen Entlastungseffekt aus. Betrachtet man den Fall, dass das Seil nicht nachrutscht ergibt sich dadurch auch eine zeitliche Verzögerung beim Abklingen der Seilvorspannung.

Diese hier genannten Eigenschaften der Kunststoffseile und die daraus resultierenden Änderungen im Belastungsverhalten des Seils, müssen bei der Trommelgestaltung und insbesondere bei einer mehrlagigen Bewicklung der Seiltrommel berücksichtigt werden.

3 Ausbau der Messtechnik am Seiltrommelprüfstand

Um die Qualität der Messsignalübertragung bei Online-Messung an rotierenden Prüfteilen und insbesondere bei den Messungen am Seiltrommelprüfstand zu verbessern, wurde dieses Jahr eine neue 32-kanalige Telemetrieanlage im Wert von 75.000 € angeschafft. Im Vergleich zur Vorgängeranlage bauen die Sender wesentlich kompakter und der vorher benötigte Multiplexer zur Übertragung der Messsignale ist in vielen Fällen überflüssig, was letztendlich die Flexibilität der Anordnung der Komponenten an den Bordscheiben der Seiltrommeln erhöht. Neben den 3 x 8-Kanal- und den 2 x 4-Kanal-Sendern mit den entsprechenden Empfängereinheiten, umfasst das Gesamtpaket auch einen 3-Kanal-ICP-Sender mit Empfänger für die Messung von Schwingbeschleunigungen an der sich bewegenden Struktur.

Bild 7 zeigt einige Komponenten der neuen Telemetrieanlage



Bild 7: Komponenten der neuen Telemetrie

4 Zusammenfassung

Die durchgeführten numerischen und analytischen Untersuchungen haben gezeigt, dass bei der Verwendung von Kunststoffseilen sich ein geändertes Beanspruchungsverhalten der Seiltrommel einstellt. So erhöht sich einerseits durch eine Reduzierung des Querelastizitätsmoduls die Beanspruchung auf die Bordscheiben, andererseits kommt es zu einer Entlastung des Trommelmantels. Weiterhin wird durch den Dämpfungsanteil in den Kunststoffseilen eine Verlustarbeit induziert, welche in Wärme umgesetzt wird. All diese Effekte müssen in die Auslegungsgrundlagen von Seiltrommeln einfließen. Außerdem müssen die hier festgestellten Effekte durch experimentelle Untersuchungen belegt werden. Die neue Telemetrie wird bei den durchzuführenden Beanspruchungsanalysen von Seiltrommeln die Applikation der Messtechnik und die Messwert-erfassung wesentlich vereinfachen.

5 Literatur

- /1/ Jacobs, M.; Dingenen, J.: Zugkräftig. Leichtfasern für Hochleistungsseile. Draht Welt Heft 3, 1991
- /2/ Dietz, P.: Ein Verfahren zur Berechnung ein- und mehrlagig bewickelter Seiltrommeln; Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt, 1971
- /3/ Mupende, I.: Beanspruchungs- und Verformungsverhalten des Systems Trommelmantel – Bordscheiben bei mehrlagig bewickelten Seiltrommeln unter elastischem und plastischem Werkstoffverhalten; Dissertation, TU Clausthal, Curvillier Verlag Göttingen, 2001
- /4/ Mupende, I.: Einfluss der Seildämpfung auf die Trommelbelastung bei Bewicklung mit Kunststoffseilen oder Kunststoff – Stahl Seilen; Institutsmittteilung Nr. 29, IMW Clausthal, 2004

Elasto-hydrodynamische Schmierung von Druckkämmen

Thoden, D.

Ein entscheidender Vorteil von Druckkämmen sind die relativ geringen Reibverluste gegenüber einer separaten axialen Lagerung. Der Grund hierfür ist der elasto-hydrodynamische Kontakt zwischen Druckkamm und Anlaufring. Um diesen genau auslegen zu können, wurde ein Berechnungsprogramm entwickelt, welches die Temperatur und die Oberflächenrauigkeit berücksichtigt und die Verhältnisse über der gesamten Kontaktfläche grafisch darstellt.

The main advantage of thrust collars is the relatively slight friction loss compared to a separate axial bearing. This is caused by the elasto-hydrodynamic contact between thrust collar and the wearing. For the exact calculation a program was written, which considers influences like surface roughness and temperature and displays them over the whole contact zone.

1 Grundlagen

Entscheidend bei der Berechnung von elasto-hydrodynamischen Kontakten ist zum einen die hydrodynamisch wirksame Geschwindigkeit, die für den Schmierfilmaufbau zuständig ist, und die Relativgeschwindigkeit der Kontaktpartner, die einen Großteil der Reibung verursacht.

Mittels der hydrodynamisch wirksamen Geschwindigkeit kann anhand der EHD-Theorie die Schmierfilmdicke nach Dowson und Higginson /1/ ermittelt werden. Wie diese Theorie auf Druckkämme angewendet werden kann, haben Langer und Kehl dargelegt /2, 3/.

Die Temperaturerhöhung wird durch die Viskositätsänderung des verwendeten Öls berücksichtigt. Den Einfluss von Oberflächenrauigkeiten auf EHD-Kontakte hat Schmidt /4/ bearbeitet. Auch diese Ergebnisse fließen in die Berechnung mit ein.

Das Programm ist unter der Programmierumgebung MATLAB von The Mathworks Inc. umgesetzt, wodurch flächige Berechnungen zügig durchgeführt werden können.

In der technischen Ausführung wird davon ausgegangen, dass der Druckkamm auf dem Ritzel aufgebracht ist und als Reibpartner eine geschlossene Fläche hat, so dass die

Kontaktfläche eine konstante Größe besitzt. Von einer Abstützung auf den Zähnen wird nicht ausgegangen.

2 Ausgangsdaten

Vor Beginn der Berechnungsablaufs werden die vorgegebenen Geometriedaten sowie die Stoffdaten für die Reibpartner und das Schmiermittel abgefragt bzw. berechnet.

Als variable Daten gelten die Geometrie des Druckkamms (Durchmesser und Schrägung) sowie des Anlaufrings und die Betriebsdaten Eingangsdrehzahl und Axialkraft.

Aus diesen variablen Daten können Auslegungsfälle zusammengestellt werden, die das Programm in einem Programmdurchlauf behandelt. Die Ausgabedateien werden mit einem Dateinamen versehen, aus dem sich die Parameter Eingangsdrehzahl, axiale Belastung und die Geometriedaten Druckkammdurchmesser, Gegenringdurchmesser und Kegelwinkel abgelesen werden können.

3 Berechnungen

3.1 Berechnung der Geschwindigkeiten

Zur Berechnung der Relativgeschwindigkeit der Reibpartner werden für jeden Quadratmillimeter in der Kontaktzone die Relativgeschwindigkeiten der beiden Zahnräder vektoriell ermittelt. Hierfür werden je eine Matrix von der Dimension des Achsabstandes und des Druckkammdurchmessers für die Drehgeschwindigkeit sowie die Geometrie der beiden Räder erstellt. In zwei verschachtelten for-Schleifen wird für jeden Punkt überprüft, ob er innerhalb der Kontaktzone liegt und danach sowohl die x- und y-Geschwindigkeit sowie die Geometrie anhand der Schrägungswinkel für jedes Rad berechnet. Nach Durchlaufen dieser Schleifen werden die Matrizen auf die Größe der Kontaktfläche verkleinert.

Durch Subtrahieren der Geschwindigkeiten von Rad und Ritzel wird die Relativgeschwindigkeit zwischen den Reibpartnern ermittelt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist gleichbedeutend mit der hydrodynamisch wirksamen Geschwindigkeit, die entscheidend für die Tragfähigkeit des Reibkontakts ist.

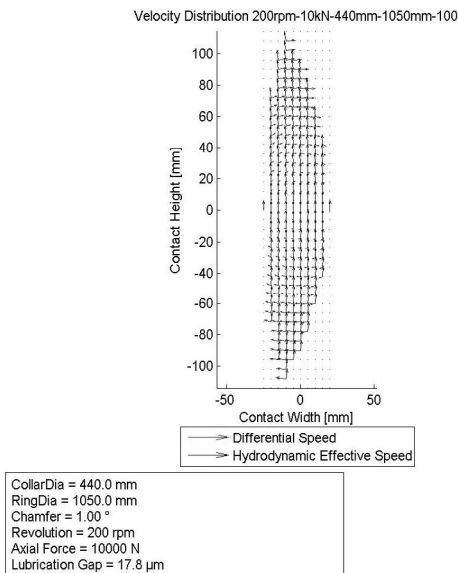


Abbildung 1 Vektordarstellung von Differenz- und hydrodynamisch effektiver Geschwindigkeit

3.2 Tragfähigkeitsberechnung

Durch die hohe Axialkraft und den linienförmigen Kontakt wird für die Berechnung der Tragfähigkeit die elasto-hydrodynamische Schmierfilmtheorie verwendet.

Der minimale Schmierfilm ergibt sich nach der Formel von Dowson und Higginson:

$$h_{min} = K \cdot R_{Red} \cdot G^g \cdot U^c \cdot W^w$$

Hierbei ist h_{min} als minimalem Schmierfilm und

$$R_{Red} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

als reduziertem Radius, wobei R_1

und R_2 die Kegelradien der angeschrägten Druckkammflächen sind.

$$G = \alpha_{P2000} \cdot E_{Red}$$

als Werkstoffkennzahl mit α_{P2000} als

Druck-Viskositäts-Koeffizienten und E_{Red} als reduziertem Elastizitätsmodul

$$E_{Red} = \frac{\frac{E_1}{1 - \nu_1^2} + \frac{E_2}{1 - \nu_2^2}}{2}$$

$$U = \frac{\eta_0 \cdot u_{hyd}}{E_{Red} \cdot R_{Red}}$$

als Geschwindigkeitskennzahl mit η_0

als Ausgangsviskosität und u_{hyd} als hydrodynamisch wirksame Geschwindigkeit.

$$W = \frac{F}{l_S \cdot E_{Red} \cdot R_{Red}}$$

als Lastkennzahl mit F als

Axialkraft und l_S als Berührlänge, also der Breite der Kontaktfläche.

Die Koeffizienten und Exponenten K , g , c und w werden für den Zylinderkontakt, mit welchem

annähernd das Druckkammproblem beschrieben werden kann mit $K = 2.65$, $g = 0,54$, $c = 0,70$ und $w = -0,13$ angegeben.

3.2.1 Temperatureinfluss

Da davon auszugehen ist, dass sich das Schmiermittel über den elasto-hydrodynamischen Kontakt erwärmt, muss ein entsprechender Korrekturfaktor eingefügt werden. Der minimale Schmierfilm ergibt sich somit als:

$$h_{min,th} = h_{min} \cdot C_{th}$$

mit C_{th} als thermischem Korrekturfaktor.

Dieser wird mit dem Bekastungsfaktor

$$L_{th} = \frac{\eta_0 \cdot \beta \cdot u_{hyd}}{k}$$

als $C_{th} = \frac{0,39}{0,39 + L_{th}^{0,62}}$

berechnet. Hierbei ist k der Wärmeleitkoeffizient des eingesetzten Öls. Der Temperatur-Viskositäts-

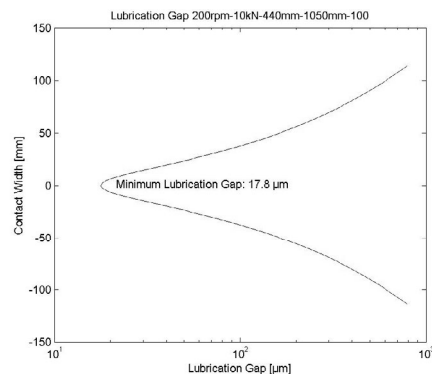
Koeffizient β wird über zwei bekannte Viskositäten η_1 und η_2 bei festgelegten Temperaturen T_1 und T_2 errechnet. K_0 dient zur Umrechnung von °C auf K:

$$\beta = \frac{(T_2 + K_0) \cdot (T_1 + K_0)}{(T_2 - T_1) \cdot (T_2 + K_0)^2} \cdot \ln\left(\frac{\eta_1}{\eta_2}\right)$$

Die nötigen Werte können aus den Datenblättern der Ölhersteller entnommen werden.

3.2.2 Oberflächeneinfluss

Als weiterer Einfluss kommt die Oberflächenrauigkeit zum Tragen. Nach /4/ kann diese über den Faktor C_{RS} berücksichtigt werden. Dieser wird aus verschiedenen Werten der ABBOTT'schen Materialanteilkurve, gebildet und errechnet sich wie folgt:



CollarDia = 440.0 mm
 RingDia = 1050.0 mm
 Chamfer = 1.00°
 Revolution = 200 rpm
 Axial Force = 10000 N
 Lubrication Gap = 17.8 µm

RZ = 3.6 µm
 CRS = 0.41
 hmin/CRS > 2 * RZ: true

Abbildung 2 Schmierspalthöhe in der gesamten Kontaktzone

$$C_{RS} = 0,8 \cdot \left(\frac{R_K}{R_Z} \right)^{0,61} \cdot \left(\frac{\frac{F_{r1}}{M_{r1}}}{\frac{F_{r2}}{100\% - M_{r2}}} \right)^{0,25}$$

R_Z ist der Wert für die gemittelte Rauhtiefe, R_K gibt die Kernrauhtiefe an. Die mittlere Profilspitzenhöhe $\frac{F_{r1}}{M_{r1}}$ und die mittlere Profiliriefentiefe $\frac{F_{r2}}{100\% - M_{r2}}$ ergeben sich aus der erwähnten Materialanteilkurve. Die Faktoren und Exponenten sind empirisch ermittelte Werte.

Nach der Bestimmung dieser Einflussfaktoren lässt sich die minimale Schmierfilmdicke mit

$$h_{min,th,RS} = \frac{h_{min,th}}{C_{RS}}$$

Mit ihr kann nun die Geometrie der Kontaktzone und die dortige Schmierfilmdicke berechnet werden.

3.2.3 Ermittlung der Reibleistung

Es wird davon ausgegangen, dass das Schmieröl Newton'sches Verhalten zeigt. Somit ist die Scherspannung im Öl $\tau(x, y) = \eta \cdot \frac{\Delta u(x, y)}{h(x, y)}$. Wird

diese über die gesamte Fläche integriert, so ergibt sich die Reibkraft $F_R = \iint \tau(x, y) dx dy$, mit der der Gleitreibungskoeffizient $\mu = \frac{F_R}{F_N}$ bestimmt werden

kann.

Zur Berechnung der Reibleistung pro Flächenelement wird die örtliche Schubspannung mit der Differenzgeschwindigkeit multipliziert:

$$P_R(x, y) = \tau(x, y) \cdot \Delta u(x, y)$$

Die gesamte Reibleistung ergibt sich wiederum durch Integration:

$$P_R = \int_A P_R(x, y) dA$$

Die maximale Temperaturdifferenz des Druckrings gegenüber der Umgebungstemperatur errechnet sich aus der Wärme, die über die Reibfläche am Druckring abgegeben werden kann. Überschlägig errechnet sich diese zu: $\Delta \vartheta = \frac{P_R}{\alpha \cdot A}$ mit α als

Wärmeübergangskoeffizient und A als gesamte Reibfläche des Druckrings.

4 Datenausgabe

Die Ausgabe der Berechnungsergebnisse erfolgt graphisch. Neben den Diagrammen wird stets eine

Tabelle mit den wichtigsten Ausgangsdaten ausgegeben. Zusätzlich werden in einer weiteren Tabelle die Ergebnisse für die entsprechende Ausgabe angezeigt, wenn dieses notwendig ist.

4.1 Ausgabe der fallweisen Berechnungen

4.1.1 Ausgabe der Geschwindigkeiten

Zur Darstellung des Unterschiedes zwischen der Relativgeschwindigkeit und der hydrodynamisch wirksamen Geschwindigkeit, werden beide in einem Diagramm als Vektoren dargestellt (Abbildung 1). Dabei wird ersichtlich, dass im Kontakt die Differenzgeschwindigkeit am niedrigsten ist, die hydrodynamisch wirksame Geschwindigkeit jedoch gleich bleibend hoch ist.

4.1.2 Ausgabe der Schmierspaltgeometrie

In einer zweiten Abbildung wird ein Längsschnitt über die den gesamten Schmierspalt dargestellt. Um die Kontaktzone besser darstellen zu können, wird eine logarithmische Einteilung gewählt (Abbildung 2). Als Zusatzinformationen werden die mittlere Rautiefe, der Rautiefeneinflussfaktor sowie die Überprüfung der minimal nötigen Schmierspalthöhe eingeblendet.

4.1.3 Ausgabe der Scherspannung

In der dritten Abbildung wird die Verteilung der Scherspannung im Schmierstoff angegeben (Abbildung 3). Da sie von der Schmierspalthöhe und der Differenzgeschwindigkeit abhängt, ist sie am äußeren Rand des Wälzbereichs am größten. Als Informationen werden die gesamte Radialkraft

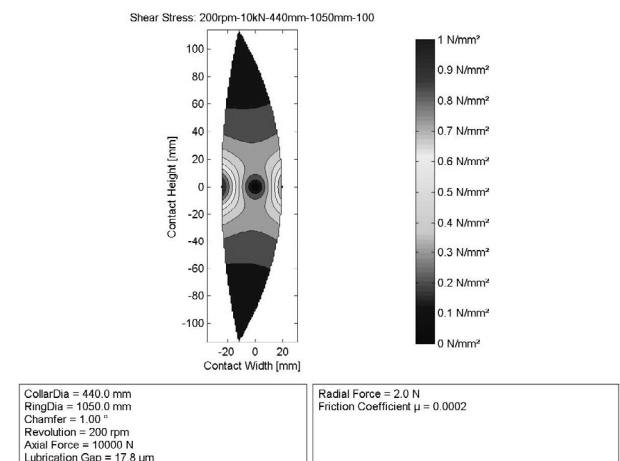


Abbildung 3 Scherspannung im Schmierstoff und der Gleitreibungskoeffizient ausgegeben.

4.1.4 Ausgabe der Reibleistung

In einer weiteren Abbildung wird die Verteilung der Reibleistung pro Flächenelement dargestellt (Abbildung 4). Sie ist wiederum am äußeren Rand

des Wälzbereichs am größten, da hier die relativ größte Differenzgeschwindigkeit auf den relativ kleinsten Schmierespalt trifft.

Weiter Informationen in dieser Darstellung sind die gesamte Reibleistung und die Differenztemperatur des Druckrings gegenüber der Gehäuseluft.

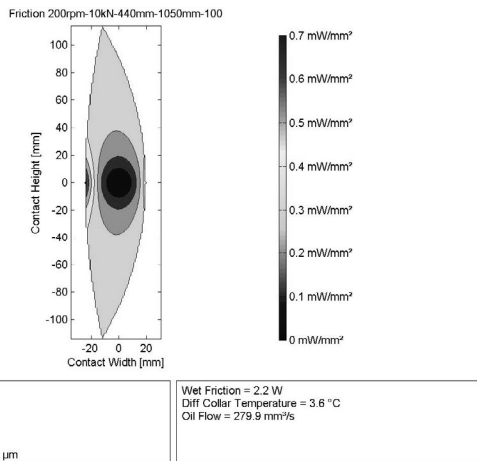


Abbildung 4 Reibleistung pro Fläche

4.2 Bestimmung der minimalen Geschwindigkeit

Zur Bestimmung der minimalen Geschwindigkeit, bei der die vollständige Trennung der Oberflächen vorliegt, wird eine Untersuchung im unteren Geschwindigkeitsbereich mit verschiedenen Kegelwinkeln durchgeführt.

Für einen Bereich von $1 \dots 150 \text{ min}^{-1}$ wird die elastohydrodynamische Schmierfilmhöhe nach den oben angegebenen Formeln mit allen Einflussfaktoren bestimmt und in ein Diagramm (Abbildung 5) aufgetragen. Die Kegelwinkel werden dabei in einem Bereich von $0,5^\circ \dots 2,5^\circ$ gesteigert. Die Drehzahl, bei der erstmals eine vollständige Trennung vorliegt, wird mit im Diagramm angezeigt.

Der in /2/ beschriebene Effekt, dass die Tragfähigkeit bei sehr kleinen Kegelwinkeln wieder abnimmt, konnte dabei nicht berücksichtigt werden, so dass empfohlen wird, keine Kegelwinkel unter $1,0^\circ$ zu wählen.

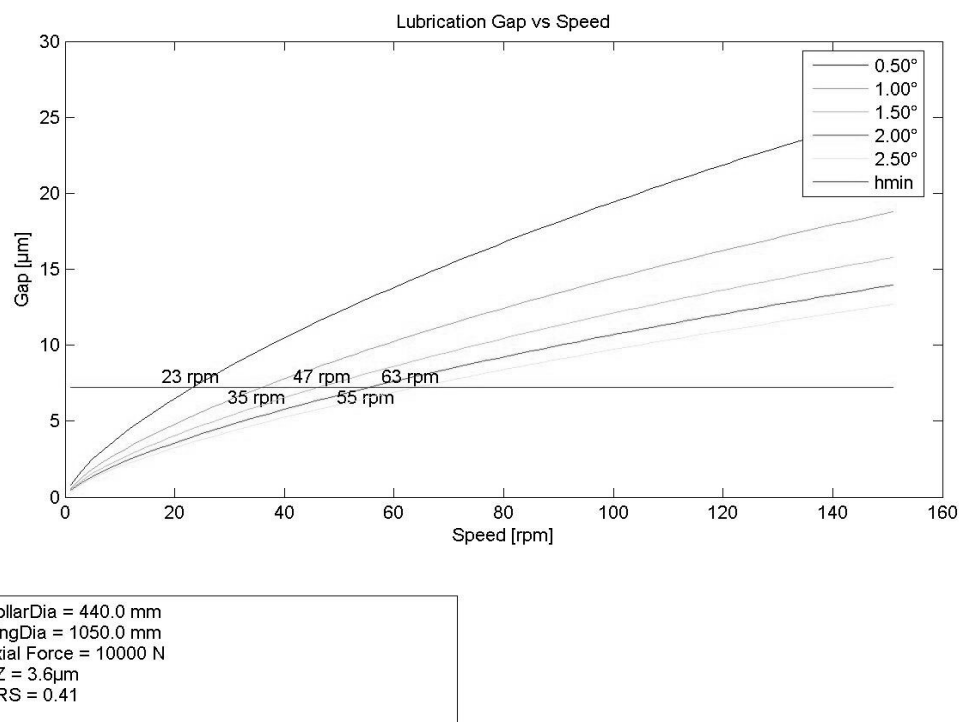


Abbildung 5: Schmierespalthöhe gegenüber Drehzahl

5 Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Programm können Druckkämme nach dem derzeitigen Stand des Wissens auf die hydrodynamische Tragfähigkeit hin ausgelegt werden.

Durch den modularen Programmaufbau ist es sogar möglich, Optimierungsfunktionen anzuwenden, um bei minimaler Reibleistung die maximale Tragfähigkeit zu ermitteln.

Somit steht der vielseitigen Verwendung dieses Interessanten Maschinenelements nichts mehr im Wege.

6 Literatur

- /1/ Dowson, D.; G. R. Higginson: Elasto-Hydrodynamic Lubrication : SI. Oxford usw. : Pergamon Pr., 1977.
- /2/ Langer, H.: Hydrodynamische Axialkraftuebertragung Bei Wellen Schnellaufender Getriebe. Transmission of Axial Forces between Shafts in High Speed Gearboxes by Hydrodynamic Effects. In: Konstruktion im Maschinen-, Apparate- und Geraetebau 1982 (34), 12, S. 473-478.
- /3/ Kehl, G.; F. Martin: Schmierfilmtragfähigkeit in Druckkammgetrieben. In: Tribologie und Schmierungstechnik 2001 (48), 1, S. 12-15.
- /4/ Schmidt, Uwe: Die Schmierfilmbildung in Elastohydrodynamisch Beanspruchten Wälzkontakten Unter Berücksichtigung Der Oberflächenrauheit : 1985.

Werkstoffgerechte Lösungsfindung durch anforderungsgetriebene Konstruktionsmethodik

Lütkepohl, Anke

Ziel eines vom Institut für Maschinenwesen bearbeiteten und von der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsvorhabens ist es, ausgehend von den Produkthanforderungen, durch eine interdisziplinäre Verknüpfung der Entwicklungsfelder Werkstoff, Konstruktion und Technologie Attribute zu finden und zu definieren, die bereits in der Konzeptionsphase in den Konstruktionsprozess eingebunden werden und zu innovativen Lösungsprinzipien führen

Detecting and defining attributes by an interdisciplinary combination of the development areas material, design and technology is goal of a research project at the Institut für Maschinenwesen (IMW), aided from "Deutsche Forschungsgemeinschaft" (DFG). This attributes being integrated in the concept phase of the construction process, shall lead to innovative solution principles.

1 Einleitung

Aus Gründen der Erfüllung von zum Teil konkurrierender oder sich widersprechender Anforderungen moderner und marktgerechter Produkte stellt der zu wählende Werkstoff für den Konstrukteur häufig eine Restriktion dar. Aus diesem Grund ist es oftmals notwendig, Werkstoffe zu kombinieren und funktionsgerecht einzusetzen oder als Funktionswerkstoff in Integral- oder Verbundbauweise zu verwenden. Daraus ergibt sich zwangsläufig eine interdisziplinäre Verknüpfung der Entwicklungsfelder Werkstoff, Konstruktion (Gestaltung, Modellierung) und Technologie (**Bild 1**). In dieser Art wird der Konstruktionsprozess in den bekannten Vorgehensweisen z.B. nach VDI 2221/2222 formal nicht unterstützt. Die Werkstoffwahl und die Wahl der Herstellungstechnologien erfolgt meist in der Gestaltungsphase. Zu diesem Zeitpunkt liegt das Lösungskonzept zur Erfüllung der Hauptfunktionen bereits unveränderbar vor. Die Chance zur Beeinflussung der Produktentwicklung bereits in den frühen Phasen des Konstruktionsprozesses, die sich durch eine interdisziplinäre Optimierung von Werkstoff, Herstellungsverfahren und Gestalt ergibt, wird nicht ge-

nutzt. Dies hängt mit den äußerst komplexen und in den meisten Fällen auch nicht eindeutig beschreibbaren Zusammenhängen von funktionellen Anforderungen und Werkstoffeigenschaften zusammen, zu einem Stadium der Produktentwicklung, in der der Informationsgehalt der angestrebten Lösung noch unterentwickelt ist.

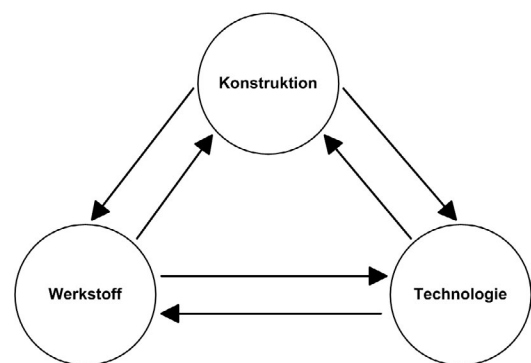


Bild 1: Interdisziplinäres Zusammenspiel von Werkstoff, Konstruktion und Technologie

Bei der Bearbeitung des Projektes wurde von der These ausgegangen, dass die Wahl eines Werkstoffes im herkömmlichen Konstruktionsprozess immer einen Kompromiss darstellt. Spezifische Werkstoffeigenschaften begünstigen die für das Produkt geforderten Eigenschaften, andere Merkmale werden den Anforderungen nicht gerecht. Die hieraus abzuleitende These lautet, dass bei der Gestaltung eines Produktes durch die Kombination von mehreren Werkstoffen eine höhere Chance besteht die geforderten Anforderungen zu erfüllen, als durch die Verwendung eines einzigen Werkstoffs. Der wirtschaftliche Erfolg der Anwendungen zur Erzielung bestimmter Bauteileigenschaften erfordert damit zusätzlich eine funktionsgerechte Verbindung dieser Werkstoffe zu einer Bauteilstruktur. Der wesentliche Punkt dabei ist, dass der Konstrukteur die Aufgabe hat, mit Hilfe der Werkstoff- und Fertigungstechnik Eigenschaften zu konstruieren, denn die Erstellung eines Bauteils bedeutet gleichzeitig die Schaffung der Bauteileigenschaften aus den Komponenten Werkstoffeigenschaft und Herstellungstechnik.

Die Definition von Zielen und Anforderungen an Werkstoffe und die Werkstoffentwicklung erfordert vom Konstrukteur ein Höchstmaß an Kreativität. Es wird erwartet, dass mit noch nicht bekannten Werkstoffen, beziehungsweise von deren Anforderungen zunächst nur eine vage Vorstellung existiert, eine innovative Konstruktion entwickelt wird, die ohne diese Werkstoffe nicht möglich wäre. Es müssen demnach Anforderungen an (neue) Werkstoffe gestellt werden, die dazu führen, dass sich neue Wirkprinzipien erschließen, woraus wiederum neue Gestaltungsregeln resultieren. Die Konstruktion beinhaltet die Festlegung der Bauteilgeometrie und der kinematischer Beziehungen und bildet damit die physikalische Grundlage und stoffliche Umsetzung des Lösungsprinzips

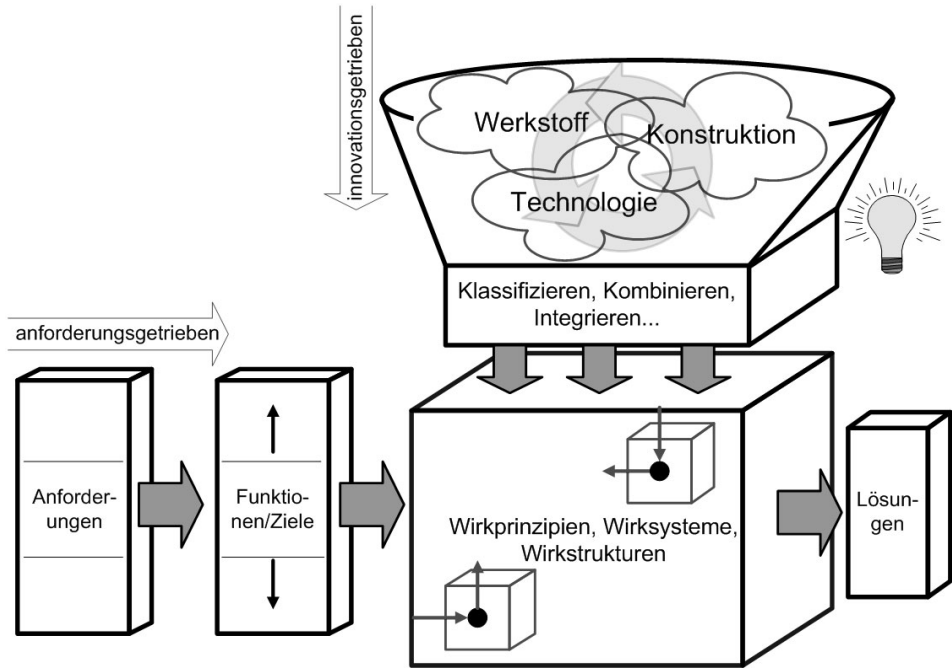


Bild 2: Konstruktionsmethodik zur werkstoffgerechten Lösungsfindung

male und Wirkprinzipien von Informationen und Innovationen zum Auffinden geeigneter Lösungen werden dabei zur zentralen Aufgabe des Lösungsfindungsprozesses.

male und Wirkprinzipien von Informationen und Innovationen zum Auffinden geeigneter Lösungen werden dabei zur zentralen Aufgabe des Lösungsfindungsprozesses.

2 Konstruktionsmethodik zur werkstoffgerechten Lösungsfindung

Das Problem bei der Entwicklung einer anforderungsgetriebenen Konstruktionsmethodik liegt darin, dass bei der Entwicklung neuer und innovativer Produkte ein starres Vorgehen nahezu unmöglich ist. Es bestehen sehr komplexe Zusammenhänge die aufgrund der ständigen und zum Teil sehr rasant fortschreitenden Entwicklung in den Bereichen Werkstoff und Technologie eine hohe Dynamik aufweisen.

Bei der in **Bild 2** vorgestellten Methodik zur werkstoffgerechten Lösungsfindung im Konstruktionsprozess wird zum einen von den an das Produkt gestellten Anforderungen ausgegangen, zum anderen wird auch eine Suchrichtung vorgeschlagen, die von innovativen Ideen aus den Bereichen Werkstoff, Technologie und Konstruktion ausgeht. Auf diese Weise können Innovationen, d.h. sich aus der Forschung in den verschiedenen Disziplinen ergebende Möglichkeiten dazu führen, dass für bereits bekannte Funktionen neue Wirkprinzipien kreiert werden. Die Klassifizierung, die Kombination, die Integration, die Einteilung in Eigenschaften, Merk

3 Entwicklung einer Wirkstruktur

In **Bild 3** ist schematisch dargestellt, wie durch die Kombination von Wissen und Informationen aus unterschiedlichen Bereichen (Werkstoffe, Technologie, Konstruktion) Wirkprinzipien oder Wirkstrukturen erarbeitet werden können, um innovative Lösungen zu entwickeln. Die Entwicklung von Welle-Nabe-Verbindungen wird als Beispiel zur Verdeutlichung dieses Vorgehens soll herangezogen.

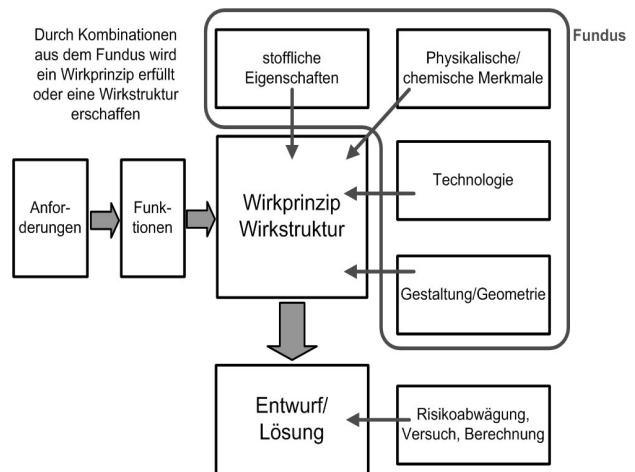


Bild 3: Entwicklung einer Wirkstruktur

Durch die Kombination von unterschiedlichen Informationen aus verschiedenen Bereichen wird ein neues Wirkprinzip zur Herstellung von Welle-Nabe-Verbindungen entwickelt.

- Funktion: Verbinden
- Eigenschaften von Werkstoffen: Elastizität, Plastizität
- Physikalisches Merkmal: Pressverbindung
- Technologie: Innenhochdruckumformen
- Konstruktion/Gestaltung: Verbindungspartner

Die zu erfüllende Funktion heißt „Verbinden“. Zum Verbinden von Welle und Nabe sind verschiedene physikalische Prinzipien bekannt, u. a. das Verbinden mittels Kraftschluss. Durch eine geschickte Wahl von zwei Werkstoffen und der Berücksichtigung derer stofflichen Eigenschaften, dem Elastizitäts- und Plastizitätsverhalten, in Kombination mit einem Fertigungsverfahren, das ursprünglich zum Umformen von Hohlbauteilen diente wird es möglich, Welle und Nabe kraftschlüssig miteinander zu verbinden. Besondere Berücksichtigung bei diesem Verfahren muss die Gestaltung der Bauteile finden.

Um den Verbindungsprozess erfolgreich durchführen zu können, muss der Wellenwerkstoff eine geringere Fließgrenze als der Nabenwerkstoff aufweisen, damit ein unterschiedliches Rückfederungsverhalten nach Belastungsrücknahme gewährleistet ist. Die konstruktive Gestaltung der Fügepartner muss sorgfältig erfolgen, um den Fertigungsprozess überhaupt möglich zu machen. Zum einen muss die Welle als Hohlwelle ausgeführt sein, um das Fügewerkzeug aufnehmen zu können, zum anderen muss ein Fügespalt zwischen Welle und Nabe vorhanden sein, um ein Aufweiten der Welle durch den Innendruck zu ermöglichen.

Das Beispiel kann dadurch erweitert werden, dass als Wellenwerkstoff weiterhin Stahl verwendet wird, als Nabenwerkstoff hingegen ein Faserverbundwerkstoff ausgewählt wird. Durch die Anwendung des Innenhochdruckfügens werden zwei in ihren stofflichen Eigenschaften völlig unterschiedliche Werkstoffe, die aufgrund dessen oftmals für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden und als inkompatibel bezeichnet werden können, zusammengebracht. Auch hierbei spielt die konstruktive Gestaltung eine große Rolle, da durch die Gestaltung des Faserverbundwerkstoffs (Faserlage) seine Eigenschaften eingestellt werden können. Mit dieser Bauart von Welle-Nabe-Verbindungen werden

dem Maschinenelement weitere Möglichkeiten z.B. als Anwendung im Leichtbaubereich eröffnet. Eine detaillierte Ausführung der interdisziplinären Lösungsfindung am Beispiel der Welle-Faserverbund-Nabe-Verbindung ist in /1/ zu finden.

4 Informationssystem zur werkstoffgerechten Konstruktionsmethodik

Dem Konstrukteur stehen zur Auswahl von Werkstoffeigenschaften verschiedene Informationssysteme zur Verfügung, wobei eine starke Diskrepanz zwischen den funktionsorientierten Anforderungen und den meist physikalisch/chemischen Eigenschaften der Werkstoffe besteht. Für die Erstellung innovativer Produkte durch lösungsimmanente Werkstoffe ist es demnach wichtig, Werkstoffe und ihre Eigenschaften mit Fertigungstechnologien sowie den Funktionen, die das Produkt erfüllen soll, in Zusammenhang zu bringen.

Bei der Integration und Zusammenarbeit mehrerer Fachbereiche und der damit entstehenden Fülle an Wissen, Daten und Informationen, wird der Lösungsfindungsprozess dynamisch und sehr komplex.

Um die Kombination der Informationen aus den Entwicklungsfeldern Werkstoffe, Technologie und Konstruktion für den Konstrukteur anwendbar und handhabbar zu machen, werden die Möglichkeiten eines Informationssystems benötigt, um Daten, Informationen und Fachwissen bereitzustellen und eine Verknüpfung zu bewirken.

Als sehr modern und für Informationsaufgaben wie die hier vorliegende geeignet, erweist sich die Anwendung von Informationssagenten, da sie – ähnlich wie der Konstrukteur – im Moment des Bedarfs von Information gezielt Recherchen unternehmen und dabei den aktuellen Wissensstand in der jeweiligen Produktentwicklungsphase berücksichtigen können.

Da es gerade in der frühen Phase der Produktentstehung oftmals schwierig ist konkrete Aussagen zu definieren, erscheint es wenig Ziel führend, wenn in Informationssystemen und Datenbanken ausschließlich nach Schlagworten gesucht wird. Eine Beschaffung, Korrelation und Analyse von verschiedenen Informationen aus verschiedenen Quellen, die zu einem entsprechenden Muster passen, erscheint geeigneter, um eine innovative Produktidee entstehen zu lassen. Informationsagenten stellen Informationsbrücken zwischen Quellen und Nutzern dar. Die Filterung von Informationen erfolgt

über definierte Nutzerinteressen, mit welchen Informationsquellen auf Schlüsselworte oder Eigenschaften hin verglichen werden /2/. Der Einsatz von Informationsagenten eröffnet folgende Anwendungsmöglichkeiten /2/:

- Zugriff auf heterogene/verteilte Informationssysteme
- Auffinden und Filtern relevanter Daten
- Handhaben und Bearbeiten von Metadaten
- Zusammenführen und Darstellen von Informationen

Beim Einsatz solch künstlicher Intelligenzen muss immer beachtet werden, dass die Vielschichtigkeit der menschlichen Handlungen nur bedingt abgebildet werden können, da sie ausschließlich auf voreingestellten Informationen und Erfahrungen des Menschen aufbauen /3/.

In **Bild 4** ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachbereiche Werkstoff, Konstruktion und Technologie im Zusammenhang mit dem Einsatz von Informationsagenten dargestellt. Den einzelnen Fachbereichen stehen jeweils verschiedene Informationssysteme zur Verfügung, in denen Wissen, Daten und Informationen enthalten und gespeichert sind, z.B. Werkstoffdatenbanken. Die Zusammenarbeit der Bereiche und der Wissens- und Informationsaustausch wird durch den Einsatz von Agenten unterstützt, gesteuert und damit vereinfacht.

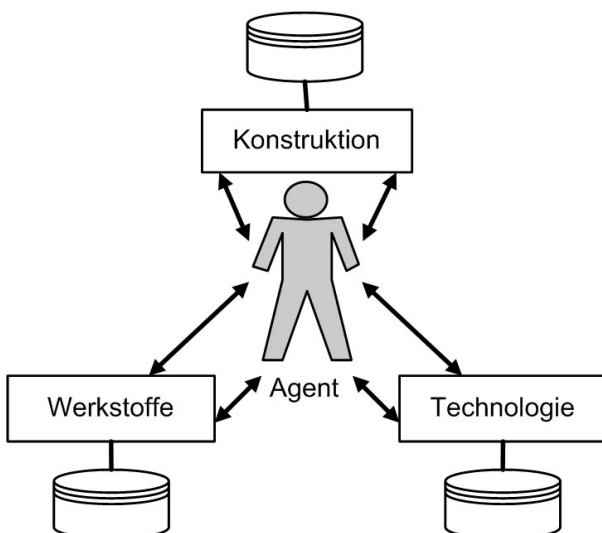


Bild 4: Agenten in der werkstoffgerechten Lösungsfindung

Beim Einsatz eines Agentensystems in der werkstofforientierten Lösungsfindung können Agenten z.B. gezielt Werkstoffdatenbanken durchsuchen, um Werkstoffe mit geforderten Eigenschaften aus-

zuwählen und gleichzeitig, aufgrund angegebener Kriterien, Informationen über geeignete Bearbeitungstechnologien zur Verfügung stellen. Ein Informationssystem zur Kopplung der Daten aus den Entwicklungsfeldern (Werkstoff, Konstruktion, Technologie) mit den Informationen aus den gestellten Anforderungen (Funktionen, Ziele) kann ebenfalls durch den Einsatz von Agenten unterstützt werden, indem Funktionen durch Suchanfragen mit Fertigungstechnologien und Werkstoffen in Zusammenhang gebracht werden. Um hierbei verwertbare Ergebnisse zu erzielen, müssen die angebotenen Informationssysteme so aufgebaut und kategorisiert sein, dass es den Agenten möglich ist Zusammenhänge zu erkennen.

5 Zusammenfassung

Das in diesem Projekt erzielte Ergebnis ist eine - rechnergestützte - Vorgehensweise zur Umsetzung von Anforderungen in eine Lösungskonzeption, die bereits einen Optimierungsvorgang zur Wahl der Werkstoffkomponenten und der Herstellungsvorgänge in einer hybriden Bauteilstruktur enthält. Es wird damit ein Beitrag zur Heuristik der Produktentwicklung geliefert, der in künftigen Arbeiten insbesondere in seiner rechnergestützten Vorgehensweise weiter auszuarbeiten ist. Grundsätzlich zielt das Projekt auf eine Leistungssteigerung hybrider Bauteilstrukturen ab, um damit dem Konstrukteur die Gelegenheit zu geben, bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung die Potenziale neuer Werkstoffe und Verbindungstechniken in die Konzeption der konstruktiven Lösung einzubringen.

6 Literatur

- /1/ Dietz, P.; Grünendick T.: Interdisziplinäre Lösungsfindung am Beispiel der Welle-Faserverbund-Nabe-Verbindung. 9. Symposium der SAMPE an der TU Clausthal, 2003
- /2/ Müller, D.: Intelligente Unterstützung für ein aufgabenorientiertes Anforderungsmanagement in der Integrierten Produktentwicklung. Dissertation, TU Clausthal, 2006
- /3/ Klusch, M.: Information Agent Technology for the Internet: A Survey, Journal Data and Knowledge Engineering, Spezialausgabe Intelligent Information Integration, Fensel (Ed.), Vol. 36(3), Elsevier Science, 2001

Task-oriented requirements management by application of information agents

Müller, D.

Die Behandlung von Anforderungsspezifikationen von komplexen Produkten stellt sich durch die verbundene große Menge an Anzahl und Verknüpfungen als schwierig dar. Sie repräsentieren aber die rechtliche Grundlage für die Produktentwicklung. Ein Konzept für eine aufgabenorientierte Filterung und Bereitstellung von Anforderungsspezifikationen zur Unterstützung des Ingenieurs in seinem Informationsmanagement wird in diesem Artikel vorgestellt. Der Ansatz setzt auf einer semantisch erweiterten Anforderungskategorisierung auf. Anforderungsauswahl und Überwachung werden mithilfe von Informationsagenten ausgeführt.

Requirement specifications for complex products are hard to handle due to their high amount of number and interrelations. Thereby, requirements represent the legally binding basis for the product development. In this paper, a concept for a task-oriented filtering and provision of requirement specifications is presented to support the engineer in his information management. The approach is based on a semantically enhanced requirements categorization. The requirements selection and change monitoring will be implemented by means of information agents. The approach enables an optimized personal requirements processing which backs an efficient product development.

1 Introduction

It is essential for the manufacturing industry to bring new products in short time at low costs and of high quality onto the market. Innovations represent the unique selling point in competition [1]. Innovative solutions are primarily realized by extended application of electronics and software in automotive or aerospace industry. This is associated with an increased product complexity, which is characterized by the type, diversity and number of elements and relations, as well as the dynamics of the system [2]. The development of innovative products is linked with the integration of processes and domains. The control, management and implementation of such an integrated product development is one of the challenges that have to be tackled nowadays.

It is commonly known, that the product development is primarily responsible for the determination of a product's total costs. Thereby, requirements represent the legally binding basis. A requirement is an expression of a perceived need that something be accomplished or realized [3]. This definition by Gabb et al. includes the demands and wishes a desired product has to fulfill, as well as the constraints regarding e.g. system environment, services or personnel entities.

Three abstract user profiles can be identified that are concerned with requirements. The developer is the recipient of a requirement. He is directly responsible for the problem solving and component design with reference to the stated requirements. The system analyst is responsible for the general requirements engineering and system design in the early development phases up to the start of production. He is engaged in the extensive elicitation, analysis, negotiation and documentation of qualitative requirements, as well as the fundamental system conception. The stakeholder characterizes a person with a not explicitly defined involvement along the development. This can be a supplier participating in the requirements elicitation and negotiation process, or a person in charge with access to the requirements specification to support his tasks (e.g. marketing).

The design process can be characterized as follows. It is definitely personal, based on creativity, and dynamic. The agreement on requirements and problem-solving solutions is marked by negotiations and compromises. The engineers' tasks are based on their individual knowledge by interpretation of available and acquired information. Several systematic approaches to engineering design have been proposed (among others [4], [5], [6], [7]). Despite the variances, general tasks are common to all these approaches:

- Requirement specification and planning
- Search and development of solutions
- Selection and optimization of variants

Requirements have a relevance in all these tasks. After determination, its fulfillment and adaptation

have to be considered continuously [8]. The procurement of information changes its focus during the course of the development cycle [9]. It is problem-oriented in the beginning (What has to be created?), and alters to solution-oriented to the end (Does my solution fulfill all demands?). The aforementioned user profiles are also characterized by different informational needs. Additionally, the view on information is influenced by the respective task, e.g. regarding the level of detail.

The statement of requirements represents a problem regarding their qualitative documentation, especially in matters of clearness and analysis. Nowadays, the specification of requirements results still predominantly in a natural language based format. Model-based or graphic approaches are not widely distributed yet in the manufacturing domain. The application of text is linked with problems of e.g. incompleteness, inconsistency or ambiguity [10]. This restricts a computer-based processing. Additionally, the increasing product complexity affects the number of requirements and the level of interrelations. This has an aggravating influence on their processability.

The identification of relevant requirements has a positive influence on the quality of the generated results [11]. Nevertheless, the complexity of the requirements document raises the need for a specific support, as a manual analysis and processing is extremely time-consuming respectively hard to realize. This is supported by the psychological point of view. The human ability to handle a great amount of information is limited, which leads to an incomplete or reduced consideration [12]. Requirements of high quality and the opportunity of their goal-oriented processing will meet the problem of information overload and support the necessary systematic proceedings [13].

The approach to enable a supported provision of only those requirements that are relevant for a specific task leads to the objective of a flexible, task-oriented requirements filtering. The user should be able to extract requirements from a database-driven requirements document by specification of a task-specific retrieval request. Additionally, the user should be notified on relevant changes in requirement specifications to always act on the latest status of requirements. This problem entails:

- Intelligent analysis/ selection of requirements,
- Task-oriented requirements editing and processing,

- Continuous, flexible requirements management,
- Change monitoring.

The remainder of this paper will describe the conceptual approach for the task-oriented requirements management by intelligent assistance regarding requirements filtering in detail, followed by the specification of the associated agent system, and conclude with the synopsis and evaluation of the proposed concept.

2 Concept Development

The functions that will be fostered by the introduced approach focus on the coverage and control of the complexity in requirements specifications, enable an efficient search and selection of requirements, and can be flexibly and continuously adopted by users during their variable tasks. Fundamentals to this method are the semantically enhanced categorization of requirements, information model integration, and the adoption of information agents for the task-oriented analysis, filtering, and monitoring of requirements.

With reference to Belkin and Croft, the problem of information filtering can be identified as the selection of information relevant for an individual user [14]. The qualification of information agents can be gathered from the definition. Klusch characterizes an information agent as an autonomous, computational software entity that has access to one or multiple, heterogeneous and geographically distributed information sources, and which pro-actively acquires, mediates, and maintains relevant information on behalf of users or other agents preferably just-in-time [15].

The basic skills of an information agent are divided in communication, collaboration, knowledge, and low-level tasks [16]. Communication can be accomplished with information systems including databases, agents or users. The interaction respectively collaboration with users or agents can be established on higher-level. Data, information or knowledge of different formats can be processed by the information agent, including ontological knowledge, metadata, profiles and natural language. Main tasks regarding the handling of information involve its retrieval, filtering, integration and visualization. The basic skills are interrelated and form the specific capability of an information agent.

The general applicability of information agents still asks for a task-specific configuration and determination regarding agent, environment, and information basis. As mentioned before, the processing of natural language by IT-systems is limited. This includes especially the identification of relevant information. It is necessary to cope with the vagueness and complexity of semantic relations of requirements. Therefore, an enhanced organization of requirements is necessary based on a formal specification mechanism, which can be achieved by a categorization of requirements, in accordance with Gabb [3].

It is mandatory that the semantic relationships will be covered by a defined schema. By mapping of requirement contexts, the efficiency regarding their IT-supported analysis will be improved significantly. The semantic allocation of data is of high complexity and within the focus of several actual research initiatives, e.g. the developments of the Semantic Web¹ are of high importance in this area. Thereby, the integration of ontologies has been considered as formal specification mechanism. Gruber specified a commonly agreed definition, whereas an ontology is an explicit specification of a conceptualization [17]. An ontology extends the linguistic means of expression of a corresponding representation [18]. A basic product ontology refers mainly to classification systems [19]. Methods that are used by ontology integration approaches are e.g. text similarity, keyword extraction, structural analysis, and data interpretation and analysis [19].

The generation of a classification system for requirements solely realized per ontology requires immense efforts due to the existing complexity and diversity. A reduced system would limit the functionality and flexibility. Due to this fact, the integration to the standardized systems engineering reference model ISO 10303 STEP AP233 has been taken into account, pre-published as publicly available specification ISO/DRAFT-PAS 20542:2004(E) [20].

The following is within the scope of AP233:

- Products with system concept conformity,
- System definition and configuration control data pertaining to the design and the validation phases of a system's development,
- Requirements,
- Functional analysis data including functional behavior specifications,
- Physical architecture and synthesis data providing a high level view on the system under specification,
- Elements that are used to represent and trace requirements and functional allocation.

Fig. 1 shows a conceptual view of the AP233 system model in UML syntax, whereas every box represents a group of related entities. The central unit of functionality for requirements allows the integration of a classification system, besides the general representation of requirements, their interrelations and assignment to system specifications. The standard does not specify a fixed structure for requirement classification. A dynamical structure is provided instead by requirement classes and relationships. The semantics of requirement relationships will be covered by determination of explicit characteristics.

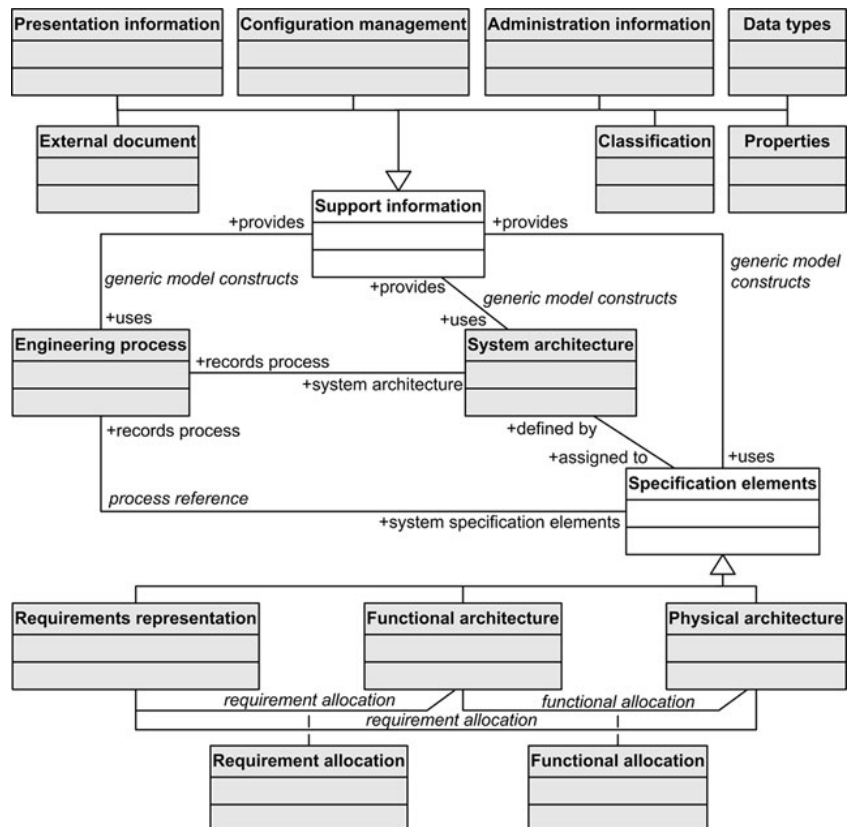


Fig. 1. Conceptual view of AP233 as described in [21]

¹see <http://www.w3.org/2001/sw/>

The proposed extension of the AP233 reference model offers a great potential, which has not been exploited before. The mature, comprehensive requirement categorization adds a fundamental, semantic component to the information model. Additionally, the direct link of classification schema, requirements specification, and furthermore other system components enables an extended, flexible, complementary arrangement including an improved processability by IT systems.

The enhanced, categorized requirements respectively the modeled system specification represents the operative basis for a task-oriented requirements management. Nevertheless, it is necessary to prepare present requirements accordingly. The defined process of a classifying formalization is responsible for the transformation and categorized organization of natural language based requirements. Fig. 2 displays the relevant steps.

Set up on a structured, interpretable information basis, intelligent algorithms can be applied to deliver better and more reliable results regarding their advanced, selective tasks. The representation of categorized requirements promotes the mapping of existing relations, derivations or subdivisions. This fulfills the premises for an assisted detailing of requirements. The user will be able to make an goal-oriented inquiry about requirements.

The lexical classification (node A1) includes the content related analysis of the natural language requirements regarding explicit characteristics. The resulting requirements model, initially extended by content-based classifications, will be completed within the following semantic classification (node A2). This step is responsible for the identification of implicit requirements characteristics and interrelations. The accordingly produced requirements model fulfills every qualification for a user initiated, intelligent assisted requirements analysis and selection (node A4). The entire process delivers filtered requirements as result, subject to a specified inquiry. The output will be presented to the user in the form of partial requirements lists.

The process of the classifying formalization can be optionally extended by application of an enhanced requirements formalization (node A3) according to Heimannsfeld [10]. This formalization is responsible for the transformation of natural language based requirements to a model based representation by

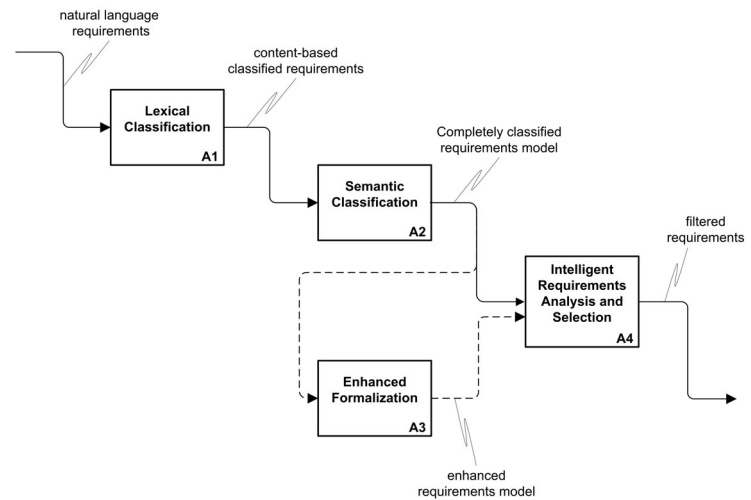


Fig. 2. Requirements formalization and analysis process

systematic identification of linguistic and grammatical elements. The extensive generation of a formally enhanced requirements model promises improvements regarding the outcome of analyses and more precise information on details. Such specific type of information is not primarily in the focus of the aforementioned user profiles. Thus, it has to be balanced if the extra effort is reasonable.

Nevertheless, the standardized, model-based approach of the concept allows a variable, scalable implementation depending on respective needs. It should be noted, that the tasks of nodes A1 to A3 are carried out by human interaction, usually by the system analyst. These tasks require in-depth knowledge that is so far not reproducible or deducible by current IT systems. The system of information agents is responsible for the filtering of accordingly organized requirements. The design of an exemplary agent system for the realization of the proposed approach will be described in detail in the following section.

3 Agent System

The accomplishment of complex tasks regarding filtering, monitoring, and management of complex, numerous requirement specifications comprises the core functionality that has to be covered by the agent system. The systematic methodology according to [22] was chosen for the applied system development. This approach aims for the use of the JADE (Java Agent DEvelopment framework) platform in particular, including their inherent agent management concepts. JADE is a software frame-

work by TILAB² (Telecom Italia Lab) incorporating Java technologies. The enclosed middle-ware complies with the FIPA³ (Foundation for Intelligent Physical Agents) guidelines and supports the implementation and control of the agent system by provision of a basic agent architecture.

The modeling of the use case for the task-oriented requirements management and the systematic analysis of necessary agent tasks, interaction, and behavior based thereon resulted in the determination of four agent types. Thereby, security issues have not been considered, as well as agents for the general agent management non-specific to the problem. The overall concept of the system is displayed in Fig. 3.

Besides the agent types indicated by the circle, the aforementioned user profiles indicated by the actor symbol and three external resources indicated by the rectangle belong to the system. Acquaintances of components that require an interaction during execution are represented by the double-headed arrow.

The users of the system initiate the task-specific requirements retrieval by specification of search attributes and consideration of user related preferences. The agent system autonomously works off the request. The database of the requirement model constitutes the central information basis. Additionally, information on the user profiles will be managed and maintained in a database. The change management component is responsible for the system monitoring.

The Filter Agent takes on the interface function among user and system components. It represents the central point of organization and coordination of the task-oriented requirements filtering. Based on the conveyed search criteria specified by a request and extended by general user preferences, relevant categories, attributes or model elements have to be identified and analyzed for the requirements selection. The determination results in the transfer of partial, goal-oriented search requests to a Provider Agent. The returned values of the multiple queries have to be correlated regarding e.g. relevance, re-

dundancy or consistency. The disclosure of ambiguous or incomplete results will cause renewed queries. The filtered requirements will be presented to the user with finalization of the query. A user related rating of filtered requirements regarding relevance optimizes further filtering processes. Query and result will be stored in the user profile indexed-based to enable traceability regarding updating.

The Provider Agent establishes the connection to the classified requirements model. The main task is to answer the queries. The Provider Agent directs the query to the database. Furthermore, it is able to perform task-oriented analyses of query and selected requirement attributes on his own and to activate specific sub-retrievals. This enables among others an additional tracing of structural requirements regarding insufficient classification, an extended examination of interface specifications, or an identification of relevant relations.

The Profile Agent represents the interface to the master data of the user profiles. This agent type coordinates the user related information management. This includes the allocation of the user profile at login, maintenance of user preferences and properties, and securing of indexed queries. In addition, requests from Filter Agent or Control Agent have to be served.

The Control Agent is responsible for the change monitoring of requirements. The completion of requirement adjustments will be registered based on a change management. Possible approaches are the setting of a change flag or the continuous surveillance. The notification process will be initiated autonomously. This incorporates the investigation of persons that have to be notified on a modification on the basis of stored query indexes or assigned person attributes. An identification causes a notifi-

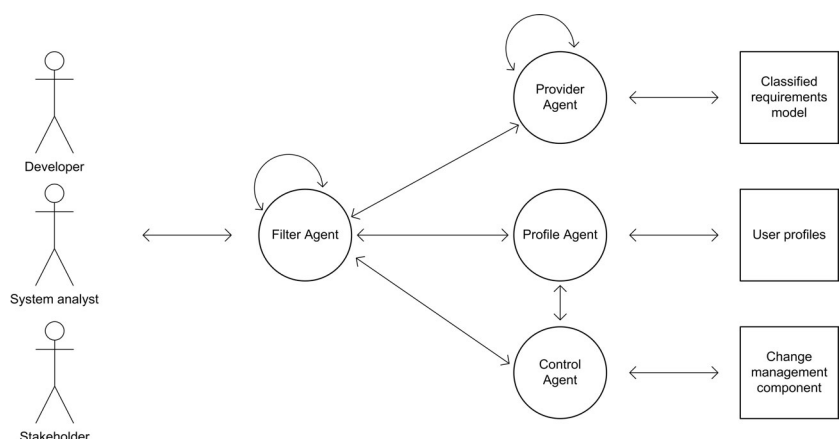


Fig. 3. Schema of the agent system

2 <http://jade.tilab.com/>

3 <http://www.fipa.org/>

cation (e.g. news service, email) of the respective person, inclusive the transmission of the updated requirement. It will be possible to transfer directly the requirement to the task-oriented portfolio including an update of the linked query index, or to start another query.

The filtering of requirements is a complex, iterative process. Due to the variety of attributes that have to be investigated, it is not possible to realize it by only one, combined query, even by categorized requirements. This is another argument for the application of information agents. Filter Agent and Provider Agent are mainly responsible for the proactive generation of partial queries by their agent types, which can be identified by the self-referencing arrows in Fig. 3. The system conception needs some more detailing, e.g. regarding definition of explicit behaviors or interaction patterns, but this should be out of the scope of this paper.

An exemplary architecture for the agent system will be presented below. The main components can be divided in the system for an IT-based requirements engineering and management, the agent platform and the user interface, as displayed in Fig. 4. The proposed architecture still features degrees of freedom regarding the implementation.

The requirements management system (e.g. Doors XT⁴) is the central application for the documentation and organization of requirements. The specified information model has to be supported, e.g. per configured interface for the data exchange. The model-based classification and transformation of natural language based requirements can be realized by functional integration or by linking to an external system, which is the preferred solution. Such a system has been developed within the European

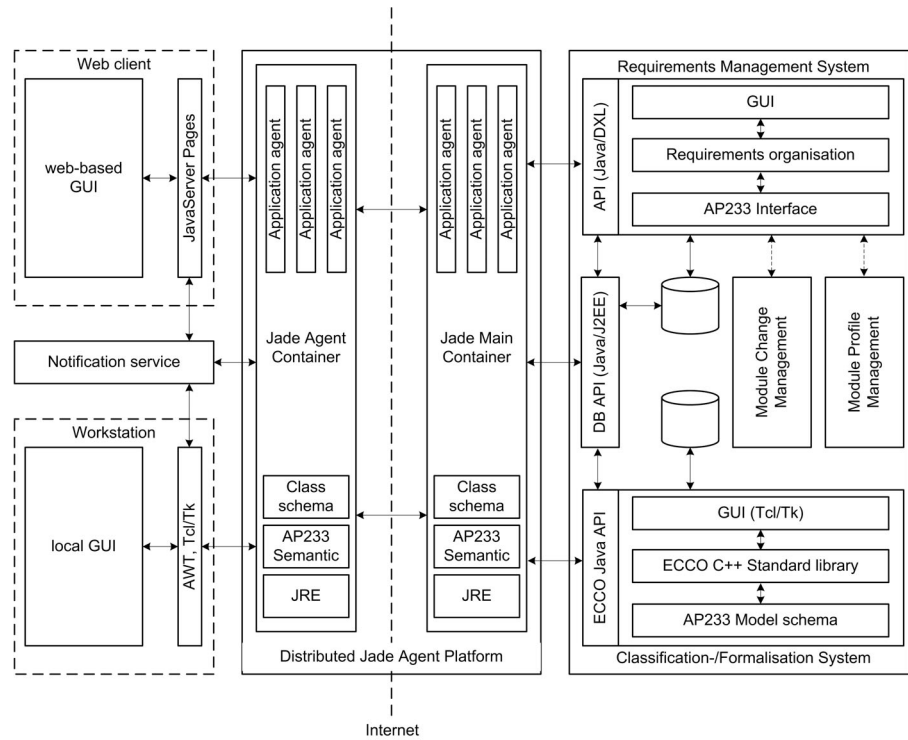


Fig. 4. Conceptual architecture

research project KARE⁵ and can be integrated by simple extension regarding the categorization. The tool *demanda II* is based on an ECCO C++ standard library as application instance, generated by the ECCO Toolkit⁶ of PDTEC GmbH. Additionally, the modules of change and user profile management have to be integrated. The provided APIs can be used for the access by the information agents.

The agent system performs the analysis and filtering of requirements as well as their monitoring. The decision for the Jade platform has been justified before. The initialization of the platform incorporates the immediate generation and establishment of the default administrative components. The Jade platform is not restricted to only one host, as can be gathered from Fig. 4. The distributed execution is based on an application instance in form of the Java Virtual Machine (JVM). Each JVM corresponds to one agent container per host with a functional run-time environment for a parallel implementation. The task-specific customization of the agent environment is only necessary for the communication and behavioral patterns of the application agents, as well as the interface functionality. Every container based on a Java run-time environ-

5 KARE - Knowledge Acquisition and sharing for Requirement Engineering, EU ESPRIT No. 28916, 1998 - 2001, <http://www2.imw.tu-clausthal.de/kare>

6 <http://www.pdtec.de>

4 <http://www.telelogic.com/index.cfm?>

ment (JRE) features the defined application agents with underlying class schema and AP233 semantics.

The general utilization of the system in terms of selected requirements retrieval and change information service will be handled by the user component of the system. This constitutes the main interface visible for the common user, which is responsible for the behavior controlling interaction of agent system and user. Thereby, it is possible to implement the graphical user interface (GUI) as local application on a workstation or web-based via a web client using a standard internet browser. The realization is supported by appropriate programming languages, such as Tcl/Tk or Java. It is not necessary to force an integration to the requirements management system, as the overlap within the user groups has to be assumed small. This should be considered only with respect to further developments of distributed requirements management solutions. The main focus of the development for this component is on the interface specification. The exemplary implementation uses JavaServer Pages technologies for the web-based solution respectively Tcl/Tk or the Abstract Window Toolkit⁷ (AWT) for the machine-based approach. Nevertheless, the web-based approach will be favored with respect to best possible extensibility and connectivity to further agent systems. Additionally, possible mobile solutions will be supported. The notification service is a relevant feature of the user component. Possible solutions are email or news service, as mentioned before.

4 Conclusion

The conception of a system for a task-oriented filtering and provision of complex requirement specifications has been introduced in this paper. The realization of the approach will be achieved by comprehensive categorization of requirements, incorporating important semantic aspects, to provide a computer-interpretable information basis. On this groundwork, an agent-based filtering and monitoring of requirements is applicable to assist the user in his tasks by an easier, advanced and timesaving information management. The optimized, flexible and individually oriented processability of complex requirement structures improves their integration

⁷ AWT in combination with Swing offers a class library for the Java related GUI programming

and consideration during the system respectively product development. The system concept supports also the general accessibility of requirement specifications by all persons involved in modern, distributed development environments. The application of the approach will lead to a mature, efficient and less defective product development.

The detailed investigation of the task-oriented requirements management is presented in [23]. The relevance of the concept has been verified with the help of three case studies from different industrial areas. The characteristic activities of a task-oriented requirement categorization, their intelligent filtering, as well as the value-added, practical integration in the development process have been demonstrated. It is possible to master the complexity of requirements by semantically enhanced, categorized structures and hence intelligent interpretation. The integration of the approach can be achieved without major efforts, as just the requirements engineering process has to be adapted regarding the categorization. A domain-specific customization is recommended as well as the statement of guidelines, e.g. regarding scope and preciseness. The extent of the implemented categorization and the quality of the enquiry affect fundamentally the relevance of the results.

5 Acknowledgment

The Institute of Mechanical Engineering, Clausthal University of Technology, is partner of the EU-funded FP6 Innovative Production Machines and Systems (I*PROMS) Network of Excellence which is funded by the European Commission under the Sixth Framework Programme (FP6-500273-2). The author would like to thank the Commission and the partners of the I*PROMS Network of Excellence for their motivation, contribution and support.

6 References

- [1] A. Radon, "Enabling innovation - integrating process," editorial, Produktdaten Journal, vol. 13, no. 1, ProStep iViP e.V., Darmstadt, July 2006, p. 3
- [2] U. Lindemann, "Methodische Entwicklung technischer Produkte - Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden," ISBN 3-540-14041-7, Springer Verlag Berlin et al., 2005
- [3] A. Gabb (Ed.), "Requirement categorization," Requirements Working Group of the International Council on Systems Engineering, INCOSE, 04 February 2001

- [4] G. Pahl, W. Beitz, "Engineering design - a systematic approach," ISBN 3-540-19917-9, Springer Verlag Berlin et al., 1996
- [5] R. Zuest, "Einstieg ins Systems Engineering - systematisch denken, handeln und umsetzen," ISBN 3-85743-990-4, Verlag Industrielle Organisation, Zurich, 1997
- [6] VDI 2221, "Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte," VDI Verlag, Dusseldorf, 1993
- [7] VDI 2206, "Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme," VDI Verlag, Dusseldorf, 2003
- [8] N. Dylla, "Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren," ISBN 3-446-16327-1, Hanser Verlag Munich, 1990
- [9] W. Daenzer, "Systems Engineering - Leitfaden zur methodischen Durchfuehrung umfangreicher Planungsvorhaben," ISBN 3-85743-833-9, Verlag Industrielle Organisation, Zurich, 2nd ed., 1978/79
- [10] K. Heimannsfeld, "Modellbasierte Anforderungen in der Produkt- und Systementwicklung: Von Dokumenten zu Modellen," ISBN 3-8265-9277-8, Shaker-Verlag, Aachen, 2001
- [11] J. Günther, "Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess - Eine empirische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Konstrukteuren aus der Praxis," Shaker Verlag, Aachen, 1998
- [12] G. Fricke, "Konstruieren als flexibler Problemlöseprozess - Empirische Untersuchungen ueber erfolgreiche Strategien und methodische Vorgehensweisen beim Konstruieren," VDI-Verlag, Dusseldorf, 1993
- [13] P. Badke-Schaub, E. Frankenberger, "Management kritischer Situationen - Produktentwicklung erfolgreich gestalten," ISBN 3-540-43175-6, Springer Verlag Berlin et al., 2004
- [14] H. Sevay, C. Tsatsoulis, "Agent-based intelligent information dissemination in dynamically changing environments," in Intelligent Agents and their Applications, Jain, Chen, Ichalkaranje (eds.), ISBN 3-7908-1469-5, Physica-Verlag Heidelberg et al., 2002, pp. 1-26
- [15] M. Klusch, Information Agent Technology for the Internet: A Survey, Journal Data and Knowledge Engineering, special edition Intelligent Information Integration, Fensel (ed.), vol. 36(3), Elsevier Science, 2001
- [16] M. Klusch, H.-J. Buerckert, P. Funk, A. Gerber, C. Russ, Applications of Information Agent Systems, Intelligent agents and their applications, Jain, Chen, Ichalkaranje (eds.), ISBN 3-7908-1469-5, Physica-Verlag Heidelberg et al., 2002, pp. 217-248
- [17] T. Gruber, "Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing," technical report KSL 93-04, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 2003
- [18] Y. Alan, "Integrative Modellierung kooperativer Informationssysteme - Ein Konzept auf der Basis von Ontologien und Petri-Netzen," University Duisburg-Essen, Essen, 2005
- [19] S. Abels, L. Haak, A. Hahn, "Identifying ontology integration methods and their applicability in the context of product classification and knowledge integration tasks," report no. WI-OL-TR-01-2005, ISSN 1861-3748, University of Oldenburg, Business Information Systems, 2005
- [20] International Standardization Organization, ISO TC184/SC4/WG3 N1355, ISO/DRAFT-PAS 20542:2004(E) Industrial automation systems and integration - reference model for systems engineering, 2004, <http://www.tc184-sc4.org/sc4ndocs/n1740/>
- [21] E. Herzog, A. Toerne, "AP-233 architecture," proceedings INCOSE 2000, 10th annual international symposium of the International Council on Systems Engineering, pp. 815-822
- [22] M. Nikraz, G. Caire, P. Bahri, "A methodology for the analysis and design of multi-agent systems using JADE," http://jade.tilab.com/doc/JADE_methodology_website_version.pdf, 2006
- [23] D. Mueller, "Intelligente Unterstuetzung für ein aufgabenorientiertes Anforderungsmanagement in der Integrierten Produktentwicklung," PH.D. thesis, Clausthal University of Technology, unpublished

Innovation mit Normen und Standards

Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards

Bormann, E.; Kramer, W.; Müller, N.

Unterstützt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technik (BMWi) hat das Deutsche Institut für Normung (DIN) im Rahmen des Projekts „Innovation mit Normen und Standard (INS)“ drei Basisuntersuchungen vergeben. Das Institut für Maschinenwesen (IMW) ist mit einer dieser drei Basisuntersuchungen betraut und befasst sich mit dem Aspekt des Marktzugangs und der Marktzulassung mittels Normen und Standards.

In the context of the project “Innovation mit Normen und Standards” (Innovation with standards) which is supported by the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), the German Institute for Standardization (DIN) remitted three basis investigations. As one of these investigations the Institute for Mechanical Engineering (IMW) is assigned to the aspect of the access and the permission to the market by means of standards.

1 Innovation mit Normen und Standards

Die Kernaufgabe der Normung ist in den letzten Jahren durch schnelle Innovation deutlich erweitert worden /1/. Dazu zählt, dass Normung und Standardisierung als Maßnahmen der Umsetzung von Forschungsergebnissen und des Technologietransfers zunehmend an Bedeutung gewinnen und damit Unternehmen Wettbewerbsvorteile verschaffen können /2/. Die Bundesregierung hat dies erkannt, eines ihrer Ziele ist es daher, das Potenzial, das Normen zur Unterstützung staatlicher Regelungen bieten, stärker zu nutzen. Ein weiteres Ziel ist die bessere Nutzung von Normen und Standards durch Wirtschaft und Wissenschaft.

Um das Thema Forschung und Innovation stärker mit der Normung zu verzahnen unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Technik (BMWi) das Projekt „Innovation mit Normen und Standards (INS)“. Ziel ist es, Innovationen der Zukunft optimale Rahmenbedingungen zu bieten und ihre Marktfähigkeit durch Normen und Standards zu fördern /2/. Im Rahmen dieses Projekts hat das DIN u.a. drei Basisuntersuchungen vergeben:

- Identifikation zukünftiger Normungsfelder
- Systematische Entwicklung erfolgreicher Standardisierung
- Marktzugang und Marktzulassung mittels Normen und Standards

Das Institut für Maschinenwesen ist mit der Untersuchung der Bedeutung von Normen und Standards im Umfeld des Marktzugangs und der Marktzulassung betraut.

2 Marktzugang und Marktzulassung mit Normen und Standards

In fast allen Branchen haben die unterschiedlichsten Normen und Standards Einfluss auf die Innovationen und innerbetrieblichen Abläufe /2/. Der eigentliche Nutzen der Normung für ein Unternehmen ist jedoch nur schwer zu identifizieren und aufzuzeigen. Ein Ansatz, den unternehmerischen sowie den volkswirtschaftlichen Nutzen der Normung zu beziffern, wurde bereits in der im Jahr 2000 veröffentlichten Studie „Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Normung“ /3/ gemacht.

Ziel der nun durchzuführenden Untersuchung ist es, die Bedeutung von Normen und Standards für den Marktzugang und die Marktzulassung zu ermitteln und den Nutzen der Normung sowohl für Handelsbeziehungen von Unternehmen als auch für innerbetriebliche Abläufe aufzuzeigen. Die Untersuchung soll in Unternehmen ausgewählter Branchen differenziert nach Klein-, Mittel- und Großunternehmen durchgeführt werden. Weiterhin ist danach zu unterscheiden, ob das jeweilige Unternehmen Normungskompetenz hat - d. h. es beteiligt sich beispielsweise durch Gremienarbeit aktiv an der Normung - oder nicht.

Insbesondere soll die Bedeutung branchenübergreifender Normen und Standards für die Industrie ermittelt werden. Es soll untersucht werden inwieweit Normen und Standards die Informationsgewinnung über Exportmärkte unterstützen können. Des Weiteren gilt herauszufinden, wie sie zur Erschließung innovativer Märkte beitragen und somit die Innovationskraft in Unternehmen fördern bzw. sichern können. Als weiterer Aspekt ist zu betrach-





Bild 1 Fragestellungen aus dem Projekt

ten, wie Normen in Ausschreibungen herangezogen werden um diese zu vereinfachen und transparenter zu machen.

Im Bereich des Marktzugangs ist zu ermitteln, wie Normen und Standards bei Problemstellungen wie Haftungsfragen und der Verkehrssicherungspflicht unterstützend wirken können und wie sie im Handel und Geschäftsverkehr als Informationsquelle - beispielsweise für Werbezwecke - genutzt werden.

Die Beantwortung der sich hieraus ergebenden Fragestellungen (Bild 1), soll Erkenntnisse zur Anwendung von Normen in nationalen und internationalen Handelsbeziehungen, in gesetzlichen Regelungen sowie allgemein zur Bedeutung von Normen und Standards für den Marktzugang und die Marktzulassung bringen:

- Wie beeinflussen Normen und Standards die Beziehungen zwischen Unternehmen und Zulieferern?
- Wie erhalten Unternehmen mit neuen Produkten Zugang zum Markt und wie ist dabei der Einfluss der Normen zu sehen?
- Inwieweit haben nationale und internationale Normen Gesetzesrelevanz?
- Wie ist der Einfluss der Marktzulassungspflicht auf den Marktzugang?
- Inwieweit werden betriebliche Abläufe durch Normung/Standardisierung verbessert?
- Wie verändern Normen/Standards die Transparenz des Wettbewerbs?
- Wie und wieweit werden Normen/Standards für Werbung und Marketing genutzt?

Um den Einfluss von Normen in unternehmensübergreifenden Beziehungen zu ergründen, werden zwei Fallbeispiele betrachtet. Das Top-Down-Beispiel (Bild 2) beleuchtet den Einfluss von Normen für die Beziehung zwischen Unternehmen und Zulieferern. Das Bottom-Up-Beispiel (Bild 3) soll verdeutlichen, wie Unternehmen mit innovativen Produkten Zugang zum Markt erhalten.

Normen haben beispielsweise im Zusammenhang mit der CE-Kennzeichnung und der daraus folgenden Pflicht die Konformität der Produkte mit den jeweils geltenden Richtlinien zu überprüfen. Gesetzesrelevanz. Dieses und weitere Beispiele, zur Verankerung von Normen und Standards in Gesetzen, sowie die Auswirkungen von Normen bei Haftungsfragen, gilt es zu untersuchen.

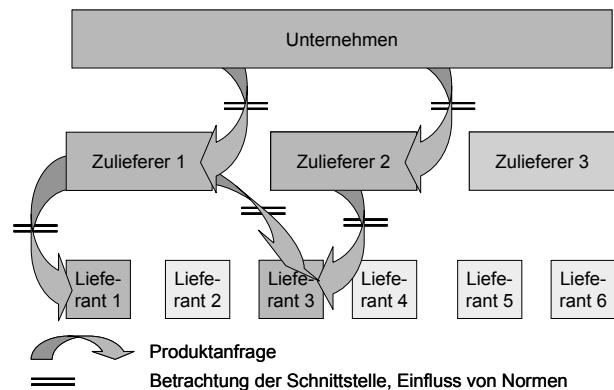


Bild 2 Fallbeispiel 1: Top-Down

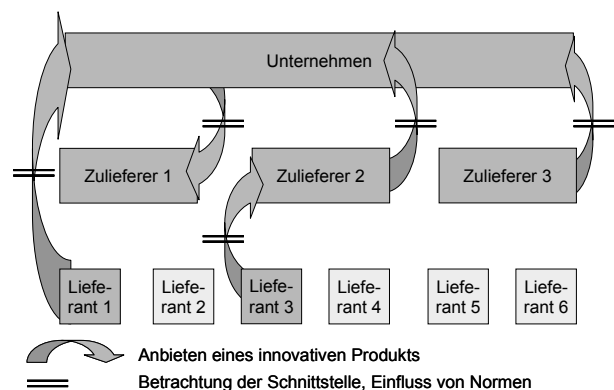


Bild 3 Fallbeispiel 2: Bottom-Up

Die Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen kann Voraussetzung für die Marktzulassung sein. Dies gilt insbesondere für Produkte, die einen Einfluss auf die Sicherheit und Gesundheit von Menschen oder den Umweltschutz haben. Inwieweit Normen und Standards hierfür als Grundlage herangezogen, bzw. erarbeitet werden, ist zu ermitteln.

Ein Beispiel, für einen transparenteren Wettbewerb kann die Forderung expliziter Normen in Ausschreibungen sein. Die Untersuchung der Anwendung von Normen und Standards in Ausschreibungen ist daher ebenfalls Bestandteil dieses Projekts.

men und Standards in Ausschreibungen und zu ihrer Bedeutung in Haftungsfragen bringen, zum anderen sollen durch sie aus Internet und Literatur bekannte Beispiele zur Bedeutung von Normen und Standards in unternehmensübergreifenden Beziehungen (Fallbeispiele Top-Down und Bottom-Up) ergänzt, sowie die Sammlung sinnvoller Fragen für die umfassende Unternehmensumfrage unterstützt werden.

Die Ergebnisse der Experteninterviews werden am Ende des Jahres gemeinsam mit den Fallbeispiel und dem Entwurf eines Fragebogens in einem Be-

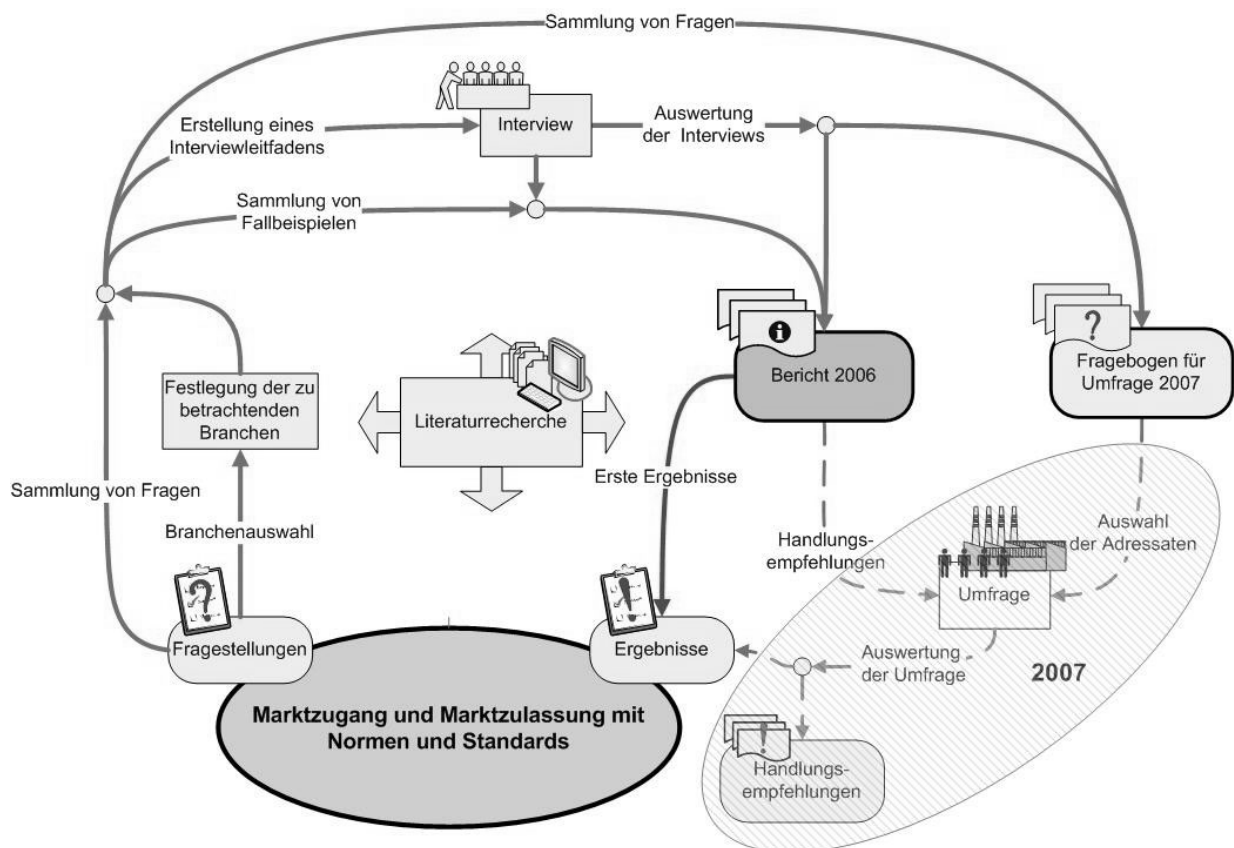


Bild 4 Konzept der Untersuchung

Zur Ermittlung der Bedeutung von Normen und Standards für den Marktzugang und die Marktzulassung ist im Hintergrund eine umfangreiche Literaturrecherche notwendig (vgl. Bild 4). Ziel ist die Erstellung eines Fragebogens für eine umfassende Unternehmensumfrage im Jahr 2007. Parallel zur Sammlung von Fragen für diese Umfrage werden Branchen - überwiegend aus dem technischen Bereich - ausgewählt, die im Rahmen der Untersuchung betrachtet werden sollen und es wird ein Leitfaden für Experteninterviews mit Vertretern dieser Branchen erstellt.

Die Auswertung der Experteninterviews soll zum einen erste Erkenntnisse zur Anwendung von Nor-

richt zusammengefasst. Dieser Bericht wird darüber hinaus Handlungsempfehlungen für weitere Untersuchungen beinhalten.

3 Literatur

- /1/ N, N.: Innovation mit Normen und Standards (INS), Aufgabengebiet; www.ins.din.de
- /2/ Behrens, H.: Normung als Beitrag zur Innovation, Innovation mit Normen und Standards; DIN Mitteilungen Nr. 10/2006, Beuth Verlag, Berlin 2006
- /3/ DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Normung; Beuth Verlag, Berlin 2000

Schallintensitätsmessung zur Ermittlung von Einzelschallquellen

Bormann, E; Dietz, P; Esderts, A

Viele Radfahrer klagen über sogenannte Knackgeräusche im Fahrradrahmen bei Belastung. Um die Ursache dieser Geräusche zu ermitteln, ist es nötig den genauen Ort ihrer Entstehung festzustellen. Mit Hilfe einer Schallintensitätsmessung soll dieser Ort lokalisiert werden.

Many cyclists complain about pops in bicycle frames during load. In order to determine the cause of these noises, it is necessary to detect the exact position of their appearance. The place is to be located with the help of sound intensity measurement.

1 Einleitung

Im Rahmen einer an den Instituten IMAB und IMW erstellten Diplomarbeit /1/ über die Geräuschkentwicklung im Aluminium-Fahrradrahmen bei Belastung, wurden mit der am IMW vorhandenen Technik, Messungen zur Schallintensität durchgeführt. Es sollte eine Schallquelle im Bereich des Steuerkopfes des Fahrradrahmens ermittelt werden, die bei Belastung des Rahmens durch den so genannten Wiegetritt auftritt. Beim Wiegetritt erhebt sich der Fahrer aus dem Sattel und fährt „im Stehen“, was zu einer Verwindung des Rahmens führt.

1.1 Prüfmethode Schallintensitätsmessung

Die Intensität ist keine Messgröße, sondern muss in Echtzeit aus den gemessenen Drücken eines speziellen Mikrofonpaares errechnet werden /2/.

Einführung: Die Schallintensität ist eine vektorielle Größe aus dem skalaren Druck und der vektoriellen Schallschnelle:

$$\vec{I} = p * \vec{v} \quad \text{Gl. (1)}$$

Sie beschreibt die transportierte Schalleistung (Wirkleistung) durch ein Flächenelement:

$$I = \frac{\text{Schalleistung}}{\text{Fläche}} \quad \text{Gl. (2)}$$

Die Schalleistung ist die Energie pro Zeiteinheit (z.B. einer Maschine), die in Schallenergie umgesetzt wird. Die Schallintensität beschreibt den Energiefluss pro Zeiteinheit durch ein senkrecht zum Intensitätsvektor gedachtes Flächenelement. Da die

Leistung die Einheit Watt besitzt, hat die Schallintensität die Einheit W/m^2 .

Im Freifeld ist der Betrag der Intensität gleich dem Quadrat des Effektivschalldruckes dividiert durch die Schallkennimpedanz:

$$|I| = \frac{p_{eff}^2}{\rho * c} \quad \text{Gl. (3)}$$

D.h. im Freifeld kann die Schallintensität auch über Schalldruckmessungen ermittelt werden. Im Fernfeld eines Freifeldes sind der Schalldruck und der Schallintensitätspegel gleich groß.

Prinzip: Das Prinzip der Messung der Schallintensität mit einer Sonde, die aus einem Paar Mikrofonen besteht, zeigt **Bild 1**. Dabei wird der für die Berechnung des Schallschnellektors notwendige Gradient des Druckes aus Gl. (1) als Differenz der Drücke an den beiden Mikrofonen im festen Abstand Δr näherungsweise dargestellt. Statt des Druckes, wie in Gl. (4) beschrieben, wird der Mittelwert der Drücke verwendet.

$$I_r = \overline{p(t) * v_r(t)} \quad \text{Gl. (4)}$$

Die Schallintensität in Richtung „r“ wird mit zwei eng benachbarten Mikrofonen gemessen.

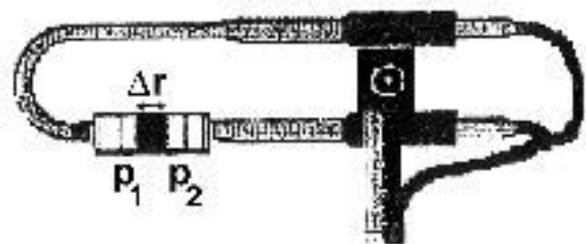


Bild 1: Prinzip der Messung der Schallintensität mit Hilfe zweier Mikrofone mit definiertem Abstand

Der mittlere Schalldruck wird bestimmt:

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2} \quad \text{Gl. (5)}$$

Die mittlere Partikelgeschwindigkeit wird bestimmt:

$$v = -\frac{1}{\rho} \int \frac{p_1 - p_2}{\Delta r} dt \quad \text{Gl. (6)}$$

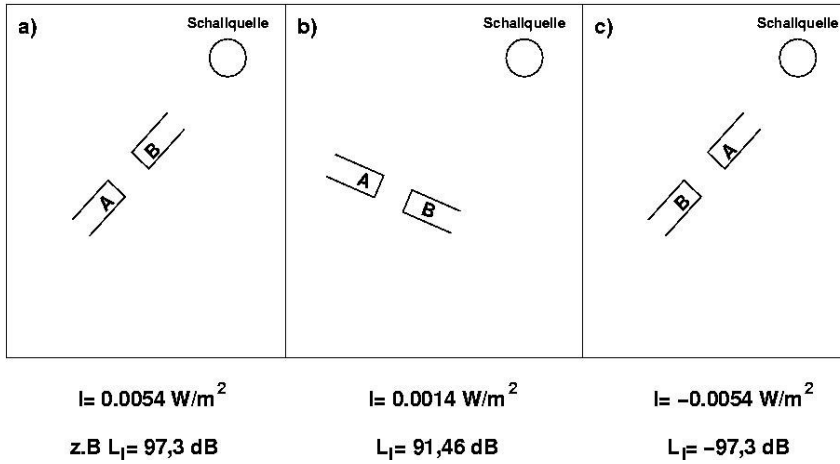


Bild 2: Abhängigkeit der Messergebnisse von der Ausrichtung der Schallintensitätssonde zur Schallquelle /2/

Die Schallintensität ergibt sich:

$$I = -\frac{p_1 + p_2}{2\rho\Delta r} \int (p_1 - p_2) dt \quad \text{Gl. (7)}$$

Bei sehr hohen und sehr niedrigen Frequenzen der Schallquelle können Fehler bei der Messung auftreten, da je nach Abstand der Mikrofone voneinander hohe oder tiefe Frequenzen nicht richtig erkannt werden.

Die Messungen werden nach DIN EN ISO 9614-1 /3/ durchgeführt. Zur Verminderung des Mess- und Rechenaufwandes wird von der in 3.13 der Norm beschriebenen Definition „stationäres Signal“ abgewichen.

Es werden nicht die dort angegebenen 10 Zyklen zur Mittelungsdauer herangezogen, sondern nur 5-6 Zyklen. Auch mit der verringerten Zyklenzahl lässt sich ein aussagekräftiges Ergebnis erzielen.

Nach /2/ haben zwei Schalldruckmikrofone eine ausgeprägte Richtwirkung. Trifft der Schall z.B. direkt in Richtung der Sondenachse auf, **Bild 2a)**,

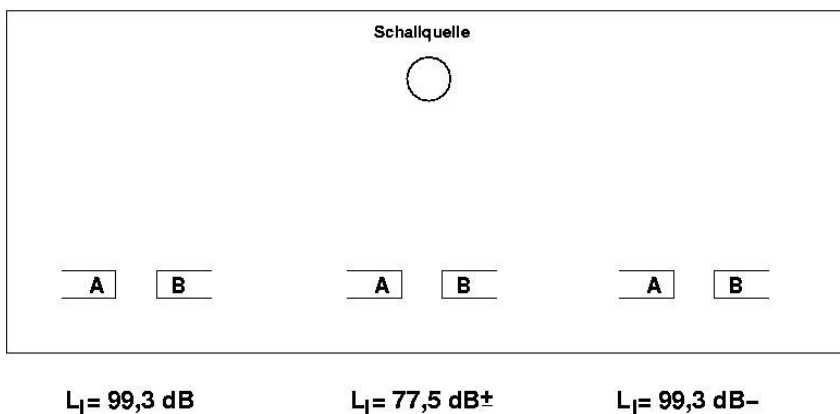


Bild 3: Vorzeichenwechsel und Änderung des Pegels bei der Ortung von Einzelquellen mit einer Schallintensitätssonde /2/

dann ist die Druckdifferenz $p_B - p_A$ (entspricht auch $p_2 - p_1$) am größten. Sehr viel kleiner ist sie bei einem Winkel von z.B. 75° , **Bild 2b)**, da beide Mikrofone fast dem gleichen Schalldrucksignal ausgesetzt sind. Bringt man die Schallquelle auf die andere Seite der Sondenachse, dann wechselt die Druckdifferenz $p_A - p_B$ und damit auch der gemessene Schallintensitätsvektor das Vorzeichen, **Bild 2c)**.

Zur Ermittlung von Einzelschallquellen wird die Sonde in einer Ebene parallel zum Fahrradrahmen an verschiedene Messpunkte eines Messgitters geführt. Bei direkter Berechnung und Darstellung der Pegelanzeige der Schallintensitätssonde kann man aus der Größe des Pegels schließen, ob man sich der Schallquelle nähert oder von ihr entfernt, **Bild 3**.

Bei der verwendeten Messsonde G.R.A.S. 50AI /4/ wird die Schallintensität erst am Computer berechnet, so dass eine Aussage über den Ort der Schallquelle nicht online bei der Messung möglich ist.

1.2 Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Halterung für den Fahrradrahmen, dem Fahrradrahmen selbst, der Schallintensitätssonde und einem Stativ dafür. Die Messdaten werden über das Power Modul an einen Signalanalysator weitergeleitet, der von einem Laptop aus gesteuert wird. Die Daten werden auf dem Analysator und dem Laptop zwischengespeichert, **Bild 4**.

Die Daten werden später auf einen PC übertragen und dort mit den Programmen NVGate und MEScope weiterbearbeitet und ausgewertet.

Es wird mit einer Messsonde der Firma G.R.A.S. Typ 50AI gemessen, die auf ein Fotostativ gesetzt ist. Sie wird je nach Versuchsplan an einem zwei- oder dreidimensionalen Messgitter ausgerichtet. Die Messsonde besteht aus zwei gegenüberliegenden Mikrofonen, die von ei-

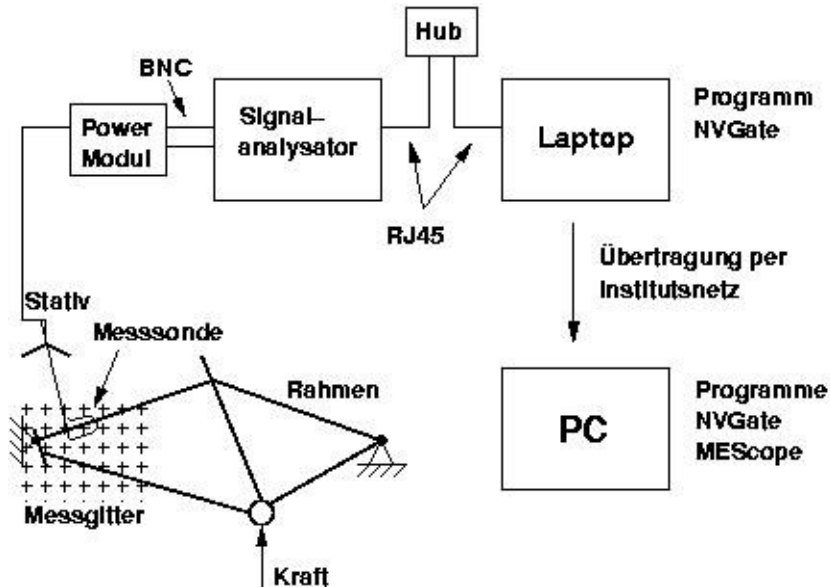


Bild 4: Prinzipieller Versuchsaufbau

nem Spacer (Abstandshalter) auf einem definierten Abstand zueinander gehalten werden. An die Mikrofone werden Adapter geschraubt, in die 2 Kabel mit Vorverstärkern geschraubt sind. Die beiden Kabel führen zur Halterung der Messsonde und gehen dort als Kanal A und B ein, **Bild 5**.

Das Messsignal geht über die Stromversorgung der Messsonde per BNC-Kabel an einen Signalanalysator der Firma Oros Typ OR3x. Der Analysator wird per RJ45 Kabel über einen Hub von einem Laptop gesteuert, auf dem das Programm NVGate 2.2 der Firma Oros läuft. NVGate zeichnet über der Zeit den Schalldruck der beiden Mikrofone in Pascal auf.

Durch Belastung des Rahmens im Tretlager entstehen Knackgeräusche im Bereich des Steuerkopfes. Für jeden Punkt des Messgitters wird eine Messung durchgeführt, bei der mindestens fünf Knackgeräusche aufgezeichnet werden. Die Umpositionierung der Messsonde erfolgt nach einem

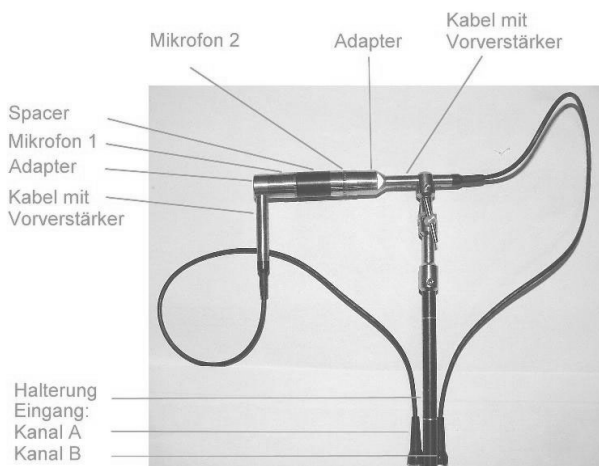


Bild 5: G.R.A.S. Messsonde

vorher festgelegten Versuchsplan.

1.3 Verarbeitung der Messdaten

NVGate speichert jeweils die Dateien einer Messung in einem eigenen Verzeichnis, die gesammelten Verzeichnisse einer Messreihe werden vom Laptop an einen PC zur Weiterbearbeitung übertragen. **Bild 6** zeigt das Messsignal der beiden Mikrofone der Schallintensitätssonde, gut zu erkennen sind die Spitzen, wenn ein Knacken im Rahmen auftritt.

Mit NVGate wird zusätzlich eine Fast Fourier Transformation (FFT) von den Messsignalen durchgeführt, die Auskunft

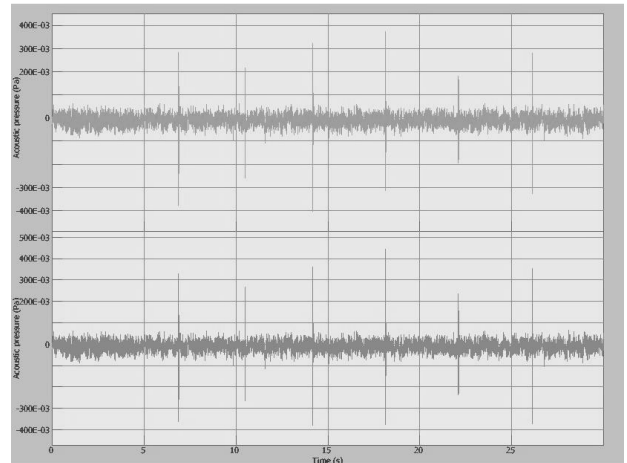


Bild 6: Mit NVGate aufgezeichnetes Messsignal der zwei Mikrofone der Sonde; Druck in Pascal über der Zeit

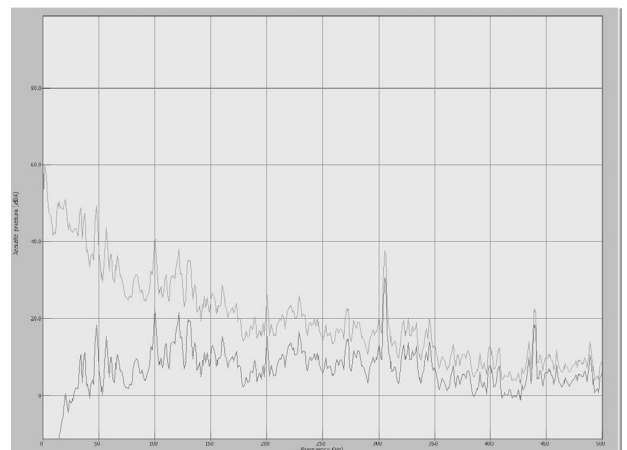


Bild 7: FFT (oben) und A-Bewertung (unten) der Knackgeräusche und des Hintergrundrauschens; Druck in dBA über der Frequenz

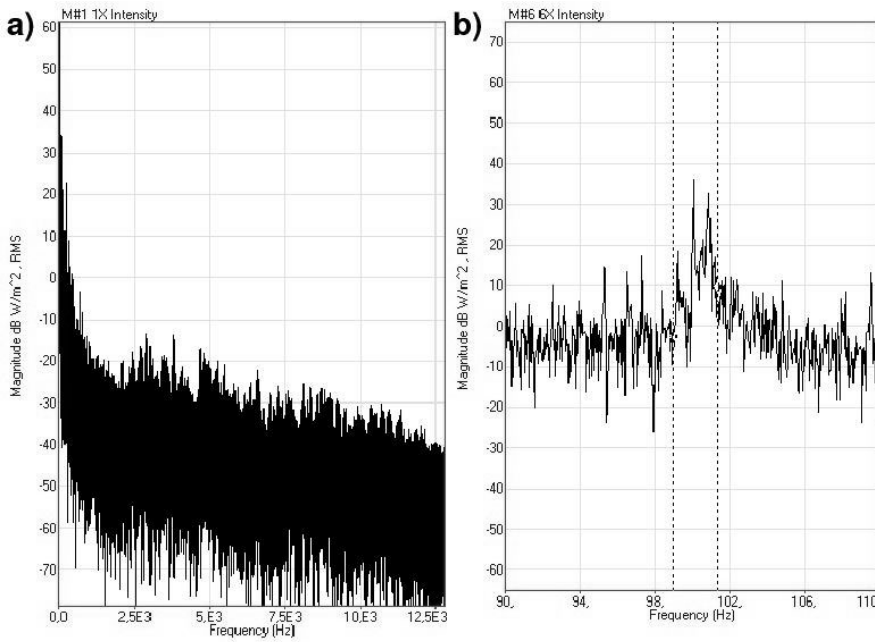


Bild 8: Berechnete Intensität: a) für Messpunkt 1 über das gesamte Frequenzspektrum; b) für Messpunkt 6 von 90 Hz - 110 Hz

darüber geben soll, bei welchen Frequenzen die Mikrofone die größte Lautstärke messen, **Bild 7**. Es wird außerdem eine A-Bewertung /5/ der FFT dargestellt, die zeigt, welche Frequenzen das menschliche Ohr am lautesten wahrnimmt.

Die Messsignale werden einzeln als .UFF (Universal File Format) Datei aus NVGate exportiert. Die .UFF Dateien werden gesammelt in das Programm MEScope Version 3.0.0.71 importiert und dort als .BLK (Block) Datei gespeichert. Diese .BLK Datei hat sogenannte *Measurement Traces* (Messreihen), von denen jeweils zwei zu einem Messpunkt gehören. Aus zwei zusammengehörigen Measurements wird die Schallintensität (**Bild 8**) für jeweils

einen Messpunkt ermittelt, dabei müssen Mikrofonabstand, Lufttemperatur und örtlicher Druck berücksichtigt werden.

Ebenfalls mit MEScope wird ein Gitter von Punkten gezeichnet, das dem Messgitter der jeweiligen Messreihe entspricht, eine sogenannte *Acoustic Surface*. Die errechneten Intensitäten werden den entsprechenden Punkten zugewiesen. Über den Punkt *Animation* kann nun für einzelne Frequenzen oder Frequenzbereiche die Schallintensität dargestellt werden. Es wird eine flächenhafte farbige Darstellung geliefert, bei der unterschiedliche Lautstärken in verschiedenen Farben (hier Grautöne) dargestellt werden, **Bild 9**.

1.4 Auswertung

Die Auswertung wird generell nur im Bereich bis 500 Hz dargestellt, da bei höheren Frequenzen die Lautstärken deutlich geringer sind als bei den niedrigen Frequenzen. Für das Knacken heben sich in **Bild 7** mehrere Lautstärkespitzen hervor. Diese liegen bei folgenden Frequenzen: 47,5 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 305 Hz und 440 Hz. Die A-Bewertung der FFT hat bei den gleichen Frequenzen Maxima, besonders stark ist die Spitze bei 305 Hz. Bei dieser Frequenz scheint das menschliche Ohr den höchsten Lautstärkepegel zu vernehmen. Eine FFT des reinen Hintergrundrauschens hat teilweise bei gleichen Frequenzen Spitzen; allerdings werden die fünf Frequenzen alle daraufhin untersucht ob mit ihnen das Knackgeräusch zu lokalisieren ist. Es wird jeweils ein schmales Frequenzband zur Auswertung herangezogen, um statistische Fehler bei der exakten Ermittlung von Einzelfrequenzen auszuschließen.

Mit einem Akustikprogramm /6/ wird zusätzlich ein rein subjektiver Hörtest durchgeführt, er bestätigt die Vermutung, dass das Knacken vorwiegend wahrnehmbare Frequenzen unter 500 Hz enthält.

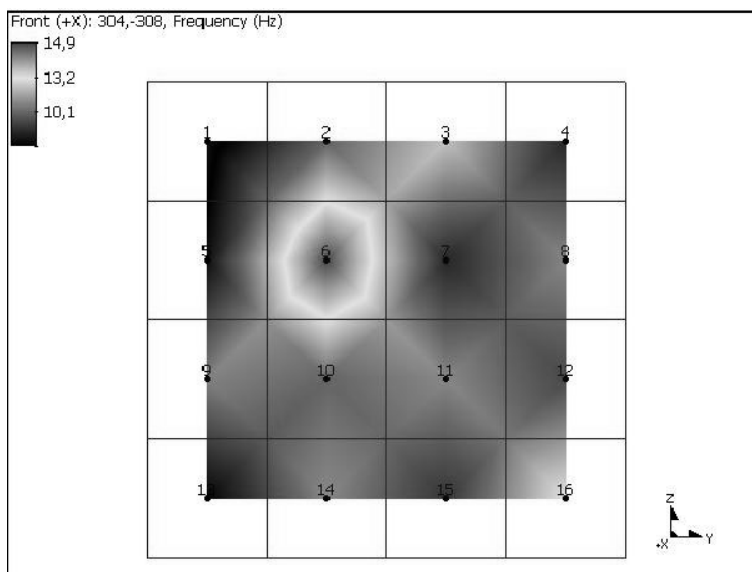


Bild 9: Messreihe 1 bei 305 Hz

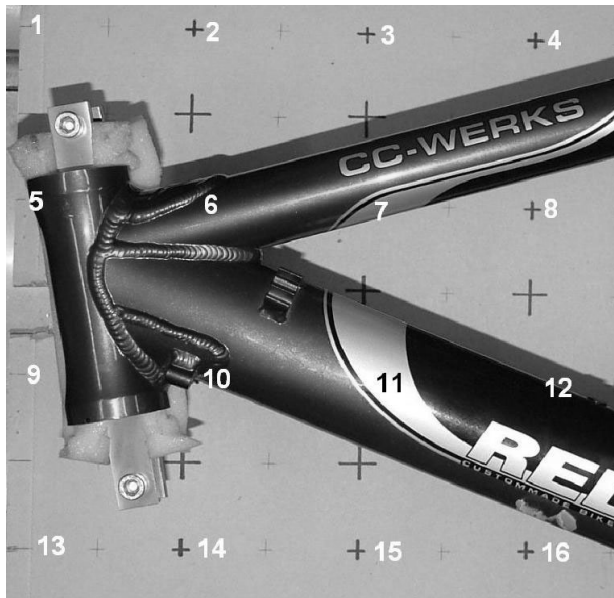


Bild 10: Rahmen und Messgitter von Messreihe 1 mit Gitterweite von 100mm

Die Abbildungen aus dem Programm MEScope sind bei hohen Schallintensitäten hell und bei niedrigen Schallintensitäten dunkel. Der Maximalwert aller Intensitäten einer Messreihe wird durch das Programm mit dem Wert 20 dargestellt, der Minimalwert aller Intensitäten mit dem Wert Null. Diese Skaleneinteilung lässt sich nicht verändern, es kann deshalb in den Abbildungen keine Aussage über die genaue Lautstärke getroffen werden, aber die Abbildungen sind untereinander vergleichbar.

Bei den Frequenzen 47,5 Hz, 200 Hz und 440 Hz ergeben die Bilder teilweise einheitliche Intensitäten über den ganzen Messbereich, teilweise liegen die Maximalwerte außerhalb der Rahmengeometrie. Es ist kein Rückschluss auf den Ursprung der Knackgeräusche möglich.

Bei 100 Hz und 305 Hz zeigen sich bei den verschiedenen Messreihen an einer Stelle des Rahmens eine hohe Schallintensität, **Bild 9** und **Bild 10**. Aus den Messreihen lässt sich schließen, dass die Schallquelle des Knackens im Bereich des auf dem Oberrohr aufgeschweißten Verstärkungsbleches liegt.

Bei machen Messreihen treten allerdings Störungen auf, MEScope bietet hier die Möglichkeit einzelne Messpunkte abzuschalten. Um Störungen zu verringern bietet sich die Messung in einem schalltoten Raum an, der ebenfalls am IMW vorhanden ist. Dies musste aber wegen der Größe des Versuchsaufbaus leider entfallen. Ebenfalls kann die Weiterleitung von Körperschall durch den Rahmen, oder Luftschall durch das Rohrinne des Steuerkopfes Ursache von Störungen sein.

2 Zusammenfassung

Zur Messung von Einzelschallquellen eignet sich besonders gut die Messung mit einer Schallintensitätssonde /7/. Durch die Messung an diskreten Punkten eines Messgitters lassen sich Schallquellen bis zu einer Auflösung von 50 mm im zwei- oder dreidimensionalen Raum ermitteln. Die mit dem Programm NVGate erfassten und vorausgewerteten Daten können mit dem Programm MeScope in Schallintensitäten umgerechnet und graphisch anschaulich dargestellt werden.

3 Literatur

- /1/ Bormann, E.; Untersuchung der Geräuschentwicklung im Aluminium-Fahrradrahmen bei Belastung, Diplomarbeit, TU Clausthal, 2006
- /2/ Quickert, M.; Andres, O.; Moderne Verfahren zur Ortung und Analyse von Schallquellen am Beispiel schwerer Nutzfahrzeuge. Haus der Technik Fachbuch Band 25, Expert Verlag, 2003
- /3/ DIN EN ISO 9614-1; Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen - Teil 1: Messungen an diskreten Punkten, Beuth Verlag, 1995
- /4/ Instruction Manual; Sound Intensity Probe Type 50AI, G.R.A.S. Sound & Vibration
- /5/ Cremer, L.; Möser, M., Technische Akustik. 5. Auflage, Springer Verlag, 2003
- /6/ <http://delphi.zsg-rottenburg.de/musik a.html>
- /7/ Henn, H.; Sinamبارi, G. R.; Fallen, M.; Ingenieurakustik. 2. Auflage, Vieweg Verlag 1999

Lärm- und Schwingungsminderung durch Änderung der Zahnhöhe in Stirzahnradgetrieben

Kruk R.; Joostberens J.; Wieczorek A.

Einer der wichtigsten Richtung der konstruktiven Entwicklung von Zahnradgetrieben ist die Verringerung von vibroakustischen Effekten bei der Arbeit der Maschine. Im Folgenden werden die experimentellen Ergebnisse vorgestellt, die die Vorteile von Anwendung der Gesamtüberdeckung des Zahnrades in Getrieben zeigen.

Summary: One of the main directions of some changes in a gear design is reduction of vibroacoustic effects being caused by variation of inner and outer excitation forces. In the paper there are shown directions of constructional reduction of dynamic coefficient by means of hight tooth ratio.

1 Einleitung

Für die häufig im Einsatz kommenden Zahnradgetriebe sind besonders bedeutende technische und wirtschaftliche Merkmale, wie Lebensdauer, Leistung, Wirkungsgrad als auch Zuverlässigkeit. Zu den anderen wichtigen Merkmalen aufgrund des Umweltschutzes gehören Minderung der Lärmemissionen in die Umgebung und Verbesserung des Betriebes von Maschinen.

Die Kopplungen mit Antriebsmotor und abtriebsverbundenen Zahnradgetriebe erzeugt ein federelastisches System mit bestimmten Massen, die bei Anregung schwingen. Gründe für Entstehung von Schwingungen oder Anregungen. Die Schwingungen, die auch anregen, entstehen in äußeren Quellen wie Antrieb oder Abtrieb bzw. inneren Teilen von Getrieben und werden durch die ganze Anlage geleitet. Beim Entwurf von Getrieben hat man kein Einfluss auf äußere dynamische Einflüsse, die Anregung verursachen können. Aber bestimmte Konstruktions- und Technologische Parameter der entworfenen Getriebe lassen sich so wählen, dass der innere Anregungseinfluss verkleinert wird und man eine Lärminderung erreicht.

Verbesserung der akustischen Eigenschaften und Betriebsbedingungen von Getrieben kann man unter anderen durch Verkleinerung der dynamischen Zwischenzahnkräfte erreichen. Eine der wichtigsten Gründe der dynamischen Anregung ist die Ände-

rung der Steifigkeit der Verzahnung durch das Variieren der Anzahl der Paar verzahnten Zähne. Die resultierende Steifigkeit c_v der Verzahnung ergibt sich aus paralleler Verbindung von einzelnen Steifigkeiten der Verzahnungen, die in diesem betrachteten Moment zusammen stoßen.

Gleiche Steifigkeitsverläufe der Verzahnung einzelner Zahnpaare entsprechen verschiedene (sowohl quantitativ, als auch qualitativ) Verläufe in Abhängigkeit von Gesamtüberdeckungsgrad des Zahnes. Es wird auf der Abb. 1 dargestellt.

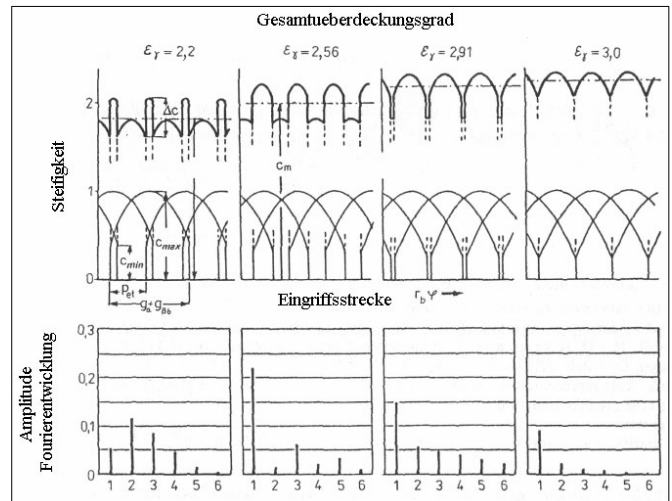


Abb. 1.: Einfluss des Gesamtüberdeckungsgrads auf Steifigkeitsverläufe und ihr Fournierspektrum [5]

Der Wert des Profilüberdeckungsgrads wird von geometrischen Parametern der Verzahnung beeinflusst. Als geometrische Parameter können folgende Größen, wie Verzahnungshöhe, Eingriffswinkel, Zähnezah und Modul betrachtet werden. Sie sind auf der Abb. 2 zu sehen.

Die Lärm- und Schwingungsminderung, die durch den Einsatz von hohen Verzahnungen realisiert ist, wurden schon in einigen Arbeiten betrachtet (z.B.: [1,2,3,4,6,7,8]), aber deutliche Erklärungen wurden bis jetzt noch nicht veröffentlicht [9].

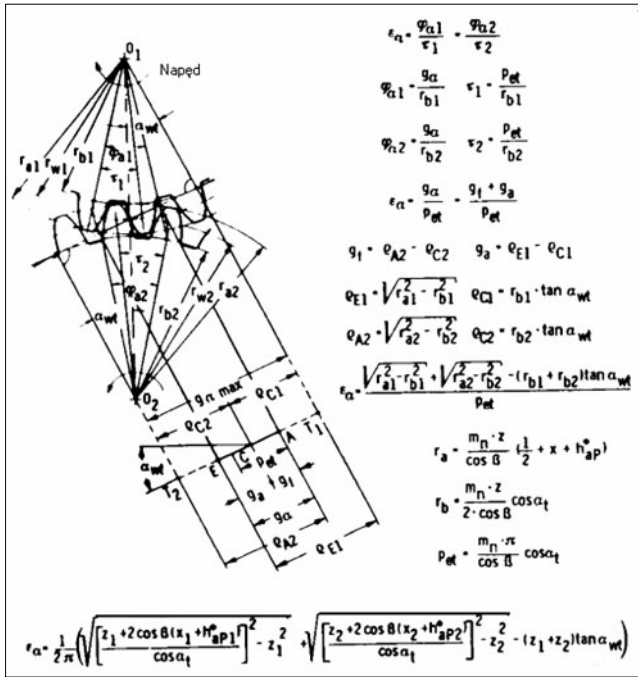


Abb. 2.: Profilüberdeckungsgrad in Abhängigkeit von Verzahnungsparametern [4]

2 Messergebnisse des Einflusses von Verzahnungshöhe auf akustischen Eigenschaften von Zahngetrieben

Diese experimentellen Versuche sollen den Einfluss der Verzahnungshöhe der Stirnzahnräder auf dynamische Last zwischen den Zähnen und Leistungspegel der Getriebe bestimmen. Sie wurden auf dem Prüfstand Typ FZG durchgeführt.

Der Prüfstand besteht aus folgenden Teilen:

- 2 Beschleunigungsaufnehmer Typ 4335 Bruel&Kjaer mit Ladungsverstärker,
- Schallpegelmessgerät Typ 2236 Bruel&Kjaer,
- Analysator – ein Messerfassungssystem, das auf einer Karte DAQBoard 2005 Iotech basiert. Das System wird durch ein DasyLAB 6.0 von National Instruments (USA) betrieben.

Die geometrischen Parameter der versuchten Verzahnungen mit hohen Zähnen waren folgend:

- Modul $m = 4$ mm,
- Zahnbreite $b = 10$ mm,
- Eingriffswinkel auf Nutzkreisdurchmesser $\alpha = 20^\circ$,
- Zähnezahl des Ritzels $z_1 = 26$ und des Zahnrades $z_2 = 27$.
- Fußzahnrundungsradius $\rho = 0,212$ m,
- Profilverschiebungsfaktor für Ritzel $x_1 = 0,024$ m und für Zahnrad $x_2 = -0,024$ m

Die Verzahnung wurde in Genauigkeitsklasse Nr. 7 (Nach DIN 396) gefertigt. Als Werkstoff für die Zahnräder wurde Stahl 41Cr4 verwendet und sie wurden auch Wärme behandelt (verbessert).

Am Anfang betrug die Verzahnungshöhe den 3-fachen Modul, und man bekam aufgrund der Verkleinerung der Kopfkreisdurchmesser weitere 7 Varianten der Verzahnung mit verschiedenen Zahnhöhen. Dies fasst die Tabelle 1 zusammen.

Tabelle 1. Parametern der untersuchten Verzahnungen; wobei h^* - Zahnhöhefaktor, ϵ_α - Profilüberdeckungsgrad, c_{gm} - mittlere Gesamtfedersteifigkeit, n_E - Resonanzdrehzahl, ζ_f -spezifische Gleiten (bei Fuß) sind.

Symbol	h^*	ϵ_α	c_{gm}	n_E	ζ_f Ritzel/Rad
STS	2,25	1,625	18,26	7857	-2,314/ -2,192
WS-3.0	3,0	2,030	16,94	7655	-3,905/ -3,904
WS-2.9	2,9	1,898	15,99	7495	-3,219/ -3,258
WS-2.8	2,8	1,763	15,03	7321	-2,667/ -2,729
WS-2.7	2,7	1,625	14,04	7132	-2,212/ -2,288
WS-2.6	2,6	1,484	13,03	6924	-1,831/ -1,913
WS-2.5	2,5	1,340	11,99	6695	-1,506/ -1,592
WS-2.4	2,4	1,192	10,93	6442	-1,226/ -1,312
WS-2.3	2,3	1,039	9,84	6160	-0,982/ -1,066

Die Messungen wurden im Frequenzbereich von 89 Hz bis 1300 Hz und für Lastfaktor $Q_u = 2T/(b \cdot d_t^2) = 0,36 \div 1,78$ MPa (T- Torsionsmoment) durchgeführt.

Aufgrund gemessener Beschleunigungen der Torsion wurde, der dynamische Steifigkeit K_v ermittelt.

Auf Abb. 3 und Abb. 4 sind die festgestellten Verläufe des Dynamikfaktor K_v für betrachteten Verzahnungen bei Lastfaktor $Q_u = 1,08$ MPa dargestellt.

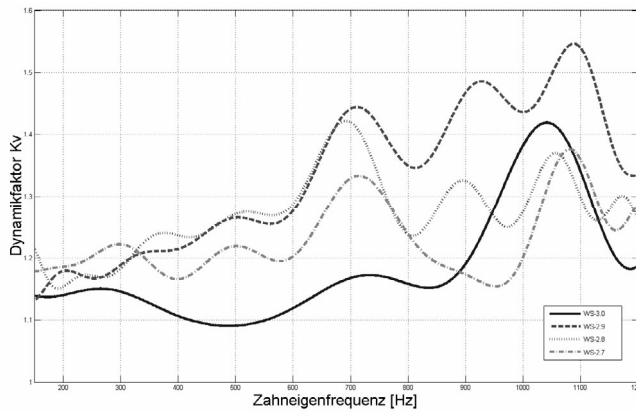


Abb. 3.: Dynamikfaktor K_v für hohe Verzahnungen, entsprechend für Varianten: WS-3.0, WS-2.9, WS-2.8 und WS-2.7; bei dem Lastfaktor $Q_u=1,08$ MPa.

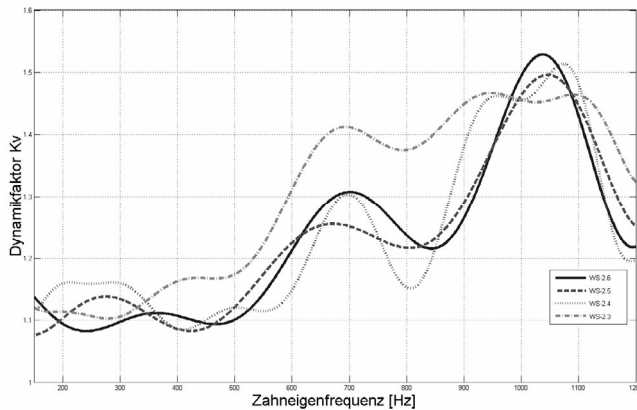


Abb. 4.: Dynamikfaktor K_v für hohe Verzahnungen, entsprechend für Varianten: WS-2.6, WS-2.5, WS-2.4 und WS-2.3; bei dem Lastfaktor $Q_u=1,08$ MPa.

Für die Mehrheit der gezeigten Verläufe beobachtet man zwei Maxima, wobei das erste bei der Verzahnungsfrequenz $f_z = 700$ Hz auftritt, hingegen das zweite Maximum bei der Verzahnungsfrequenz $f_z=1050$ Hz zu erkennen ist. Diese lokalen Extrema weisen den Resonanzzustand auf, in dem sich dieses Zahnpaar während des Versuchs befand.

Anhand der Abbildungen kann man ablesen, dass die kleinsten Werten von K_v fast im ganzen Frequenzbereich für die Variante WS-3.0 gelten. Diese Verzahnung WS-3.0 hat den ganzzahligen Profilüberdeckungsgrad ϵ_α . Der gezeigte Verlauf der Dynamikfaktor K_v von WS-3.0 stellt näherungsweise einen linearen Zusammenhang dar und es nur für die Frequenz $f_z = 1050$ Hz, die einem Verhältnis f_z/f_r

gleich $1/3$ ($f_r -$ Hauptresonanzfrequenz) entspricht eine Steigerung von K_v . Nach der Auswertung der Messergebnisse für verschiedene Lastfaktoren wurde festgestellt, dass sie auch einen kleinen Einfluss auf dynamische Kräfte haben.

Für die Verzahnungsfälle: WS-2.6, WS-2.5, WS-2.4 und WS-2.3 sind die Unterschiede für den Verlauf von K_v kleiner. Die Werte von K_v , die in den Maxima entsprechend für diese Variante liegen, sind sehr nah zu einander gelegen. Die größten K_v – Werte für diesen Frequenzbereich gelten für die Variante WS-2.6, aber die beobachteten Unterschiede von anderen Verzahnungen waren nicht bedeutend groß.

Für die Verzahnungen mit kleineren Zahnhöhen (WS-2.6, WS-2.5, WS-2.4 und WS-2.3) nimmt der Dynamikfaktor K_v höhere Werte an als für die Gruppe mit höheren Zahnhöhen (WS-3.0, WS-2.9, WS-2.8 und WS-2.7).

Die Abb. 5 und Abb. 6 zeigen Verläufe der gemessenen Schallpegelleistung. Diese Messungen wurden für alle im Rahmen des Experiments betrachteten Verzahnungen und für den gleichen Lastfaktor $Q_u=1,08$ MPa durchgeführt.

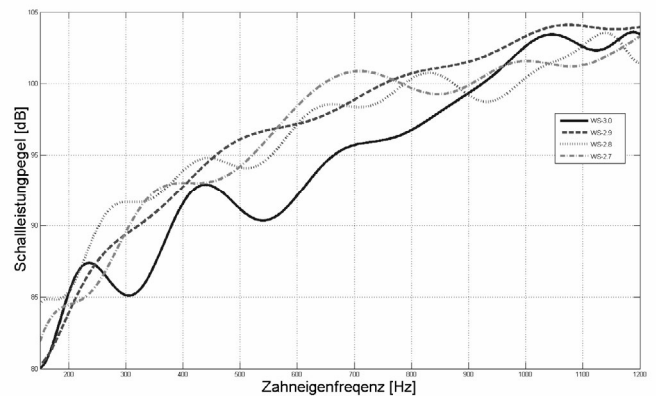


Abb. 5.: Schallpegelleistungsverläufe für Verzahnungen: WS-3.0, WS-2.9, WS-2.8, und WS-2.7; bei Lastfaktor $Q_u=1,08$ MPa.

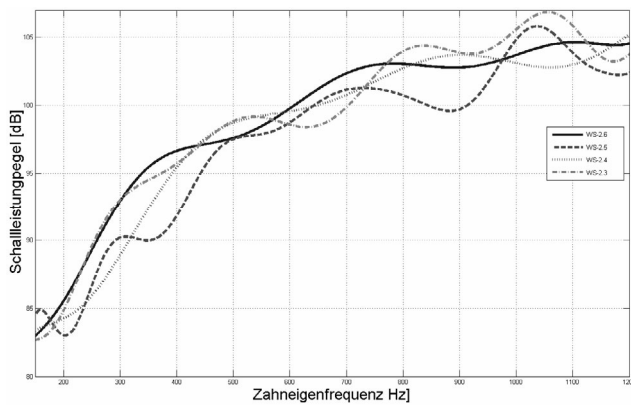


Abb. 6.: Schallpegelleistungsverläufe für Verzahnungen: WS-2.6, WS-2.5, WS-2.4, und WS-2.3 bei Lastfaktor $Q_u=1,08$ MPa.

Nach dem Vergleich von beiden Diagrammen lässt sich erkennen, dass die kleinsten Werte fast im ganzen betrachteten Bereich und ähnlich wie bei dem Dynamikfaktor K_v der Variante WS-3.0 vorkommen. In den für allen betrachteten Hochverzahnungen gezeigten Schallpegelleistungsverläufen sind kaum Unterschiede zu finden.

In der Schallpegelleistung sieht man deutlich, dass die Verzahnungen mit höheren Zähnen und Gesamtüberdeckungsgraden die Lärmemission verringern können.

Nach einer Mittelwertbildung von allen Messergebnissen lässt sich eine Minderung des Schallpegels der Verzahnung für WS-3.0 im Vergleich zu den anderen untersuchten Varianten in Höhe von 1,82 bis 4,19 dB erkennen.

3 Zusammenfassung

Die dargestellten Messergebnisse von Schwingungen und Schalleistungspegel weisen deutlich einen positiven Einfluss durch Einsatz von ganzzahligen Profilüberdeckungsgraden bei der Lärminderung und Minderung von dynamischen Kräften auf. Für die dynamischen Kräfte ist es besonders wichtig zu beachten, ob die Zahngetriebe nicht im Resonanzbereich arbeiten, weil die dynamischen Belastungen, die zwischen den Zähnen auftreten, bei Resonanz steigen. In diesem Experiment wurde festgestellt, dass dieser Wert entsprechend zum Verhältnis f_z/f_r (zwischen die Verzahnungsfrequenz und Hauptresonanzfrequenz) $1/3$ beträgt.

4 LITERATUR

- /1/ Weck M, Lachenmaier S.: Auslegung evolventischer Sonderverzahnungen für schwingungs- und geräuscharmen Lauf. *Industrie-Anzeiger*, 105/1983.
- /2/ Weck M.: *Moderne Leistung-getriebe*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1995.
- /3/ Knabel W.: *Geräusche und Schwingungen an Stirnradgetrieben*. Untersuchung geometrischer Einflüsse bei hohen Drehzahlen und Belastungen. Diss. TU München, 1977.
- /4/ Lachenmaier S.: *Auslegung von evolventischen Sonderverzahnungen von Schwingungs- und geräuscharm Lauf von Getrieben*. VDI-Forschungsberichte Reihe 11, Nr. 54; Düsseldorf 1983. Diss. RWTH Aachen.
- /5/ Möllers W.: *Parametererregte Schwingungen in einstufigen Zylinderradgetrieben*. Einfluss von Verzahnungsabweichungen und Verzahnungsteifigkeitsspektren. Diss. RWTH Aachen, 1982.
- /6/ Müller R.: *Schwingungs- und Geräuschanregung bei Stirnradgetrieben*. Diss. TU München, 1990.
- /7/ Salje H.: *Konstruktive Geräuschminderungsmaßnahmen durch gezielte Profilkorrekturen und Hochverzahnungen*. Forschungsvorhaben Nr. 98/I, Frankfurt 1985.
- /8/ Salje H.: *Tragfähigkeits- und Geräuschuntersuchungen an Hochverzahnungen - Abschlussbericht*. Forschungsvorhaben Nr. 98/II, Frankfurt 1987.
- /9/ Döbereiner R.: *Tragfähigkeit von Hochverzahnungen geringer Schwingungsanregung*. Diss TU München, 1998.

Neue Prüfstände zur Bauteiluntersuchung am IMW

Korte, T.; Lau, P.; Seitz, T.

Am Institut für Maschinenwesen existiert eine Reihe von Prüfständen zur Untersuchung von Bauteilen unter statischen und dynamischen Lasten. In diesem Jahr sind drei neue Prüfstände konstruiert, in Eigenfertigung hergestellt und in Betrieb genommen worden.

The Institute of Mechanical Engineering has already several different test rigs at its disposal which allow the analysis of components under statical and dynamical loads. Within this year this stock grew by three new test rigs. All of them were manufactured, assembled and put into operation using the institute's own resources.

1 Torsionsprüfstand

Neben dem servohydraulischen Torsionsprüfstand und mechanischen Prüfständen, die mittels eines angetriebenen Exzenters über einen Hebel Torsionsmoment auf die Wellen und Prüfkörper aufbringen, wurde in einem neuen Prüfstand ein gänzlich anderes Konzept realisiert. **Bild 1** zeigt eine Ansicht des Prüfstandes.

Der gesamte Antriebstrang mit Wellen, Membrankupplungen und Spannvorrichtungen bildet mecha-

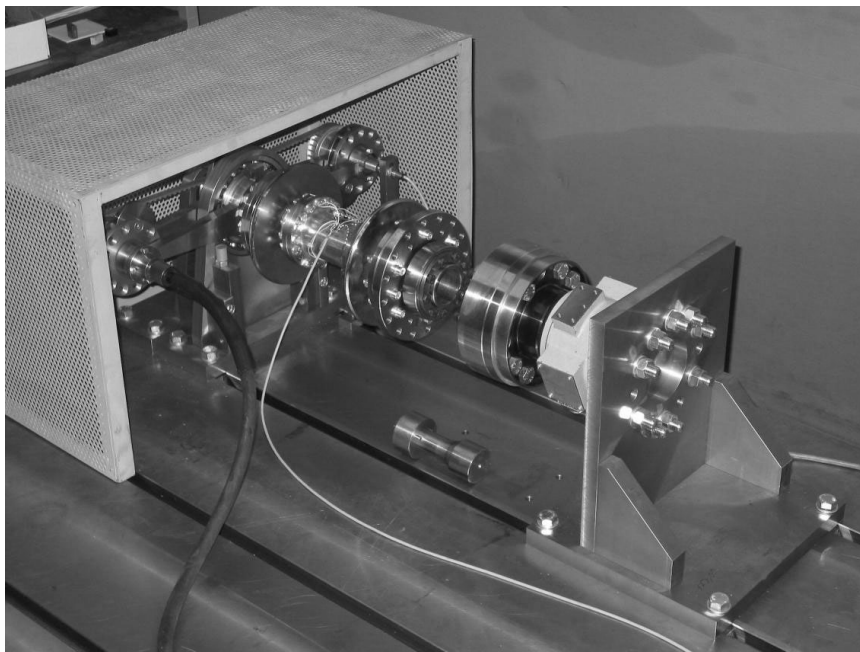


Bild 1: Gesamtansicht Torsionsprüfstand

nisch gesehen eine Drehstabfeder, die an ihrem einen Ende über einen Flansch mit einem Lagerbock verbunden ist. Das andere Ende ist zweiwertig in einem Rillenkugellager und in einer Buchse aus

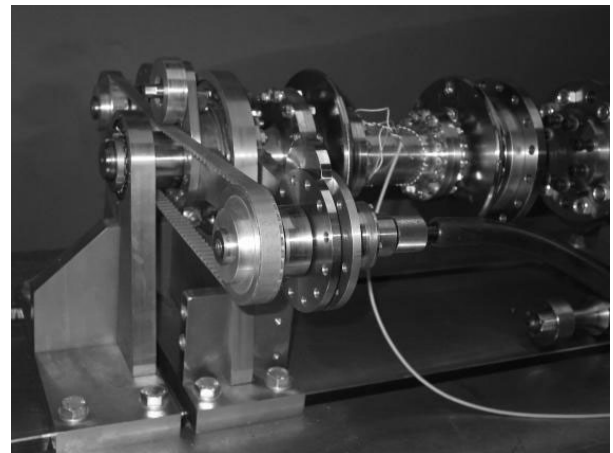


Bild 2: Detail Torsionsantrieb

Kunststoff gelagert. Zwischen den Lagerstellen sind an der Welle zwei Hebelarme angebracht, an deren Enden sich zwei gleichsinnig rotierende Unwuchtmassen befinden. Die Unwuchtmassen werden dabei von einem Elektromotor durch eine biegsame Welle angetrieben. Ihr synchroner Lauf wird durch einen Zahnriemenantrieb erreicht. **Bild 2** zeigt eine Detailansicht des Torsionsantriebs.

Die Rotation der Unwuchten erzeugt im Antriebsstrang eine wechselnde, querkraftfreie Torsion. Ausgelegt ist der Prüfstand für Ausschlags-Torsionsmomente von bis zu 3000 Nm.

Die Prüffrequenz kann mit Hilfe eines Frequenzumrichters stufenlos von 1 – 100 Hz eingestellt werden. Durch Variation der Parameter Unwuchtmasse und Rotationsfrequenz kann ein großes Spektrum von unterschiedlichen Lasten bei verschiedenen Prüffrequenzen erzeugt

werden. Die Messung des Torsionsmoments erfolgt durch eine Drehmomentmesswelle mit applizierten Torsions-Dehnungsmessstreifen. Bei Bruch des Prüfkörpers schaltet sich der Prüfstand selbständig über die Erhöhung des Ausschlagwinkels aus.

Ein aktuelles Einsatzgebiet für den Prüfstand sind Untersuchungen von Welle-Nabe-Verbindungen in Form von Längsstiftverbindungen, die eine Alternative zu den herkömmlich verwendeten Passfedern zur Drehmomentübertragung darstellen. Die derzeitigen Versuche werden mit einer Prüffrequenz von ca. 40 Hz bei einer dynamischen Wechselbeanspruchung von 800 Nm durchgeführt.

2 Erweiterung des Schleuderprüfstandes

Im Keller des Institutes befindet sich der Schleuderprüfstand zur Durchführung von Versuchen an Maschinenelementen unter Fliehkraftbeanspruchung. Aus Sicherheitsgründen ist der Prüfstand im institutseigenen Schleuderbunker untergebracht. Hier besteht durch entsprechende Maßnahmen die Möglichkeit, den Prüfstand im Betrieb von seiner

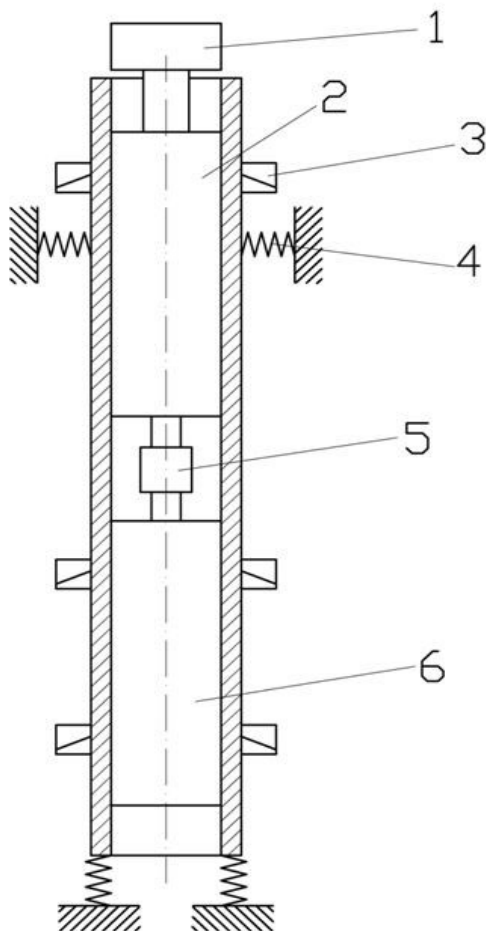


Bild 3: Prinzip Schleuderprüfstand

Umgebung abzuschotten.

Der Schleuderprüfstand wurde in Zusammenarbeit mit der Industrie um einen Aufbau erweitert, der Drehzahlen bis 45.000 1/min ermöglicht. **Bild 3** zeigt eine Prinzipskizze des Aufbaus.

Der Prüfstand besteht im Wesentlichen aus einem zylindrischen Gehäuse, in dem eine Motorspindel (6) durch Schrupfscheiben (3) axial fixiert wird. Das Drehmoment der Motorspindel wird über eine elastische Kupplung (5) auf die eigentliche Prüfspindel (2) übertragen. Diese Spindel wird ebenfalls durch eine Schrupfscheibe im Gehäuse fixiert. Auf diese Spindel wird über eine Flanschverbindung (1) der zu untersuchende Prüfkörper montiert.

Um die Auswirkungen von Biegung und Querkräf-



Bild 4: Schleuderprüfstand

ten durch Eigengewicht in den Antriebswellen zu minimieren, ist der gesamte Prüfstand vertikal angeordnet und elastisch an der Wand, bzw. am Boden befestigt. Zur Überwachung des dynamischen Verhaltens im Betrieb sind am zylindrischen Gehäuse Beschleunigungsaufnehmer angebracht.

Die Hybridlager der beiden Spindeln werden durch Ölnebel geschmiert. Die Motorspindel hat eine Leistung von 36 kW und ihre Drehzahl lässt sich mittels eines Frequenzumrichters stufenlos einstellen. Die Lagertemperatur wird mit Temperaturmessfühlern ständig überwacht. Um die entstehende Wärme abzuführen, wurde außerdem eine Wasserkühlung installiert. **Bild 4** zeigt den aufgebauten Prüfstand. Auf ihm werden in Zusammenarbeit mit der Industrie Drehmomentmesswellen auf ihre Drehzahlfestigkeit untersucht.

3 Verspannprüfstand

Zur Untersuchung von rotierenden Maschinenelementen unter statischer Torsionsbelastung wurde ebenfalls ein neuer Prüfstand errichtet. Er war in seiner Konfiguration auf eine Drehzahl von $n = 1000$ 1/min und ein Torsionsmoment von $T = 2800$ Nm auszulegen.

Mit diesen geforderten Werten hätte sich sein Leistungsbedarf bei einer offenen Bauweise wie folgt errechnet:

$$P = \omega \cdot T$$

Die notwendige Leistung hätte somit nahezu 300 kW betragen. Um die Verlustleistung möglichst gering zu halten, wurde der Prüfstand nach dem Prinzip des geschlossenen Verspannkreises aufgebaut.

Hierbei wird das Torsionsmoment statisch durch einen Verspannmotor oder eine andere geeignete Verspannvorrichtung erzeugt und der Antriebsmotor muss nur noch die Leistung zufügen, die zum Erreichen und Aufrechterhalten der Drehzahl notwendig ist. Durch diese Vorgehensweise reduziert sich die notwendige Leistung drastisch um etwa 90 %.

Da der Prüfstand für Untersuchungen an Gelenkwellen vorgesehen wurde, ließ sich außerdem ein paarweiser Einsatz der Prüfkörper realisieren, was zu einer deutlichen Senkung der benötigten Versuchsdauer führt.

Wie in **Bild 5** zu erkennen, besteht der Prüfstand aus dem Antriebsmotor (1), der an die Eingangswelle des Getriebes angeschlossen ist. Die beiden Getriebe (2) sind, bis auf die Eingangswelle, baugleich und arbeiten mit einer Übersetzung von $i = 1,5$. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Drehzahlen in den beiden Wellensträngen. So rotiert der „schnelle“ Strang mit 1500 1/min, wohingegen der „langsame“ Strang, in den die beiden Prüf-

körper integriert sind, mit den geforderten 1000 1/min umläuft. Auf der „schnellen“ Seite sind beide Getriebe über zwei Zwischenwellen verbunden, zwischen denen der hydraulische Verspannmotor (3) angeordnet ist. Er erzeugt das für die Untersuchungen benötigte Torsionsmoment. Auf der „langsamen“ Seite befinden sich die beiden Prüfkörper (5), welche durch ein Mittellager (4) verbunden sind.

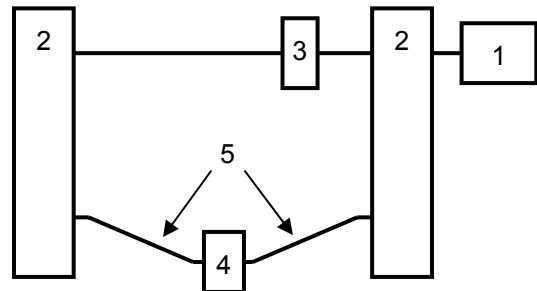


Bild 5: Prinzip des Verspannkreises

Durch diese Anordnung ergibt sich der dargestellte geschlossene Verspannkreis, in dem permanent das durch den Verspannmotor erzeugte Torsionsmoment gehalten wird. Über den Antriebsmotor wird dann nur noch die im Betrieb anfallende Verlustleistung zugeführt.

Momentan werden im Rahmen des Forschungsvorhabens FVA 505 Untersuchungen am Längenausgleich von Gelenkwellen durchgeführt. Dazu wird das Mittellager, wie auch in **Bild 5** zu sehen ist, versetzt angeordnet, wodurch sich ein Beugewinkel von 10° ergibt. Durch die Kinematik der Kreuzgelenke entsteht dabei die gewünschte alternierende Bewegung im Längenausgleich der Gelenkwellen. Zur Veranschaulichung sei auf **Bild 6** verwiesen.

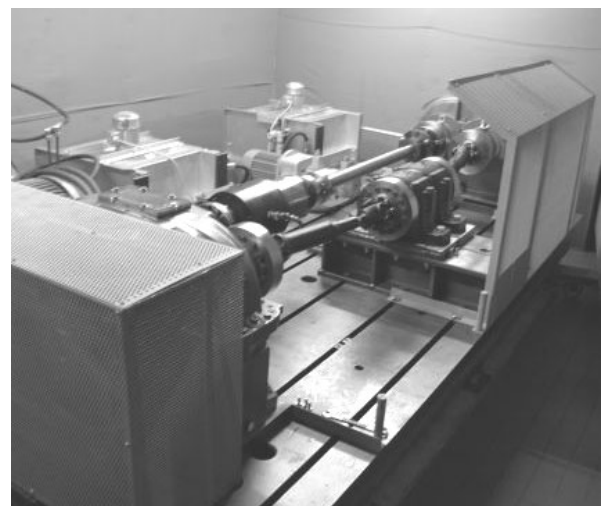


Bild 6: Der ausgeführte Verspannprüfstand

Im vorderen Bereich des Bildes ist eine eingebaute Gelenkwelle zu sehen. Das Mittellager, bestehend aus zwei nebeneinander angeordneten Lagerböcken, befindet sich rechts im Anschluss an die Gelenkwelle. Es ist über zwei steife I-Trägersegmente fest mit der Grundplatte verbunden. Im hinteren Strang befindet sich der Verspannmotor. Weiterhin sind im Hintergrund die beiden Wärmetauscher zur Kühlung des Getriebeöls mit ihren aufgesetzten Lüftern zu erkennen.

Nicht auf dem Bild ist das Hydraulikaggregat, das den Verspannmotor mit Drucköl versorgt. Die Kühlung des Aggregats gewährleistet ein Wasserkühlkreislauf, in den ein Kühlwassertank nebst eines handelsüblichen PKW-Lüfters integriert sind.

Der Prüfstand wird in den nächsten Wochen weiter ausgebaut. In der ersten Ausbaustufe werden Vorrichtungen hinzugefügt, die mit Hilfe einer Hebelkonstruktion eine definierte Querkraft auf den mittleren Bereich der Gelenkwellen aufbringen werden. In einer zweiten Ausbaustufe wird das Mittellager durch eine verstellbare Konstruktion ersetzt. Sie wird dazu dienen, Verschiebefrequenzen von bis zu 2 Hz bei Verschiebewegen im Längenausgleich von bis zu 5 mm zu realisieren. Der Antrieb erfolgt entweder über ein Spindelhubgetriebe, wie in **Bild 7** dargestellt, oder über einen Motor mit Exzenterantrieb.

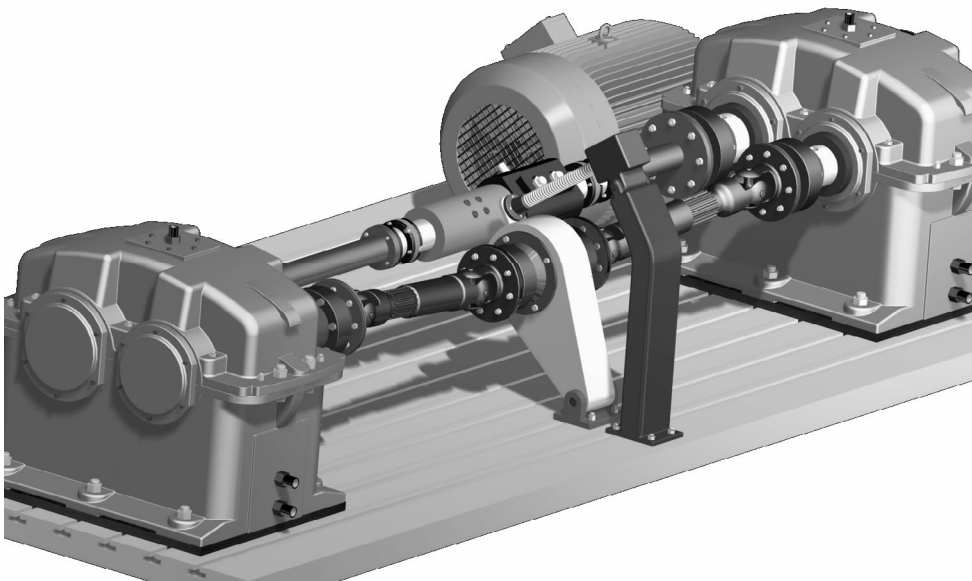


Bild 7: Erweiterung des Verspannprüfstandes

Zur Vervollständigung der Prüfstands-ausstattung des IMW ist geplant einen weiteren Verspannprüfstand aufzubauen. Dieser Verspannprüfstand wird

ein maximales Torsionsmoment von 15.000 Nm bei einer Prüfdrehzahl von 1000 1/min erbringen können. Die umlaufende Leistung in diesem Prüfstand wird demnach über 1,5 MW betragen.

Die Vorspannung des Verspannkreises erfolgt in diesem Fall nicht mehr durch einen Verspannmotor, sondern durch das Ankippen eines Getriebes um die Abtriebsachse. Der Prüfstand wird ebenfalls eine Verschiebevorrichtung des Mittellagerbocks besitzen, die durch einen Exzentertrieb realisiert werden wird.

Obwohl die Ausführung als geschlossener Verspannkreis eine erhebliche Reduktion der benötigten Antriebsleistung ermöglicht, wird ein Antriebsmotor mit 132 kW benötigt. Daher kann der Aufbau des Prüfstandes nicht in der Maschinenhalle des IMW geschehen, sondern wird in der Halle auf dem ehemaligen Bundeswehrgelände erfolgen. Nur hier steht die notwendige Anschlussleistung zur Verfügung.

4 Zusammenfassung

Die Prüfstandausstattung des Instituts für Maschinenwesen wurde erweitert. Es steht nun ein Torsionsprüfstand nach dem Unwuchtprinzip zur Verfügung. Hiermit sind Torsionsbelastungen von +/- 3000 Nm bei hohen Prüffrequenzen möglich. Außerdem wurde der Schleuderprüfstand erweitert.

Dem Institut steht nun eine maximale Drehzahl von 45.000 1/min zur Überprüfung von schnell drehenden Rotoren zur Verfügung. Ein neuer Verspannprüfstand mit einem maximalen Drehmoment von 2800 Nm bei 1000 1/min wird zurzeit für Untersuchungen des Längenausgleichs von Gelenkwellen eingesetzt. Ein zweiter Verspannprüfstand für Torsionsmomente von bis

zu 15.000 Nm ist in Planung und wird im Laufe des nächsten Jahres aufgebaut werden.

Erste Ergebnisse des TAI-CHI Projektes zu berührbaren Benutzeroberflächen

Rolshofen, W.; Dietz, P.; Schäfer, G.

Im Europäischen Forschungsprojekt „Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction, TAI-CHI“ (IST-507822) werden innovative berührbare Benutzeroberflächen untersucht. Welche Erfolge bisher erreicht wurden und wie man mit solchen Instrumenten Musik erzeugt, das wird in diesem Artikel dargestellt.

Within the EU Specific Targeted Research Project “Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction, TAI-CHI” (IST-507822), innovative tangible user interfaces are investigated. In this article is presented what has been achieved so far and how to make sound with such instruments.

1 Einleitung

Der Mensch ist durch seine Sinnesorgane in der Lage seine physische Umwelt wahrzunehmen und auf diese zu reagieren.

Mittlerweile haben viele technische Geräte Einzug in das alltägliche Leben gehalten, doch ihre Benutzung, die Wechselwirkung zwischen Mensch und Maschine, ist nicht immer intuitiv; zumindest können nicht alle menschlichen Fertigkeiten eingesetzt werden. Zurzeit findet die Kommunikation mit der „digitalen Welt“ meistens über grafische Benutzeroberflächen (engl. *graphical user interface, GUI*) statt. Durch Bedieninstrumente wie Computertastatur und Mouse werden grafische Anweisungen gesteuert /1/.

Dies ist schon eine Arbeitserleichterung im Gegensatz zur Verwendung von Befehlszeilenoberflächen (engl. *character user interface, CUI*), doch bleibt das Leistungspotenzial aufgrund der vorhandenen Fähigkeiten der menschlichen Reize ungenutzt.

Eine Erweiterung stellen daher berührbare Benutzeroberflächen (engl. *tangible user interface, TUI*) dar, wo digitale Informationen mit physikalischen Objekten oder mit Bereichen auf deren Oberfläche verknüpft werden. Berührbare Schnittstellen basierend auf akustischen Informationen (engl. *tangible acoustic interface, TAI*) stellen eine Spezialisierung derselben dar, die versuchen Luft- und/oder Körperschall bei der Wechselwirkung mit Gegenständen auszunutzen (siehe **Bild 1**).

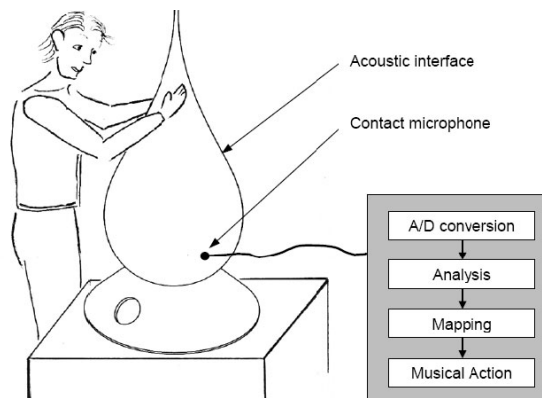


Bild 1: Konzept eines TAI als neuartiges Musikinstrument /2/.

Im Rahmen des Europäischen Forschungsprojektes „Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction (TAI-CHI)“ werden solche Schnittstellen untersucht und weiterentwickelt.

2 Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction

Seit dem Anfang 2004 arbeitet das Institut für Maschinenwesen (IMW) in einem Konsortium mit den nachfolgenden Partnern am TAI-CHI Forschungsprojekt

- University of Wales Cardiff (UWC), Wales;
- Centre for Engineering and Technology Transfer (CeTT), Schweiz;
- Università Degli Studi di Genova (DIST), Italien;
- Laboratoire Ondes et Acoustique (LOA), Frankreich;
- University of Birmingham (UoB), England;
- Politecnico di Milano (PoliMi), Italien.

Notwendig für den erfolgreichen Einsatz derartiger Benutzeroberflächen ist die Kenntnis über den Ort der Interaktion. Aus diesem Grund werden unterschiedliche Lokalisierungsmethoden /3/ sowie notwendige Elemente der Signalverarbeitung unter diesem Aspekt erforscht. Erste Ergebnisse werden in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

2.1 Interaktives Kochfeld

Die Steuerung qualitativ hochwertiger Kochfelder erfolgt derzeit über Sensoren, die eine Änderung des elektrischen Widerstandes feststellen. Ob dies auch über akustische Signale möglich ist, das wurde mit Unterstützung des führenden Herstellers für Hausgeräte überprüft.



Bild 2: Interaktives Kochfeld. Monitor zeigt, dass die Berührpositionen erfolgreich detektiert werden (Quelle: UWC).

In **Bild 2** wird gezeigt, dass die Berührung des Schalters auf dem Kochfeld mit einem Finger erfolgreich detektiert wird, denn im Monitor wird das Ergebnis der Lokalisierung gezeigt.

2.2 Klingender Spiegel



Bild 3: Musikalischer Spiegel (LOA). Durch Klopfen an unterschiedlichen Positionen des Spiegels kann die Tonhöhe eines akustischen Signals verändert werden.

Das *Laboratoire Ondes et Acoustique (LOA)* hat für das *EUROSCIENCE Open Forum (ESOF2006) 14/* einen klingenden Spiegel entwickelt (siehe **Bild 3**). Durch Berührung der Spiegeloberfläche wird ein

Ton erzeugt, der seine Tonhöhe oder Oktave durch die zugehörige Position ändert.

Hierzu wird ein Verfahren verwendet das die Methode der Zeitumkehr (*engl. time reversal*) des Signals ausnutzt. Daher kommt diese Technologie mit ein bis zwei Sensoren aus, doch ist eine Kalibrierung vor der eigentlichen Benutzung notwendig. Ob die Frage: „Spieglein, Spieglein an der Wand, wer ist der oder die Schönste im ganzen Land?“ beantwortet werden kann, ist derzeit aber noch Stand der Forschung.

2.3 Kontinuierliche Bewegung

Bei vielen Anwendungen ist es erforderlich, dass man kontinuierliche Bewegungen zurück verfolgen kann, z.B. um beliebige TAIs als Schreibunterlage einzusetzen. Dies ist den Partnern der Politecnico di Milano (PoliMi) mit einem innovativen Einsatz von Laufzeitverfahren (*engl. time delay of arrival, TDOA*) gelungen.

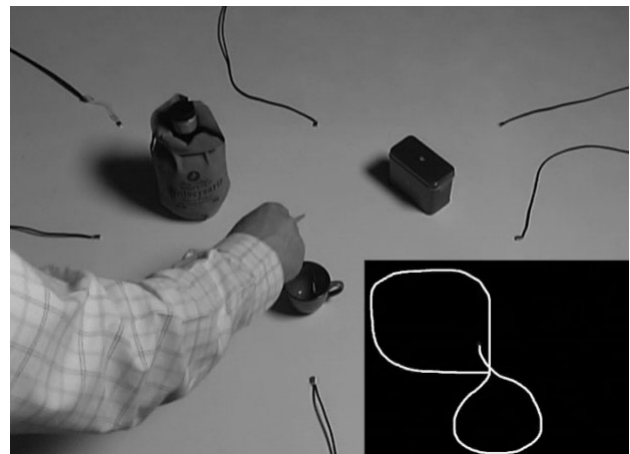


Bild 4: Trotz Gegenstände auf einer Tischplatte, lässt sich die kontinuierliche Bewegung mit einem Stift nach verfolgen. Verlauf s. kleines Bild weiße Linie (Quelle: PoliMi).

Das **Bild 4** stellt dar, wie die Bewegung mit einem Stift über eine Tischplatte protokolliert wird. Im rechten unteren Bildrand wird das Ergebnis der Positionsberechnung gezeigt. Hierbei ist der Bewegungsablauf die weiße Linie. Erstaunlich an dieser Lösung ist, dass das Verfahren robust gegenüber Veränderungen auf der Platte ist, d.h. Gegenstände wie Tassen oder Flaschen haben keinen Einfluss auf die Genauigkeit.

2.4 Akustische Holografie

Neben den vorgenannten Methoden *Time Reversal* und *TDOA* besteht auch ein Bedarf an einer Lö-

sung für multiple bzw. simultane Ereignisse. Hierzu wird das Verfahren der Akustischen Holografie eingesetzt, welches jedoch unterteilt wird nach Luft- und Körperschall.

2.4.1 Holografie in Luft



Bild 5: Ausstattung von UoB zur Lokalisierung von Signalen durch Akustische Holografie in Luft.

Der University of Birmingham (UoB) ist es erfolgreich gelungen, bestehende Lösungen zur Holografie in Luft nachzubilden und somit den TAI-Anwendungen verfügbar zu machen (siehe **Bild 5**). Die UoB untersucht darüber hinaus weitere Methoden zur Ortung von Objekten durch Luftschall.

2.4.2 Holografie direkt auf Festkörper

Um Störungen durch Umgebungsgeräusche zu entgehen, erforscht das IMW, ob eine Verbesserung durch direkten Kontakt mit dem Messobjekt erreicht werden kann.

Hierzu werden Beschleunigungsaufnehmer auf der Oberfläche des physikalischen Objektes angebracht. Im Gegensatz zur Holografie in Luft ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Welle nicht konstant und vom jeweilig verwendeten Material abhängig.

Das **Bild 6** zeigt, dass trotz zahlreicher, störender Randeffekte das Klopfen auf eine Stahlplatte mit Akustischer Holografie und Sensoren direkt auf dem Festkörper lokalisiert werden kann. Die Klopfposition befand sich im Zentrum der Platte und ist durch den schwarzen Kreis gekennzeichnet. Anhand der Farbintensität erkennt man das Maximum in der Amplitudenverteilung für eine Frequenz von 1163 Hz.

Da zurzeit nur singuläre Ereignisse mit diesem Verfahren detektiert werden, wird in weiteren Versuchen erforscht, ob das Verfahren auf multiple Schallquellen erweitert werden kann.

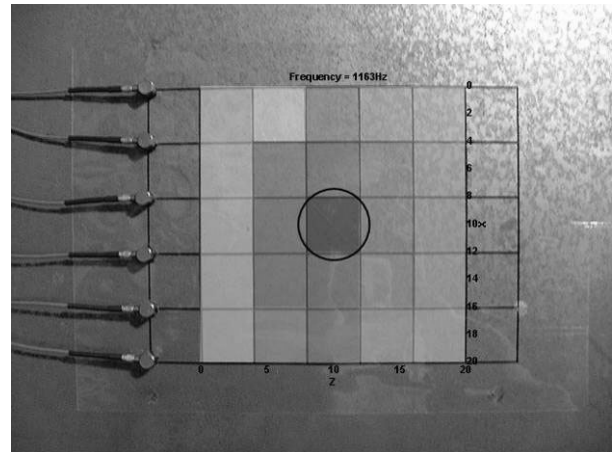


Bild 6: Darstellung der Lokalisierung mit Akustischer Holografie für Festkörper nachdem auf die Stahlplatte geklopft wurde.

2.5 Hardware für berührbare Benutzeroberflächen

Als Ersatz für einen Computer bei der Verwendung von berührbaren Benutzeroberflächen entwickelt das CeTT ein modulares Hardware-Modul.

Aufgrund eines eingebauten *Digital Signal Processor (DSP)* können unterschiedlichste Arten von Signalen bearbeitet werden, wie Audio und Video bzw. direkt angeschlossene Sensoren. Die Architektur des Moduls besteht im Wesentlichen aus drei unterschiedlichen Karten (Datenerfassung, Signalverarbeitung und Kommunikation) siehe **Bild 7**.

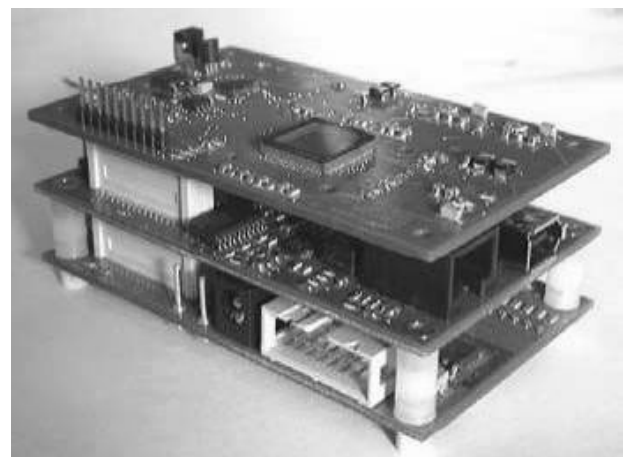


Bild 7: Hardware-Modul zur Signalverarbeitung von TAIs (Quelle: CeTT).

Insgesamt wurde die Entwicklung der Hardware eng mit den Anforderungen aller Mitglieder abgestimmt. Somit wird einem Anwender von TUIs ein vielseitiges Werkzeug zur Verfügung gestellt /5/, was noch Freiheiten für persönliche Einstellungen und Erweiterungen lässt.

2.6 Software: EyesWeb

DIST hat eine grafische Programmierumgebung zur Steuerung von TUIs entwickelt, die auch für die Auswertung der berührbaren Benutzeroberflächen innerhalb des TAI-CHI Projektes eingesetzt wird.

In **Bild 8** wird ein Ausschnitt aus der grafischen Benutzeroberfläche EyesWeb dargestellt, wo die Silhouette einer Person und deren Schatten berechnet wird (siehe Ausschnitt unten links).

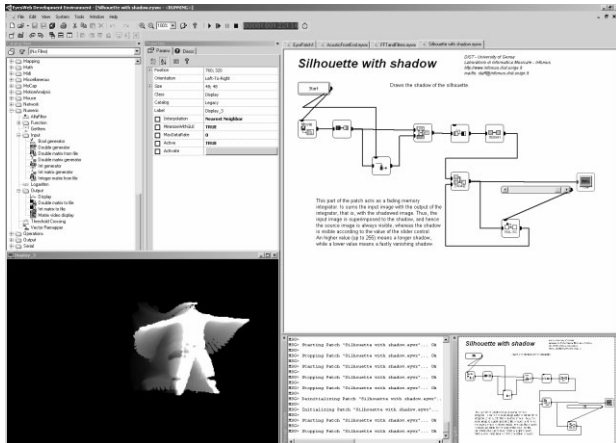


Bild 8: GUI der Software EyesWeb, welche von DIST entwickelt wurde, zur Programmierung von Benutzeroberflächen.

Dies wird aus einzelnen Blöcken erreicht, die beispielsweise Lokalisierungsmethoden (*TDOA*, *Time Reversal*, *Holography*) beinhalten und deren Algorithmen in C++ programmiert sind.

2.7 Öffentliche Präsentation von Ergebnissen

Im Rahmen der *Sound2Sense² Summer-School* wurde eine audio-visuelle Installation eines TAI als *Touch-Table* den Besuchern zum Ausprobieren präsentiert (siehe **Bild 9**). Eingeflossen sind hierbei viele der dargestellten Ergebnisse /5/. Doch es wurde auch Verbesserungsbedarf bei der Erstellung der Installation bzw. nach Rücksprache mit Besuchern deutlich, die diese „Sound Rose“-Installation ausprobiert haben.

Durch Berührung der Tischplatte hat sich der akustische Klang der Hintergrundmusik im Aufstellungsraum verändert. Gleichzeitig hat der Akteur eine grafische Rückgabe erhalten, wie die Art seiner Interaktion stattgefunden hat bzw. welche Toneinstellungen er verändert hat. Das Interesse der Besucher war sehr groß, auf diesem audio-visuellen Instrument zu musizieren.



Bild 9: Besucher der Installation „Sound Rose“, die eine Anwendung eines TAI als audio-visuelles Instrument zeigt /5/.

3 Zusammenfassung

Die ersten Ergebnisse des TAI-CHI Projektes zeigen, dass solche berührbaren Benutzeroberflächen sinnvoll eine Verbindung zwischen realer und digitaler Welt herstellen.

Obwohl schon viele Lokalisierungsmethoden erfolgreich eingesetzt werden, so bleiben noch einige Aspekte zu erforschen. Außerdem muss eine möglichst vollständige Integration aller Teilergebnisse zu einem Gesamtpaket (*TAI-CHI Toolkit*) für zukünftige Anwender erstellt werden.

4 Literatur

- /1/ Ishii, H.: Get in Touch – Tangible Bits: Bridging Digital and Physical, Ars Electronica 2001
- /2/ Crevoisier, A.; Polotti, P.: Tangible Acoustic Interfaces and their Applications for the Design of New Musical Instruments, International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME 2005, Dublin
- /3/ Rolshofen W.; Dietz P.; 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
- /4/ Ell, R.: Controlling computers by tapping on a table, Editor's Choice in ESOF2006 Newsletter 03
- /5/ Crevoisier, A.; Bornand, C; Guichard, A.; Matsumura, S.; Arakawa, C.: Sound Rose: Creating Music and Images with a Touch Table, International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME 2006, Paris

Literaturmanagement: Der schnelle Weg zum richtigen Verweis

Thoden, D.

Die Auswertung und Verwendung von Literatur ist ein essentieller Bestandteil wissenschaftlichen Arbeitens. Spätestens bei der Verfassung langer wissenschaftlicher Texte ist ein systematisches Vorgehen unumgänglich. Um im Rechnerzeitalter den althergebrachten Zettelkasten zu ersetzen, sind am Markt verschiedene Softwarelösungen vorhanden, die weit mehr Funktionalität als eine Kartei bieten.

The examination and use of literature is essential when working scientifically. At the latest from composing long scientific texts systematic proceeding is inevitable. To replace the traditional card box in the computer era different software solutions are at the market which provide much more functionality than a file card does.

1 Einleitung

Der Erstellung eines wissenschaftlichen Textes beginnt üblicherweise mit der Suche und Auswertung von themenbezogener Literatur. Um dieses zu dokumentieren, werden im späteren Text die verwendeten Literaturstellen angegeben.

Gerade bei umfangreichen Texten wie Dissertationen oder Diplomarbeiten geht der Überblick über die herausgesuchten Quellen schnell verloren. Die Organisation über Karteikarten scheint in der heutigen Zeit veraltet und hilft auch nicht, die Literaturverweise richtig im Text anzugeben und ein Literaturverzeichnis zu erstellen. Vielmehr ist der zeitliche Aufwand hoch und die richtige Anwendung der Zitierstile schwierig, so dass an dieser Stelle erhebliches Optimierungspotenzial besteht.

2 Die Kandidaten

Wegen seiner langjährigen Alleinstellung im Windows-Umfeld hat sich das Programm EndNote X von Thomson ResearchSoft zum Standard entwickelt /1/. Da schnelles publizieren hierzulande immer mehr an Bedeutung gewinnt, entwickeln sich seit einiger Zeit mehrere Mitbewerber zu ernsthafter Konkurrenz. Hierzu gehören Citavi 2.3 von Academic Software Zürich /2/, VisualComposer.NET 2.0.2 von der semantics Kommunikationsmanagement GmbH aus

Aachen /3/ und Bibliographix 6 von der gleichnamigen GbR aus Hildesheim /4/.

Neben diesen lokal installierten Programmen bietet das System RefWorks von der gleichnamigen Firma Plattformunabhängigkeit und höchste Aktualität, da es komplett netzbasierend ist /5/.

Bevor die einzelnen Programme zur Herausstellung der Unterschiede einigen Tests unterzogen werden, wird noch einmal deren prinzipielle Funktionsweise vorgestellt.

3 Grundlegendes

Basis der hier vorgestellten Programme ist jeweils eine bibliographische Datenbank, in die Titeldaten eingegeben, importiert, exportiert, geordnet und verwendet werden können. Für den Import stehen Filter zu vorhandenen Datenbanken und Schnittstellen zu Universitätskatalogen und Literaturdatenbanken zur Verfügung. Weiterhin besteht bei einigen Programmen die Möglichkeit, fest formatierte Textdateien einzulesen.

Der Zugriff auf die Kataloge und Datenbanken erfolgt entweder über das bibliotheksspezifische Z39.50-Protokoll oder über einen eingebauten HTML-Browser. Das Z39.50-Protokoll liefert keinen besonderen Vorteil, da es keine allzu detaillierten Suchabfragen zulässt und darüber hinaus der zu verwendende Port nicht festgelegt ist.

Als Datenaustauschformat hat sich die EndNote Library (.enl) durch die lange Zeit marktbeherrschende Stellung des entsprechenden Programms eingebürgert. Daneben gilt das aus dem Open Source-Umfeld stammende BibTeX-Format (.bib) als weiteren Standard.

Beide Formate unterstützen eine Vielzahl von Publikationstypen, beim Datenaustausch kann es jedoch zu den üblichen Schnittstellenproblematiken kommen.

Der eigentliche Vorteil der Literaturmanagementsysteme liegt aber weniger im Bereich der Literaturorganisation als vielmehr in deren Verwendung. Unter LaTeX hat sich mit dem BibTeX-System schon lange eine Lösung etabliert, mit der Literaturnachweise einfach in Texte eingefügt und entsprechende Verzeichnisse erstellt werden können.

Diese Lücke bei Microsoft Word oder ähnlichen Textverarbeitungsprogrammen füllen die betrachteten Programme entweder über implementierte Funktionen (EndNote) oder die Schnittstelle DDE. In den Rohtext werden hierfür Textmarken eingesetzt, die später in einem Kompilierungsprozess durch die entsprechende Einordnungsformel ersetzt werden. Gleichzeitig wird ein geordnetes Verzeichnis am Ende oder in einem separaten Dokument erzeugt.

Je nach Programm können die unterschiedlichsten Zitierstile verwendet werden. Gerade im angelsächsischen Raum ist im Gegensatz zu Deutschland kein einheitlicher Stil vorhanden, so dass viele Zeitschriften eigene Richtlinien vorgeben. Jedoch ist auch die DIN 1505 Teil 2 nicht verbindlich /6/. Es besteht jedoch bei allen Programmen die Möglichkeit, eigene Stile festzulegen.

Zusätzlich zu diesen Grundfunktionen bieten die meisten Programme noch Funktionen wie Ideen- und Aufgabenmanager an, mit denen Gedanken, die bei der Recherche auftreten, direkt festgehalten werden können. Hierdurch wird versucht, eine spezielle Arbeitsweise zu erwirken.

4 Bewertung

Um die Programme vergleichend bewerten zu können, werden sie angelehnt an /7/ mit einem kurzen Testprogramm evaluiert.

In einem ersten Schritt wird probiert, einen Sammelband, einen Zeitschriftenartikel, eine Dissertation, eine Norm und eine Internetseite händisch aufzunehmen. Dieser Datenbestand soll dann mit den Titeln aus dem Katalog des gemeinsamen Bibliotheksverbundes (GBV) ergänzt werden, die bei der Suche nach den Begriffen „Akustik“ und „Körperschall“ ausgegeben werden. Die Recherche erfolgt dabei auch einzeln nach den Begriffen.

In einen kurzen Text wird danach der erste und der letzte Datenbankeintrag eingefügt und nach DIN 1505 verarbeitet. Um die Funktion bei Veränderungen in der Datenbank zu testen, wird ein Titel gelöscht und daraufhin drei Titel aus einer manuell angelegten BibTeX-Datei eingelesen. Eine dieser Quellen wird zusätzlich in den Testtext eingefügt und dieser nach einem zufällig ausgewählten Zitierstil verarbeitet.

Danach erfolgt der Import einer Datenbankrecherche aus der FIZ-Technik mit den Suchbegriffen „Akustik“ und „Holographie“. In der so gefüllten

Datenbank wird nach abgekürzten Namensteilen, kombinierten Begriffen und Jahreszeiträumen gesucht.

4.1 Citavi

Das Programm Citavi von der Firma Academic Software Zürich bietet unter den Kandidaten den besten optischen Eindruck. Mit einer gefälligen ergonomischen Oberfläche bietet es durch eine eingebaute Onlinehilfe die höchste Benutzerfreundlichkeit, da für jedes Eingabefeld eine Beschreibung des Inhalts mit einem Beispiel für die richtige Formatierung angegeben ist.

Somit ist auch die erste Testhürde kein Problem, zumal das Programm als einziges alle betrachteten Publikationstypen unterstützt. Für die Referenzierung von Internetseiten wird sogar ein Zusatzprogramm angeboten, das automatisch einen Datensatz für eine besuchte Seite erzeugt.

Bei der Recherche im GBV wird nur der erste Suchbegriff erkannt.

Über einen Publikationsassistenten können per Mausclick Referenzen direkt in die Zwischenablage oder die Textverarbeitung Word eingefügt werden. Dabei kann gewählt werden, wie ausführlich eine Quelle (etwa mit Seitenzahlen) angegeben wird.

Bei der Umwandlung des Textes zeigt sich eine Schwachstelle von Citavi, da zwar ein Zitierstil nach DIN 1505 vorhanden ist, dieser aber schon bei der Einordnungsformel patzt und nur einer von sechs vorhandenen Stilen ist. Weitere Stile müssen mit dem eingebauten Editor erstellt werden.

Im Gegensatz zu den Titeln aus der Zeitschriftendatenbank lassen sich die BibTeX-Titel einfach importieren, nur bei der Hochschulschrift werden weder Jahr noch Typ erkannt.

Die Änderung des Zitierstils funktioniert problemlos, da das Ergebnis jeweils in einer neuen Datei abgespeichert wird. Der programmeigene Stil ist sehr viel besser umgesetzt als die Norm. Bei der Suche in der eigenen Datenbank können nicht mehrere Begriffe angegeben werden.

Als Zusatzfunktionen bietet die Software einen Wissensorganisateur und ein Aufgabenmanagement. Mit dem ersten Baustein können Texte oder auch Bilder, die Ideen oder Zitate enthalten, mit Notizen versehen werden und in Kategorien eingeordnet werden. Mit der Aufgabenverwaltung ist es sogar möglich, die eigene Bibliothek zu verwalten oder zumindest Ausleihfristen zu überwachen.

4.2 Visual Composer.NET

Das semantics-Programm Visual Composer.NET bietet vor allem im Recherchemodul einen alternativen Ansatz. Mit dem Erwerb der Lizenz wird der Zugang zum firmeneigenen Server frei geschaltet, über den der Zugang nicht nur auf eine Vielzahl weltweiter Bibliothekskataloge, sondern auch die Abfrage einiger kommerzieller Datenbanken und Buchhändler möglich ist.

Das Programm ist sehr datenbankorientiert, die eingegebenen oder importierten Titel werden nach Autoren geordnet und auch Zeitschriften werden als eigener Datensatz abgelegt.

Bei der manuellen Titelaufnahme leistet sich das Programm außer bei der Norm nur bei der Hochschulschrift Schwächen, da keine Hochschule angegeben werden kann. Die gesuchte Internetseite kann direkt im Programm angesehen werden. Über diesen Browser können bei der Recherche gefundene Titel direkt bestellt werden.

Bei der Recherche im GBV werden beim ersten Begriff zwar mehr Treffer gefunden als über die katalogeigene Suchfunktion, der zweite Suchbegriff wird jedoch nur noch acht mal gefunden und für die Kombination ergeben sich keine Treffer.

Die Zusammenarbeit mit Textverarbeitungen ist bei diesem System nicht automatisiert. Titeldaten können nur über die Zwischenablage eingefügt werden. Weiterhin ist kein Import aus anderen Datenbanken möglich, so dass das Programm nur noch mit der Suche in der eigenen Datenbank punkten kann. Die Suche über den Zeitraum von drei Jahren liefert jedoch keine Ergebnisse.

Die eigentliche Stärke von Visual Composer.NET liegt in der Verwaltung der gefundenen Literatur. Neben einem Aufgabenmanager können die gefundenen Quellen untereinander verknüpft werden. Während der Auswertung können umfangreiche Texte abgespeichert werden, aus denen Rohversionen von Texten direkt im Programm erstellt werden können.

4.3 Bibliographix

Das Programm Bibliographix gliedert sich in fünf Module auf. Neben der Ideenverwaltung sind die Werkzeuge zur Programmeinstellung mit den Im- und Exportfiltern, die Literaturdatenverwaltung mit der Quellenverwendung und die Onlinerecherche in Modulen zusammengefasst. Trotzdem bleibt das Programm durch unterschiedliche Menüstrukturen unübersichtlich.

Bei der Titelaufnahme fällt auf, dass beim Sammelband auf jeden Fall ein Autor eingegeben werden muss und dass für Internetquellen kein Datum der letzten Prüfung angegeben werden kann. Der Typ Norm fehlt vollständig.

Im sehr umfangreichen Recherchemodul besteht für den GBV die Möglichkeit, über die Z39.50-Schnittstelle oder über die Internetseite zuzugreifen. Die zweite Möglichkeit liefert zwar deutlich bessere Ergebnisse, der Import kann aber nur einzeln erfolgen.

Neben dem in das Programm integrierten LaTeX-Editor erfolgt die Zusammenarbeit mit der Textverarbeitung über ein so genanntes Widget. Dieses kleine Programmfenster bleibt ständig angezeigt und beinhaltet alle Funktionen, die zum Einfügen von Literaturstellen in Texte nötig sind. Bei der Umwandlung des Literaturverzeichnis in einer separaten Datei erzeugt.

Die Formatierung des verwendeten DIN 1505-Ausgabestils lässt ein wenig zu wünschen übrig, mit dem Zitierstileditor kann aber Abhilfe geschaffen werden. Sowohl der Import aus BibTeX als auch aus der Datenbank FIZ-Technik klappt problemlos. Nur bei Sammelwerken auch bei vorhandenem Herausgeber nach einem Autor verlangt wird.

Der Veränderung in der Datenbank und der Zitierstiländerung sieht das Programm ähnlich gelassen entgegen, wie sämtlichen Suchanfragen, die mit Bravour gemeistert werden.

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Funktionen bietet das Programm die Möglichkeit, Ideen und Titelangaben über Querverweise miteinander zu vernetzen. Anhand solcher Strukturen bleiben Recherchen nachvollziehbar.

Bei großen Datenbeständen wird das Programm zunehmend langsamer und zeigt Instabilitäten, dafür ist der Kundenservice rasend schnell.

4.4 Endnote

Nicht für den deutschen Markt lokalisiert ist das etablierte Literaturmanagementsystem Endnote. Dass es lange Zeit keine ernstzunehmende Konkurrenz für dieses Produkt gab, zeigt sich in der Bedienoberfläche, die sehr altbacken wirkt.

Darüber hinaus bietet die Hilfe wenig Unterstützung und die Bedienung ist alles andere als intuitiv. Somit ist auch erst mit einiger Einarbeitungszeit die richtige Variante zur Eingabe von zwei Herausgebern eines Sammelwerkes möglich.

Die händische Aufnahme der übrigen Titel erfolgt problemlos, Ausnahme ist wiederum die Norm. Bei der Online-Recherche treten ähnliche Probleme auf, wie vorher bei Citavi und Bibliographix, so dass keine Titel importiert werden.

Erwartungsgemäß die besten Ergebnisse liefert Endnote bei der Zusammenarbeit mit der Textverarbeitung. Zwar ist kein Zitierstil nach DIN-Norm vorhanden, jedoch werden mit der Funktion Cite-While-U-Write fertig formatierte Literaturverweise in den bearbeiteten Text eingefügt und entsprechende Einträge für ein Literaturverzeichnis angehängt. Somit entfällt das Kompilieren des Textes und eine spätere Formatüberarbeitung wegen langer Textmarken, wie sie bei anderen Programmen auftritt, ist unnötig.

Da die Literaturverweise als Textmarken eingefügt werden, ist auch eine spätere Änderung des Zitierstils im Handumdrehen möglich. Dem gegenüber bleiben alle Versuche erfolglos, Titeldaten aus der Literaturdatenbank einzufügen und auch die vorhandene BibTeX-Schnittstelle verweigert ihre Arbeit.

Dafür wurden alle Suchaufgaben ohne Probleme erledigt, womit der Funktionsumfang dieses Programms auch schon erschöpft ist.

4.5 RefWorks

Die Arbeitsgeschwindigkeit mit dem Onlinesystem RefWorks hängt von der Geschwindigkeit der vorhandenen Netzanbindung ab. Dafür ist es als einziges System plattformunabhängig, weltweit und stets in der aktuellsten Version verfügbar. Da es möglich ist, für eine Institution eine eigene Arbeitsgruppe anzulegen, die lokal verwaltet wird, können die meisten Probleme auf kurzem Wege behoben werden. Darüber hinaus gewährleistet der Anbieter Datensicherheit durch regelmäßige Sicherungskopien des Bestandes.

Die manuelle Eingabe von Daten ist teilweise holprig. Bei Zeitschriftenartikeln wird zum Beispiel nur die Startseite vermerkt und beim Typ Dissertation wird nach dem Zeitschriftentitel und nicht nach der Hochschule gefragt. Ein Typ für Normen ist auch hier nicht vorhanden, dafür kann mit dem Werkzeug RefGrab-It jede Internetseite mit nur einem Mausklick in die Referenzenliste aufgenommen werden. Bei der Recherche im Bibliothekskatalog wird die volle Trefferanzahl erreicht.

Für die Zusammenarbeit mit einer Textverarbeitung ist ein Extraprogramm Namens Write-N-Cite

vorhanden, aus dem mit einem Tastendruck Verweismarken in das aktuell geöffnete Dokument eingefügt werden. Die Umwandlung in ein Zitat erfolgt in einem zweiten Schritt. Da das System erst teilweise lokalisiert ist, fehlt der Zitierstil nach DIN.

Der Wechsel des Stils war jedoch ebenso wenig ein Problem wie der Import aus extern angelegten Literaturdateien. Aus der Technikdatenbank wurden sogar die Inhaltsangaben übernommen, so dass eine Recherche im eigenen Bestand auch dank hervorragender Suchfunktionen möglich ist.

Hiermit erschöpft sich der Funktionsumfang des Systems, eine Quervernetzung einzelner Quellen oder eine Ideen- oder Aufgabenverwaltung wird vergebens gesucht.

5 Zusammenfassung

Die durchgeführte Evaluierung der verschiedenen Programme zeigt unterschiedliche Ansätze. Die Grundfunktionen einer Literaturverwaltung werden immer erfüllt, aber erst die Zusatzfunktionen bestimmen, inwieweit ein solches Programm die Abläufe bei der wissenschaftlichen Arbeit ändert.

Da es von allen Systemen frei verfügbare Testversionen gibt, ist kann jeder Nutzer einen eigenen Favoriten wählen. Der grundlegende Vorteil, bei der Erstellung zitierfähiger Texte keine Zeit für richtige Quellenangaben zu verlieren, erschließt sich dabei sofort. Und auch für Benutzer alternativer Texterstellungssysteme sind die Programme interessant, da ein Datenexport in das BibTeX-Format immer möglich ist.

6 Literatur

- /1/ EndNote. (<http://www.endnote.com/>), Abgerufen: 31. Oktober 2006.
- /2/ Citavi - Literaturverwaltung und Wissensorganisation. (<http://www.citavi.de/>), Abgerufen: 31. Oktober 2006.
- /3/ Visual Composer .NET - Professionelles Literaturmanagement - Home. (<http://www.visualcomposer.de/>), Abgerufen: 31. Oktober 2006.
- /4/ Bibliographix : Literaturverwaltung Und Mehr. (<http://www.bibliographix.de/>), Abgerufen: 31. Oktober 2006.
- /5/ RefWorks Home Page. (<http://www.refworks.com/>), Abgerufen: 31. Oktober 2006.
- /6/ Norm DIN 1505 Teil 2 Januar 1984. Titelangaben von Dokumenten; Zitierregeln
- /7/ Wiegand, Dorothee: Gut zitiert ist halb geschrieben : Bibliografieprogramme erstellen korrekte Zitate und Anhänge. In: c't 2006, Heft 7, S. 160-165.

Erweiterung des Lehrangebotes des IMW – Optimierung von Bauteilstrukturen mit TOSCA 6.0

Lütkepohl, Anke; Schwarzer, Tim

Zum Wintersemester 2006/2007 wird am Institut für Maschinenwesen (IMW) ein neues Praktikum angeboten, das sich mit der Optimierung von Bauteilstrukturen beschäftigt. Für die Erweiterung der Ausbildung der Studenten wird die Software TOSCA verwendet, basierend auf Kenntnissen der FE-Software ANSYS die in einem entsprechenden Praktikum vermittelt wurden.

A new laboratory discussing the optimisation of component-topologies starts at winter term 2006/2007 at the Institut für Maschinenwesen (IMW). The education of the students will be extended by using the software TOSCA. Basic knowledge of the FE-software ANSYS was arranged at the corresponding laboratory.

1 Einleitung

Zum Wintersemester 2006/2007 wird das Lehrangebot des Instituts für Maschinenwesen um das Praktikum „Optimierung von Bauteilstrukturen mit TOSCA 6.0“ erweitert. Das Praktikum ist für Studenten des Hauptstudiums gedacht, Voraussetzung für die Teilnahme ist der erfolgreiche Abschluss der Veranstaltung „FEM-Praktikum mit ANSYS“, Kenntnisse im Umgang mit einem CAD-System sind von Vorteil. Das neue Praktikum soll den Studenten einen Einblick in die Möglichkeiten der Strukturoptimierung mechanisch beanspruchter Bauteile geben, unter Verwendung der Optimierungssoftware „TOSCA 6.0“ der Firma FE-Design.

2 TOSCA 6.0

Das Programm TOSCA ermöglicht eine parameterfrei Optimierung von Bauteilen mit beliebigen Belastungen und Randbedingungen, wobei als Basis für die Strukturoptimierung ein FE-Modell des Bauteils dient. Eine erneute Modellierung des Bauteils ist nicht notwendig, da mit TOSCA eine direkte Übergabe der Dateien zurück in das FE-System möglich ist. Die Bauteilbeanspruchungen werden in jedem Optimierungsschritt durch eine erneute FE-Berechnung ermittelt, es handelt sich demnach

um einen iterativen Prozess. Durch Algorithmen die auf mechanischen Qualitätskriterien basieren wird eine schnelle Optimierung realisiert, eine zuverlässige Auslegung und Entwicklung von innovativen Komponenten wird dadurch möglich /1/.

Mit TOSCA sind Topologie-, Gestalt- und Sickenoptimierungen etc. durchführbar. Zusammen mit geeigneter FE- und CAD-Software und durch den modularen Aufbau kann eine geschlossene Prozesskette realisiert werden, vom ersten Konzept bis zum fertigen Komponente /1/.

Im Folgenden werden kurz die beiden Module vorgestellt, die im neuen Praktikum Anwendung finden sollen. Verwendet wird die Version TOSCA 6.0.

2.1 TOSCA.topology

Das Topologie-Modul ermöglicht es dem Konstrukteur, nach Vorgabe eines gewünschten oder eines möglichen Bauraumes, das optimale Design für eine Komponente berechnen zu lassen, wobei verschiedenste Lastfälle und Randbedingungen Berücksichtigung finden. Aufbauend auf diesem Vorschlag kann im CAD-System die Detailkonstruktion vorgenommen werden. Neben vielen weiteren Optionen ist es z.B. möglich, Designvorschläge unter Berücksichtigung gewünschter Fertigungsverfahren abzurufen /1/.

2.2 TOSCA.shape

Mit Hilfe des Shape-Moduls kann die Gestalt bereits existierender Bauteile unter Einhaltung von Zielformulierungen, z.B. Gewicht, Wandstärke, Rotationssymmetrie oder Fertigungsforderungen wie Stanzbarkeit optimiert werden, um eine Spannungsreduzierung zu erzielen /1/.

3 Aufbau und Ziel des Praktikums

Ziel des Praktikums ist es, den Studenten einen Einblick in die Möglichkeiten einer Optimierungssoftware zu geben. Aufbauend auf den Kenntnissen und dem Wissen aus dem FE-Praktikum soll

den Studenten anhand von geeigneten Beispielen die Anwendung und das Verständnis für Optimierungsaufgaben vermittelt werden.

Voraussetzung für die Teilnahme am Praktikum ist der erfolgreiche Abschluss des ANSYS-Praktikums. Aus diesem Praktikum werden zunächst einfache Beispiele herausgegriffen, die den Einstieg in die Optimierungssoftware TOSCA erleichtern sollen. Zunächst müssen die Geometrien der Beispiele in ANSYS modelliert, die notwendigen Randbedingungen festgelegt und die FE-Berechnung der Bauteile durchgeführt werden. Nachdem an den ANSYS-Ergebnisdateien müssen entsprechend den TOSCA-Vorgaben einige kleine Anpassungen vorgenommen werden, bevor die Ergebnisdatei exportiert bzw. in TOSCA importiert werden kann. Nach dem Einladen der FE-Dateien werden die Bauteile Topologie- und Shape-Optimierungen unterzogen, d.h. es werden Optimierungen bzgl. ihres Volumens, ihres Gewichtes oder der Beanspruchung durchgeführt. Die für die Durchführung einer Optimierung notwendigen Einstellungen werden den Studenten in einem Skript, welches alle notwendigen Informationen über den Umgang mit TOSCA enthält, bereitgestellt. Nachdem der Optimierungsvorgang abgeschlossen ist, werden die Ergebnisse von den Studenten begutachtet und interpretiert. Neben der Betrachtung der Ergebnisse in TOSCA kann die Ergebnisdatei auch wieder in ANSYS eingeladen werden, da die Analyse in TOSCA nur hinsichtlich des eingestellten Optimierungsparameters erfolgt und in ANSYS auch alle anderen Parameter sichtbar werden. Nach der Durchführung einer Topologie-Optimierung kann die TOSCA-Ergebnisdatei in das CAD-System Pro/ENGINEER eingeladen werden, um aus den Daten eine für die Fertigung notwendige Zeichnung zu erstellen.

Nachdem die Studenten anhand der Beispiele einen Überblick über die Funktionen der Software erlangt haben, muss zum Abschluss des Praktikums selbständig, ohne Anleitung durch das Skript, ein Bauteil modelliert, berechnet und optimiert werden, mit anschließender Interpretation der Ergebnisse.

4 Optimierungsbeispiele

Bild 1 zeigt das Ergebnis der FE-Berechnung eines Bauteils. Dieses Modell wurde in TOSCA eingelesen und hinsichtlich des Volumens optimiert. Vorgegeben wurde dabei, dass die Bohrungsdurchmesser sowie die Dicke des Bauteils nicht verän-

dert werden durften. In **Bild 2** ist das Ergebnis der Optimierung dargestellt. Es wurde eine Volumenreduzierung von 5% erreicht, indem das Bauteil in der Mitte, an der gering beanspruchten Stelle, eingeschnürt wurde. In dem Bereich um die Bohrungen herum wurde das Bauteil geringfügig aufgedickt, um die zulässigen Beanspruchungen nicht zu überschreiten.

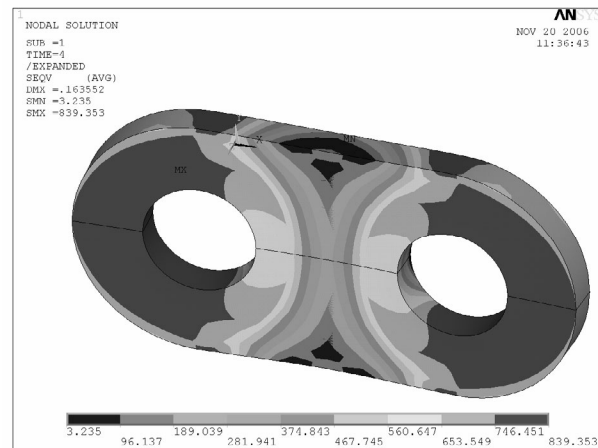


Bild 1: Bauteil vor der Optimierung

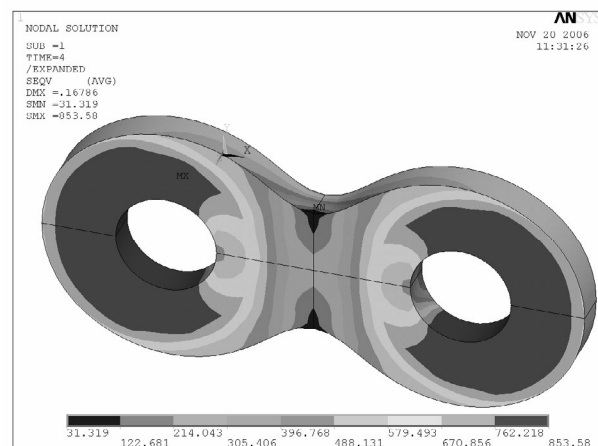


Bild 2: Bauteil nach der Optimierung

5 Zusammenfassung

Ein neu entwickeltes Praktikum soll den Studenten die Möglichkeit geben, Einblick in eine Optimierungssoftware zu erlangen. Aufbauen auf dem FE-Praktikum des IMW werden mit TOSCA 6.0 Topologie- und Shape-Optimierungen an verschiedenen Bauteilen durchgeführt.

6 Literatur

/1/ <http://www.fe-design.de/>,
23.10.2006

Abrufdatum:

Improving the structure and content of the Mexican engineering design education on university level

Sambale, B.; Dietz, P.

Das Studium des Maschinenbaus ist weltweit in den Grundzügen gleich, jedoch ist es das Spezielle, das eine Universität von den Anderen unterscheidet. Aufgrund der Spezialstellung, die das IMW in Bezug auf Konstruktion und Entwicklung einnimmt, wurde ein DAAD-Projekt mit mexikanischen Universitäten ins Leben gerufen, um diesen die Möglichkeit zu geben, selbst eine solche Fachrichtung zu entwickeln.

Mexican universities got a lack of methodical and integrative basics of a comprehensive engineering design understanding, which is mainly caused by university education. To eliminate this, a co-operation DAAD-project between the IMW and Mexican universities was established.

1 Introduction

The Institut für Maschinenwesen of Technische Universität Clausthal is conducting intensive relationships with the Mexican university CUCEI (Centro Universitario de Ciencias exactas e Ingenierias) in Guadalajara. Within this project, the basics of the German educational system shall be evaluated with respect to applicability in Mexican universities and transferred to Mexico. By introducing and evaluating this in a pilot project in Guadalajara it is possible to extend these structures to other Mexican universities.

In Mexico is a lack of methodical and integrative basics of a comprehensive engineering design understanding, which is mainly caused by university education. As representatives of science and industry in a discussion in December 2002 confirmed, the „German educational system for engineers is much more practical-oriented and efficient than the Mexican one“. The main points stated in this discussions were the German basic education with the integration of science of material, production and design, leading to basic projects like “Maschinelemente-Entwürfe”, where the students applies his theoretical knowledge to design products under the conditions of material properties and manufacturing abilities.

Also the process, the offers and the application of lifelong learning in Mexico is a very important factor in the education of engineers. This type of education plays an enormous role in Mexico (much more than in Europe) and at least one part of the here presented project must be directed to students of this type of courses.

The project oriented application of basic sciences including the challenge of a time-management in teaching mathematics, mechanics, material sciences, manufacturing and design like it is part of the curricula in Europe is up to now not known in Mexico.

2 Report of stay

Prof. Dr. Peter Dietz and Dipl.-Math. Bianca Sambale stayed about two weeks in Mexico. At Friday 10th of March, 2006 they arrived at Guadalajara Airport and they flew back from Mexico City Airport on Thursday 23rd of March.

In this time several meetings with the University of Guadalajara, Instituto Tecnológico of Irapuato and the Instituto Tecnológico of Queretaro were held, also the lecture “Konstruktionslehre” (Methodology of Design) had taken place in Guadalajara in the first week. Several students and members of the industry participated this lecture.

Within the first meetings Prof. Dr. Dietz and Dipl.-Math. Sambale explained the art of study and the curriculum in Germany and they discussed with Dr. Villavazo Naranjo and his assistant Mr. Rangel from the University of Guadalajara how to involve this in the career of a mechanical engineer in Guadalajara. An analysis of the Mexican curriculum of mechanical engineering, extensions and shortenings on it were made during the first week. Also a PowerPoint presentation about this work was made and presented to participants of the university, industry and state institutions of Guadalajara.

The discussions with the two Institutos Tecnológicos in the second week, where the presentation was also presented, showed that in this case another strategy is needed.

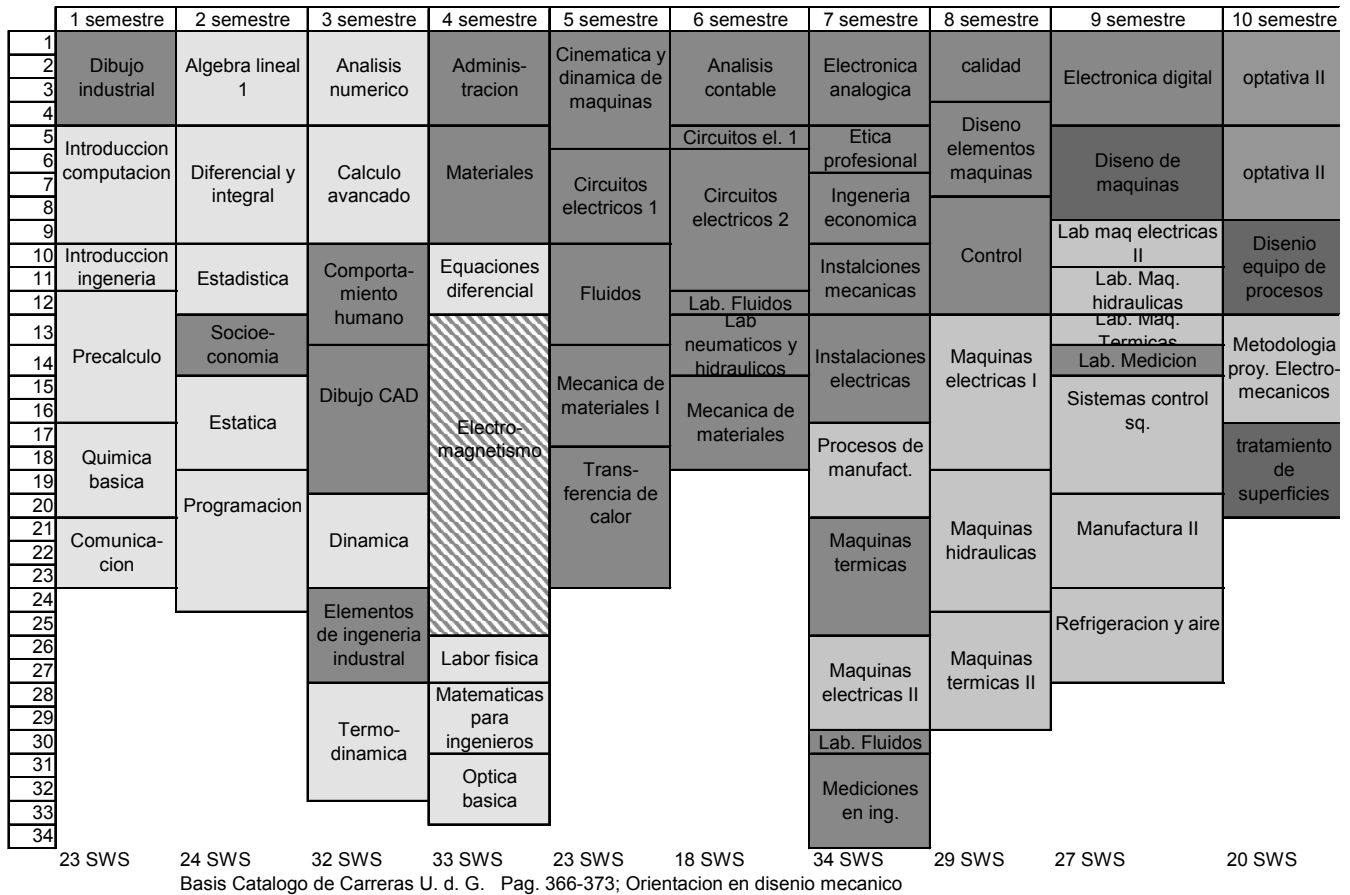


Figure 1 Curriculum split in choice and have to (SWS = hours/week)

2.1 Strategy Guadalajara

As one can see in Figure 1, more than 25 % of the lectures of the mechanical engineering career as existing in Guadalajara are basics in mathematics, informatics and natural science.

mathematics, informatics	47	17,87%
natural sciences	22	8,37%
basic ingen. sciences	38	14,45%
electronics	66	25,10%
economics, non-technicals	22	8,37%
basic machine design	17	6,46%
special machine design	51	19,39%
sum	263	100,00%

Table 1 Curriculum in %

The distributions of the other competences were shown in the table above (Table 1). Also Mexican Curriculum doesn't allow the students to choose much of their lectures (Table 2). The possibility to choose and organize their study for themselves is a good exercise for German students to learn "social competences", as autonomy, flexibility, ability to communicate and so on. They are also able to spe-

cialise themselves in things which belong to their interests. Mexican students haven't got this possibility until now.

		hours/week	%
	optional	8	3,04
	specials	12	4,56
	compulsory:		
	common basics	76	28,90
	peculiar basics	120	45,63
	specials	47	17,87
		263	
	sum		
	compulsory	243	92,40
	selective	12	4,56
	optional	8	3,04

Table 2 Table of choice in %

German industry questionnaires have shown that German universities serve the condition more than just well, looking on the basics of science and the specialisation. The next graphic shows the difference between the wanted condition from German

industry and the served one from German universities:

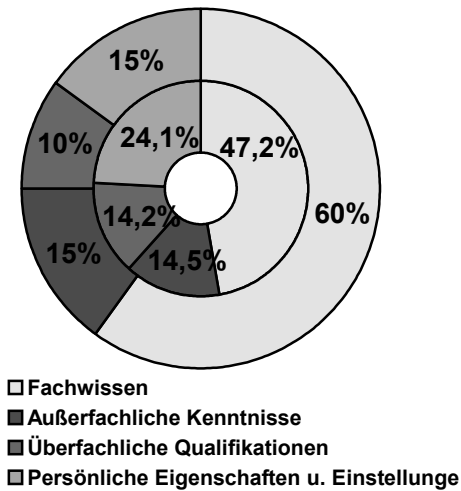


Figure 2 Outside: Supply of German University
Inside: Wishes of German Industry

As one can see, German universities are already teaching to much special competences (60% > 47,2%), which involved the basics of science and they serve more or less the need of methodical competences (14,5% > 15%). Mexican universities haven't any lectures of methodical competences at all, like "Konstruktionslehre" (Methodology of Design) and much more lectures, which belong to the basics of science and specialisation.

A percentage comparison of the two curricula of the University of Guadalajara, Mexico and TU Clausthal, Germany shows clearly the differences:

	Guadalajara		Clausthal
mathematics, informatics	17,87%	>	13,66%
natural sciences	8,37%	>	6,83%
basic engineer sciences	14,45%	<	26,09%
electronics	25,10%	>	8,70%
economics, non-technical	8,37%	<	9,32%
basic machine design	6,46%	<	22,36%
special machine design	19,39%	>	7,45%
social competence etc.	0,00%	<	5,59%
	100,00%		100,00%

Table 3 Comparison of Curricula

But what Mexican industry needs, are not just only bachelors, who know how machines are working and how to read a construction plan. Mexican industry needs bachelors with a view for methodical and integrative basics of a comprehensive engineering design understanding. Mexican industry needs more designers.

So a proposal for changes in the Curriculum was made, as one can see in **Figure 3** (left).

Most of the changes appear in the second half of the time spent in the university respectively Instituto Tecnológico. A curriculum related to more intensive education in design could now be designed as following (some old lectures were erased):

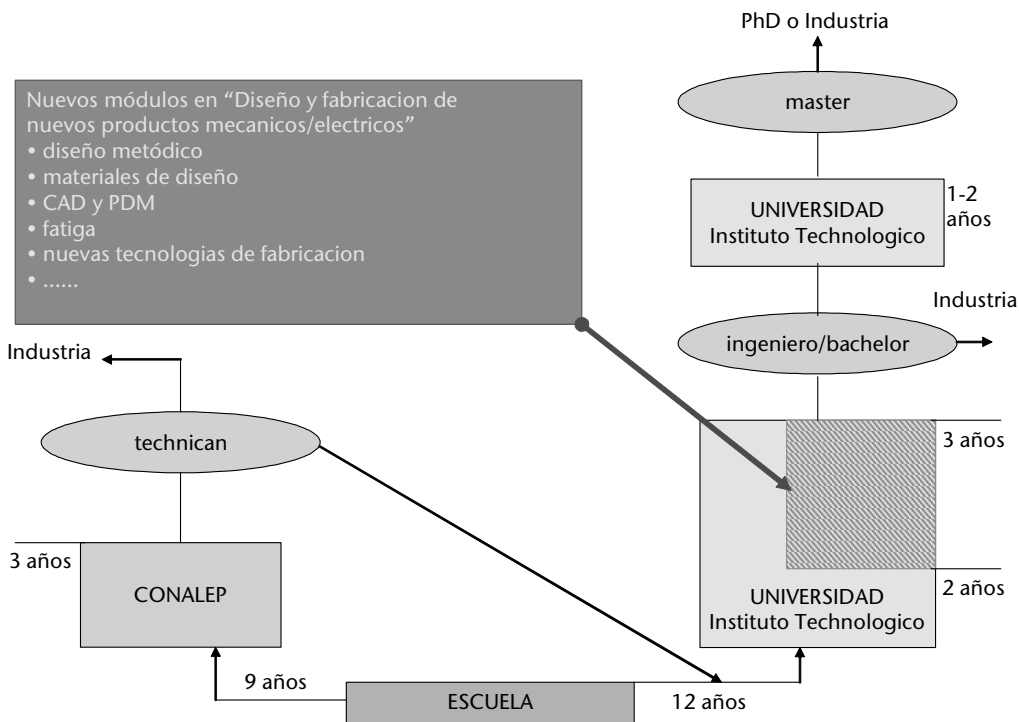


Figure 3 Where to change

	1. semestre	2. semestre	3. semestre	4. semestre	5. semestre	6. semestre	7. semestre	8. semestre	9. semestre	10. semestre							
1						Circuitos electricos 1											
2	Dibujo industrial	Matematica Ing. 2	Matematica Ing. 3	Administracion	Circuitos electricos 1	Circuitos electricos 2	Electronica analogica	calidad	Electronica digital	Dispositivos medicion							
3																	
4																	
5																	
6	Introduccion computacion	Socioeconomia	Comportamiento humano	Materiales	Fluidos	Lab. Fluidos	Etica profesional	Control	Electronica industrial	Instrumentacion							
7																	
8							Ingenieria economica										
9		Estatica	Dibujo CAD	Equaciones diferencial	Mecanica de materiales (para el diseno)	Lab neumaticos y hidraulicos	Instalaciones mecanicas	Maquinas electricas	Lab maq electricas	Robotica							
10																	
11	Matematica Ing. 1	Programacion	Dibujo CAD	Electromagnetismo	Transferencia de calor	Mecanica de materiales (para el diseno)	Instalaciones electricas	Maquinas hidraulicas	Lab. Maq. hidraulicas	Proyecto mecatronico							
12																	
13									Lab. Maq. Termicas								
14									Lab. Medicion								
15	Quimica basica	Procesos de manufactura 2	Dinamica	Temas selectados de fisicas	Labor fisica	Elementos del diseno 3	Procesos de manufact. Nuevos	Maquinas hidraulicas	Sistemas control sq.	Proyecto mecatronico							
16																	
17																	
18																	
19	Comunicacion	Procesos de manufactura 2	Elementos de ingenieria industrial	Labor fisica	Elementos del diseno 2	Proyectos diseno	Maquinas termicas	Metologia del Dis. 1	Mikro-Manufactura	Product Data Management							
20																	
21																	
22	Procesos de manufactura 1	Lab manufactura	Termodinamica	Elementos del diseno 1	Proyectos diseno	Elementos mecatronico	Maquinas termicas	Resistencia, fatiga 2	Mikro-Manufactura	Product Data Management							
23																	
24																	
25																	
26						Calculo con elementos finitos	Maquinas electricas	Maq. De transferencia	Refrigeracion y aire								
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	

Figure 4 Modification proposal

This Figure 4 is just an example, how a new career of a Mexican engineer, who will be able to design a new product, can look like. But just with add-ons and a small shortening of lectures, in a semester the hours per week would grow extremely high.

Another possibility is a total change of the curriculum (Figure 5).

In this proposed total modified curriculum students have more possibilities to choose their lectures (shown in Table 4).

	1. semestre	2. semestre	3. semestre	4. semestre	5. semestre	6. semestre	7. semestre	8. semestre	9. semestre	10. semestre								
1						Circuitos electricos 1												
2	Dibujo industrial	Matematica Ing. 2	Matematica Ing. 3	Administracion	Circuitos electricos 1	Circuitos electricos 2	Electronica analogica	calidad	Electronica digital	SELECTIVA 6								
3																		
4																		
5																		
6	Introduccion computacion	Socio-economia	Comportamiento humano	Materiales	Fluidos	Lab. Fluidos	Instalaciones mecanicas	Control	Lab. Medicion	ABIERTA 3								
7																		
8																		
9		Estatica	Dibujo CAD	Temas selectados de fisicas	Mecanica de materiales (para el diseno)	Lab neumaticos y hidraulicos	Instalaciones electricas	Metologia del Dis. 1	Sistemas control sq.	ABIERTA 4								
10																		
11	Matematica Ing. 1	Programacion	Dibujo CAD	Temas selectados de fisicas	Elementos del diseno 2	Mecanica de materiales (para el diseno)	Mediciones en ing.	Lab maq electricas	Mikro-Manufactura	Proyecto mecatronico								
12																		
13																		
14	Quimica basica	Procesos de manufactura 2	Dinamica	Labor fisica	Elementos del diseno 2	Elementos del diseno 3	SELECTIVA 2	SELECTIVA 3	SELECTIVA 5	Proyecto mecatronico								
15																		
16																		
17																		
18	Comunicacion 1	Procesos de manufactura 2	Dinamica	Matematicas para ingenieros (Estadistica)	Proyectos diseno	Proyectos diseno	SELECTIVA 2	SELECTIVA 3	SELECTIVA 5	Proyecto mecatronico								
19																		
20																		
21	Procesos de manufactura 1	Lab manufactura	Termodinamica	Elementos del diseno 1	SELECTIVA 1	Elementos mecatronico	Maquinas electricas 1	SELECTIVA 4	SELECTIVA 5	Product data management								
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		
	25 SWS	23 SWS	24 SWS	24 SWS	24 SWS	24 SWS	26 SWS	25 SWS	26 SWS	26 SWS								

Figure 5 Total modification proposal (SWS = hours per week)

	new		<	old	
	week/hour	%		week/hour	%
compulsory	203	82,19	<	243	92,40
selective	27	10,93	>	12	4,56
optional	17	6,88	>	8	3,04
sum	247	100	<	263	100

Table 4 Total modification proposal in %

Also in the original Curriculum, as seen in Figure 1, the hours per week vary from 18 hours in the sixth semester to 34 hours in the seventh. In the new proposal the hours per week were uniformly distributed, so that Mexican students have constant amount of work during their whole study.

2.2 Strategy Institutos Tecnológicos

As said before the strategy for the Institutos Tecnológicos should be a different one. The problem in this case is, if they are not a private institute, the Institutos are not allowed to design their own career unlike the universities. The DGEST (General Directorate of technological education) creates a career plan and every state-run Instituto Tecnológico has to adhere to it.

The below shown **Figure 6** describes the career of mechanical engineer at the IT Queretaro. The Institutos Tecnológicos have got a strict plan to hold on. They are only free in the choice of offer some specialities in the 9th semester (**Table 5**).

	hours/week	semester
compulsory	340	1-8
specialities	40	9
practicum	20	9

Table 5 Disposition at the IT Queretaro

How to solve this problem has to be discussed in further meetings.

3 Resume of Meetings

The meeting partners of SEPROE (Secretary Promocion Economía) Ms. Laura Guevara, Directora Sectorial, Minister of Economy of State and of CAREINTRA (Cámara Regional de la Industria de Transformación del Estado de Jalisco) Mr. Jose Flores and Ms. Mariciela Ramos Saenz Pardo agree with the necessity of change in the career of the Mexican mechanical engineer. They also agree in the opinion that the period of education has to be shortened and the content has to change in much

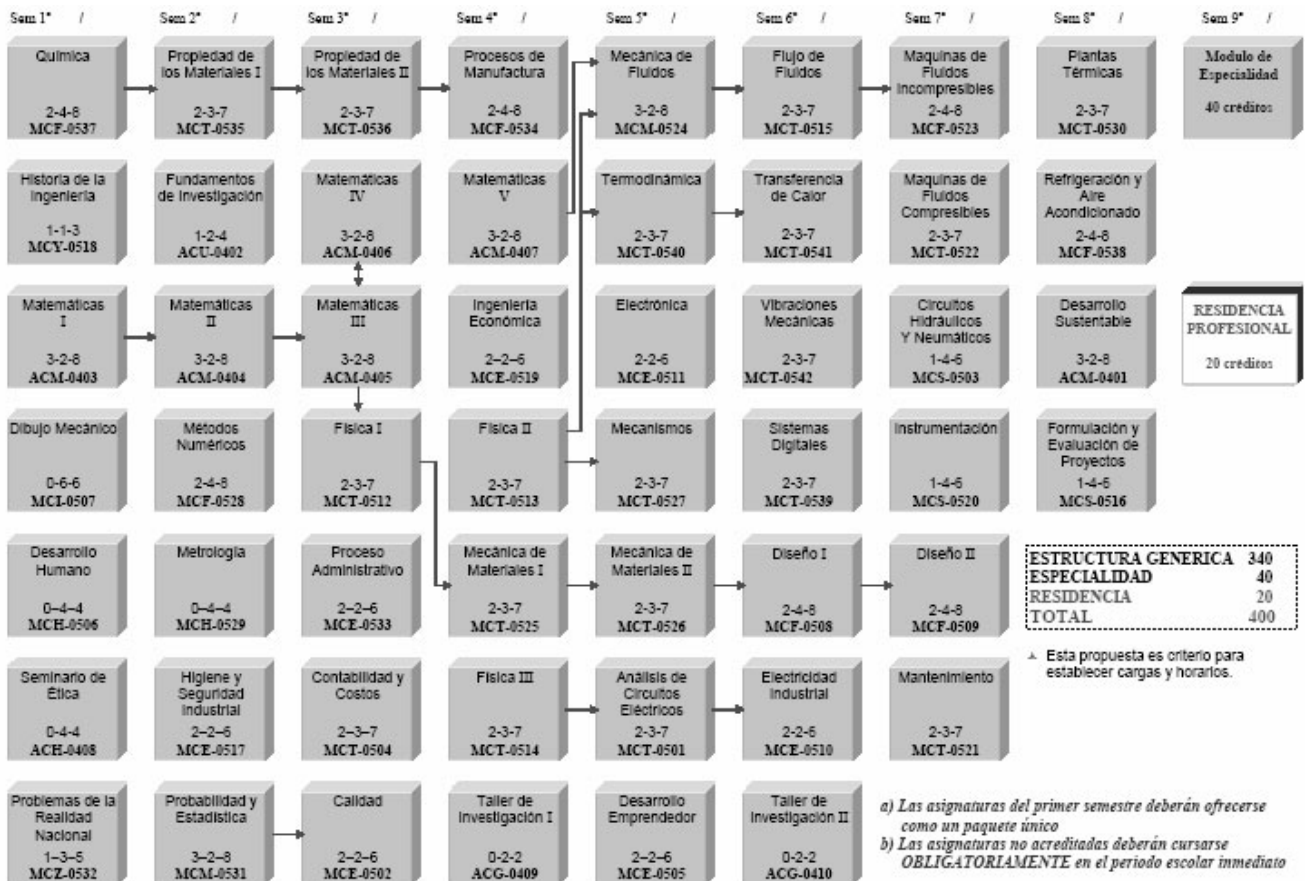


Figure 6 Curriculum Mechanical Engineer IT Queretaro

more applied and comprehensive lectures.

The Institutos Tecnológicos are very interested in this project.



Figure 7 Meeting with an Instituto Tecnológico

4 Further Steps

The first meeting to fix the first steps of the program (namely the offers of contents, time, place and target group of the intensive courses) for the next two years was already held. The next step, as shown in the table below (**Table 6**), should have been a sort of summer school in September / October, but special circumstances displaced this step into the next year. These courses will be given first by professors and teachers from Clausthal university and if needed, experts from German industry.

In doing so, a fluxionary handing over to Mexican professors is planned during the project. The courses will have duration of three to four weeks, depending from the Mexican situation.

Contemporaneous it is planned to have meetings in Guadalajara with these professors and teachers in order to give the Mexican participants the possibility to evaluate and decide about lectures and the respective contents.

During their stay, the professors from Clausthal will also meet with other professors and university management responsible people to conduct extended conversations about the framework and the major requirements for changing and improving the Mexican teaching system. There will be special talks about the specific requirements of Guadalajara university, for which the program will have to be adopted to.

Another point, which started in 2006, is the clarification and planning of a curriculum for a new engineering career. During this phase the integration of the modules will be prepared and the curriculum for Mexico will be fixed. This phase take place since July 2006, the results of this step should enable the University of Guadalajara to offer the new course in the middle of 2007.

The different modules are based on lectures given at different institutes of the university. This task will be lead by the IMW (Institut für Maschinenwesen). The respective courses will have to be adapted to the local situation. In addition, the overall engineering curriculum at the University of Guadalajara needs to be analysed regarding the knowledge of students in mathematics, physics and engineering mechanics. On one hand, this enables a better understanding for the new classes in terms of what is known and what needs to be introduced. On the other hand, basis lectures may be adapted to cover the basics required for the new design classes.

id	Task	Begin	End	2006				2007				2008				2009			
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1	Determination of requirements, Programm conception	01.01.2006	30.06.2006	■	■														
2	Add on arrangements alongside the course	01.07.2006	31.12.2009			■			■			■					■		
3	Clarification of Curriculum	01.07.2006	31.12.2006			■	■												
4	Participation of mexican Professors in german University	01.01.2007	30.06.2008					■	■	■	■								
5	Introduction of new engineering career	01.07.2007	30.06.2009						■	■	■	■	■	■			■	■	
6	Evaluation and Improvement, Adoption in mexican Curriculum	01.07.2008	31.12.2009										■	■	■	■	■	■	

Table 6 Timetable of the project IMPROVENG

ESOF2006 – EUROSCIENCE Open Forum in München

Rolshofen, W.

Das EUROSCIENCE Open Forum (ESOF) hat dieses Jahr im Deutschen Museum in München stattgefunden. Der Hintergrund sowie die Motivation für diese Konferenz werden in diesem Artikel beschrieben. Exemplarisch sind einzelne Programmpunkte aufgeführt.

The EUROSCIENCE Open Forum (ESOF) took place in Deutsches Museum Munich this year. Concept and aims of this conference are described in this article. Exemplarily, some events are mentioned.

1 EUROSCIENCE

Die Vereinigung EUROSCIENCE wurde 1997 gegründet und deren Mitglieder arbeiten europaweit an dem Aufbau einer Wissensgesellschaft "from the bottom-up". Die Ziele hierbei sind:

- die Verbindung zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu stärken,
- die Verwirklichung eines europäischen Forschungsraumes mitzugestalten,
- Einfluss auf europäische Forschungs- und Technologiepolitik auszuüben,
- das EUROSCIENCE Open Forum (ESOF) als Forum für offenen Dialog über Wissenschaft und Technologie in Europa zu etablieren".

Vertreten wird dies durch Wissenschaftler aller Disziplinen (auch Sozial- und Geisteswissenschaften) aus Universitäten, Forschungseinrichtungen sowie Industrie und Wirtschaft. Doch diese Organisation lädt weitere Wissenschaftler, Lehrer, Doktoranden zur Mitarbeit ein; generell jeden, der interessiert an Wissenschaft und Technik ist.

In einzelnen Arbeitsgruppen bzw. regionalen Vertretungen werden Konferenzen oder Arbeitstreffen zu Themen wie Integration und Zusammenarbeit innerhalb der europäischen Wissenschaft, Verantwortung von Wissenschaftlern gegenüber der Gesellschaft und Ethik der Wissenschaft vorbereitet und abgehalten.

Zusätzlich versucht EUROSCIENCE seinen Einfluss auf europäische Einrichtungen, nationale Regierungen zu vergrößern und steht mit seinen Experten auf Nachfrage als Gutachter zur Verfügung.

Das erklärte Ziel ist, der wissenschaftlichen Zusammenarbeit innerhalb und über alle Grenzen Europas mehr Nachdruck zu verleihen.

2 EUROSCIENCE Open Forum (ESOF)

Aufgrund des bekundeten Wunsches der europäischen Wissenschaftler und dem offensichtlichen Bedarf nach einer unabhängigen Form zum Austausch und Dialog untereinander hat EUROSCIENCE das EUROSCIENCE Open Forum ins Leben gerufen /1/.

Wissenschaft und Technik bilden einen wesentlichen Einfluss auf das alltägliche Leben, doch viele Grundlagen sind nur Spezialisten der jeweiligen Fachgebiete zugänglich. Es soll daher nicht einfach eine weitere wissenschaftliche Konferenz abgehalten werden, sondern Fachvorträge sind eingebettet zwischen Diskussionsrunden und Ausstellungen. In einem Rahmenprogramm wird die Bevölkerung aller Altersgruppen zum Ausprobieren von Exponaten eingeladen, um die Faszination von Naturwissenschaft und Technik mit allen Sinnen neu zu erleben.

Außerdem wird auf die vielfältigen Möglichkeiten für junge Nachwuchswissenschaftler in Europa hingewiesen, um diese für neue Aufgaben zu motivieren und gemeinsam an der Entwicklung einer Forschungslandschaft zu arbeiten.



Bild 1: Bundespräsident Horst Köhler während der Eröffnungsveranstaltung (Quelle: ©David Auserhofer/ESOF2006)

2.1 Das zweite ESOF in München

Da das Open Forum alle zwei Jahre stattfindet, war nach der Station in Stockholm im Jahre 2004 das Ziel diesmal Jahr München. Dort fand parallel der

Wissenschaftssommer statt. Unter der Leitung des Generaldirektors Wolfgang M. Heckl wurde ein vielfältiges Programm in den Räumen des Deutschen Museums vom 15. bis 19. Juli der Öffentlichkeit präsentiert.



Bild 2: Der Direktor des MPI für Hirnforschung, Frankfurt, Wolf Singer sprach über Neurobiologie und das Konzept der Willensfreiheit (Quelle: ©David Ausserhofer/ESOF2006).

So hat beispielsweise der Nobelpreisträger Theodor Hänsch in seinem Vortrag „A passion for precision“ erläutert wie wichtig Neugier auf der Suche nach neuen Wegen ist. In dem Seminar zu „Ludwig II.: the visionary king of Bavaria“ unter Beteiligung von S.K.H. Prinz Leopold von Bayern ging es um die Leistung von Ludwig II. bei der praktischen Anwendung von wissenschaftlichen Erkenntnissen. Zu dem Thema der wissenschaftlichen Sitzung „Free will vs. determinism?“ sprach Wolf Singer über Neurobiologie und das Konzept der Willensfreiheit.



Bild 3: Empfang für die ESOF2006 Teilnehmer in der Flugwerft Schleißheim (Quelle: ©David Ausserhofer/ESOF2006).

Außerdem gab es Veranstaltungen, wo die Teilnehmer direkt Forschungsergebnisse an Objekten testen konnten, wie „TAI-CHI: Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction“ /2,3/

oder während des Besuches von „Mysterix – the science truck“.

Einen direktem Austausch mit renommierten Wissenschaftlern war für junge Forscher im Innenhof des Museums, dem Science Biergarten, während des „Pretzel with the Prof“ möglich. Die Organisatoren hatten darüber hinaus auch gesellige Programmpunkte vorgesehen. Herausragend war der Empfang in der Flugwerft Schleißheim (s. **Bild 3**).

3 Zusammenfassung

Insgesamt haben über 2100 Teilnehmer aus 58 Ländern teilgenommen und viele stimmten über ein, dass das ESOF2006 eine notwendige und gelungene Form für den Austausch von Wissenschaftlern unterschiedlichster Fachbereiche und Journalisten, Politikern, Industrievertretern und dem interessierten Publikum war.

Da ein solches Forum durch seine Teilnehmer erfolgreich wird, sind alle zum nächsten ESOF in Barcelona 2008 eingeladen (www.esof2008.org). Auch ein schönes Treffen muss einmal beendet werden, doch bleibt die Vorfreude auf das nächste!



Bild 4: Teilnehmer während der Abschlussveranstaltung (Quelle: ©David Ausserhofer/ESOF2006).

4 Literatur

- /1/ EUROSCIENCE News 35
- /2/ Rolshofen, W., Dietz, P. und G. Schäfer: TAI-CHI- Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction, Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Fachbeiträge der 31. Deutschen Jahrestagung für Akustik DAGA '05, München, ISBN: 3-9808659-1-6
- /3/ Eil, R.: Controlling computers by tapping on a table, Editor's Choice in ESOF2006 Newsletter 03

Bericht eines Austauschstudenten aus Shanghai - Culture Exchange Internship Report

Qu, Tao; Lütkepohl, Anke

Dieser Artikel wurde von einem Austauschstudenten aus Shanghai verfasst, der ein achtwöchiges Praktikum am Institut für Maschinewesen absolvierte.

This article was written by an exchange-student from Shanghai, during his eight week internship at the Institut für Maschinenwesen.

1 Culture shock?

It seems that this summer holiday passed much faster than the previous ones, maybe the reason is when engaging in something and enjoying the life, time passes incredibly fast. One summer, two-month internship in Germany, this is what I have experienced. Looking back at the first day I got off the plane and stepped on the land of Deutschland with excitement and curiosity, all the cities, all the people, language, weather, smell, sound, flavor even each feeling of the air I was breathing, everything here is quite different, new and strange to me.

Before I left for Germany, so many people were talking about the so called Culture Shock, what's Culture Shock? Firstly, Culture Shock can be described as the feeling of confusion and disorientation that one experiences when facing a large number of new and unfamiliar people and situations. Actually, I don't think I felt such kind of confusion or disorientation at all, because I really like the exoticism in Deutschland, that may be because I am a person who likes changes and novelty. Besides, the other meanings such as being touched or affected in the deep heart by the new atmosphere and environment, which may be what I did feel-----German Culture.

2 People in Germany

Friendly, this is the first word that flicks into my mind referring to German people. Try to pick up any German on the street and ask for direction, I guarantee that none of them will reject your question; instead, you will surely get a satisfied answer. Remember the first day of my arrival, the train I took

broken down in the station, and I was totally at a loss. I thought I would miss the next connection. Fortunately, a very nice German lady helped me change the connection of the train, and led me to the other platform, thanks god, nice German. Most of the people say that Germany is a very rigid and prideful nation, but I didn't feel that so much, at least on the German friends I know in TU Clausthal. In my opinion, in Germany, the relationship between people is not as complicated as that in China, they just do what they want to do, talk with the people who they want to.

Even though I have said they are very friendly, but sometimes Germans aren't always going to come up and introduce themselves to strangers especially if they know that you don't speak their language. I worked in the university, so almost everyone speaks English, but not all Germans know English and even if they do they might be not comfortable to use it. Even if you don't know much about German, most of them will appreciate you learning their language.

Additionally, importance is never contact with personal space and privacy in Germany. I lived in a student apartment, we had six people sharing one living room, excepting party time and dinner time, almost all of the doors are always closed. This doesn't show their hostility, just because they greatly value their privacy. This also doesn't necessarily mean that you can't go in, just knock door slightly, then you will hear 'come in please!'. You can also conclude it from the structure from German houses, almost all private homes in Germany have a fence or a hedge around it to keep away from the noise and outside world.

In Germany people like to shake hands when they meet. This applies not only for the first time, but also at almost every time they meet in the daily life. So, when you're visiting people, make sure to keep your hands out of your pockets and make eye contact with the person you're shaking hands with.

3 Life in Germany

The life in Germany seems much more relaxing, I mean except of the working hours. Perhaps the reason is that where I stayed is a small town, Clausthal-Zellerfeld. But it doesn't matter, indeed, it is a kind of life style in Deutschland. Every morning, after brief breakfast with toast, butter and milk, get on the way to work. I always see some people whose ages range from teenage to around seventy years old walking their dogs on the street. Referring to dogs, it can not be denied that dog is one of the very important parts of German life. Almost all of the families here have their own dog family member. They are treated as children, and Germany also has complete law about dogs. It's usual or acceptable to find someone's dog lying underneath the table in a restaurant or sitting beside their seat on a train. I remember once a German friend asked me why Chinese government allows people to kill dogs even to eat them, that is horrible. What I supposed to say? Because in China, we have a lot of homeless dogs? Probably, it is due to the difference between two cultures.

There is something that I couldn't get used to at first. In Germany businesses and shops can't be open as long as they please. There are strict regulations set up on the hours they can be opened. Before 9:00am or 10:00am almost the only shops that are open are Bakery's. All businesses are also required to close for an hour or two during lunch in order for families to go home and have lunch with other family members. They reopen at about 1:00pm or 2:00pm until about 6:00pm. What's more, almost all of the shops are closed on Sunday, which is usually called Shopping Day in China. Although it gives inconvenience, German people have been accepting it for a long time, it's a part of their lives.

Nightlife is also indispensable here, especially for youths. On the table in Mensa (student canteen), you can easily find the information about some parties which will be hold in this club or that bar on certain Friday or Saturday night. I used to ask a student here why they are so crazy about party and I did join them for many times. Then I recognized how stupid that question was, it's just like asking why human being should eat food. Music, dancing, drinking, friends and endless chatting, laughing, everybody enjoys himself or herself, releasing the pressure from daily work and study. On the other side, without noisy rock&roll and drastic dancing, there is a total different way to be relaxing as well.

Ordering a cup of cappuccino and a piece of cheese cake or ice-cream, choosing a outside seat beside the street to sit down, just watch on the people passing by, kill a slouchy afternoon under the sunshine. This is life.

4 Work in Germany

Originally, my impression on the work in Germany is like that I have to get to my office at a fixed time every morning, and what waiting for me are stacks of paper. But in fact, on the first talk between me and my supervisor, Mrs. Guthmann, I figured out that it was entirely unnecessary to worry about that. I could arrange and control my own working hours. Compared with other aspects, I don't have much feeling about my work, even though one of my main duties is to work. The reason is that actually I was not working in TU Clausthal, but studying here. So I didn't have much pressure from my work, just like a student, arranging the schedule by myself. The first task my supervisor gave me is to learn and know well about how to use Pro/Engineer, which is an engineering program. Although I have learnt something about it before, it still took time to master this program. After that, I began to do some simple work on it, including creating 3D models for some components of machine, assembling all parts into an integral mechanism model, doing kinematic simulation and analysis of mechanism, etc. Afterwards, she gave me a tutorial to learn some knowledge about CNC (CAD/Numerical Control), but it's only written in German, my god. I begun to regret that I haven't learn German before this internship. It is true that I didn't feel so tight when I was working, but it doesn't show that all the work in Germany is like mine. 'Purity is wisdom and simplicity is efficiency.' once a wiser said. I think if use the last half of this saying to describe the work which is done by Germans can not be more appropriate.

Culture itself is neither education nor law, it is an atmosphere penetrating each cubic centimeter of the air, it's a heritage inherited from ancient ancestors. Sometimes you can not describe it clearly, just feel, enjoy and get used to it. All in all, it's hard to say if I have learnt lots within the fleeting two months, but I am sure I felt a lot, saw a lot, and experienced a lot. Perhaps this is the essential value of this internship training. I am grateful to all the people who helped me within these two months for giving me such an unforgettable experience.

Neue Strukturen an der Technischen Universität Clausthal

Wächter, M.

Eine neue Hochschulgesetzgebung bringt verschiedenste Änderungen mit sich, die Neugestaltung von Bachelor- und Masterstudiengängen, die Abschaffung der bisherigen Fachbereiche und Fakultäten, die Leitung der Hochschule durch ein Präsidium und die Einführung von Studienbeiträgen um nur einige Kriterien zu nennen.

A new university legislation entail different changes. The reorganisation of bachelor and master studies, the abolishment of the previous faculties and departments, the replacement of the university leader by a president and the creation of study contributions are some of the criteria.

1 Umstrukturierungen an den Hochschulen

Mit dem in Kraft treten des Niedersächsischen Hochschulgesetzes (NHG) von 2003 ist eine Umstrukturierung der Hochschulen einhergegangen. Zentrale Organe der Hochschule sind das Präsidium und der Senat, wobei das Präsidium die Hochschule in Eigenverantwortung leitet und der Senat die Ordnungen der Hochschule außer Fakultätshoheiten beschließt und ein Informationsrecht gegenüber dem Präsidium hat.

Die Aufgaben der alten Fakultäten und Fachbereiche wurden zusammengefasst, durch neue Aufgaben erweitert und von den neuen Fakultäten übernommen /1/.

Die Hochschule gliedert sich in Fakultäten, die möglichst fächerübergreifend die Aufgaben der Hochschule in Forschung, Kunst, Lehre, Weiterbildung und Dienstleistung erfüllen. Deren Organe sind das Dekanat und der Fakultätsrat. Das Dekanat setzt sich aus dem Dekan bzw. Dekanin, dem Prodekan/in und mindestens einem Studiendekan/in zusammen, deren Amtszeit 3 Jahre beträgt, es leitet die Fakultät /2/.

Der Fakultätsrat, zusammengesetzt aus 13 Mitgliedern aus allen Gruppen der Hochschule, entscheidet in Angelegenheiten der Forschung und Lehre. Er beschließt die Ordnungen der Fakultät, speziell die Prüfungsordnungen, und nimmt zur Einführung, wesentlichen Änderung und Schließung von Studiengängen gegenüber dem Präsidium Stellung.

Die Fakultäten wiederum gliedern sich in Institute, die von einem Direktorium geleitet werden. Den Instituten ist freigestellt einzelne Abteilungen zu bilden. Für die Studienebenen sind in den Fakultäten die Studienkommissionen verantwortlich.

Auf zentraler Ebene können wissenschaftliche Forschungsverbände (Forschungszentren) und Einrichtungen mit Dienstleistungsaufgaben (Betriebs-einheiten) gebildet werden.

2 Struktur der TU Clausthal

Im Rahmen der Umstrukturierung der TU Clausthal nach Vorgabe des NHG zum 01. April 2005 spiegelt die neue Fakultätsstruktur der Hochschule die Clausthaler Kompetenzen mit dem spezifischen Charakter der Interdisziplinarität deutlich wider. Die insgesamt 34 Institute sind drei Fakultäten zugeordnet.

Die Fakultät I

Fakultät für Natur- und Materialwissenschaften

mit dem Institut für

- Anorganische und Analytische Chemie
- Metallurgie
- Nichtmetallische Werkstoffe
- Organische Chemie
- Physik und Physikalische Technologien
- Physikalische Chemie
- Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik
- Technische Chemie
- Theoretische Physik
- Werkstoffkunde und Werkstofftechnik

fasst die Institute der Chemie, Physik und Materialwissenschaften zusammen.

Die Fakultät II

Fakultät für Energie- und Wirtschaftswissenschaften

zugehörig das Institut für

- Aufbereitung und Deponietechnik
- Bergbau
- deutsches und internationales Berg- und Energierecht

- Elektrische Energietechnik
- Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik
- Erdöl- und Erdgastechnik
- Geologie und Paläontologie
- Geophysik
- Geotechnik und Markscheidewesen
- Mineralogie und Mineralische Rohstoffe
- Umweltwissenschaften
- Wirtschaftswissenschaft

umspannt die Forschungs- und Lehrschwerpunkte Energie, Rohstoffe und Wirtschaft.

Die Fakultät III

Fakultät für Mathematik/Informatik und Maschinenbau

setzt sich zusammen aus dem Institut für

- Chemische Verfahrenstechnik
- Elektrische Informationstechnik
- Informatik
- Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit
- **Maschinenwesen**
- Mathematik
- Mechanische Verfahrenstechnik
- Prozess- und Produktionsleittechnik
- Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren
- Technische Mechanik
- Thermische Verfahrenstechnik
- Tribologie und Energiewandlungsmaschinen

und kombiniert die eher theoretischen Gebiete der Mathematik mit den anwendungsorientierten Fachgebieten Informatik, Maschinenbau und Verfahrenstechnik.

Ferner sind 7 interdisziplinäre wissenschaftliche Einrichtungen und Arbeitsgruppen an der TU Clausthal angesiedelt:

- Europäisches Graduiertenkolleg Microstructural Control in Free-Radial Polymerization
- Informationstechnisches Zentrum
- Laser Anwendungs Centrum
- Polymerzentrum
- Promotionskolleg Hochtemperatur-Stoffbehandlungsprozesse
- Simulationswissenschaftliches Zentrum
- Sonderforschungsbereich 675

3 Studienangebote der TU Clausthal

In den verschiedenen Lehrinheiten werden 8 Bachelor-, 13 Master- und 12 Diplomstudiengänge angeboten, diese sind fachlich fünf Studienkommissionen zugeordnet:

- Studienkommission Natur- und Materialwissenschaften
- Studienkommission Energie und Rohstoffe
- Studienkommission Wirtschaftswissenschaften
- Studienkommission Mathematik/Informatik
- **Studienkommission Maschinenbau / Verfahrenstechnik**

Die Studiengänge, die von der Studienkommission Natur- und Materialwissenschaften betreut werden, sind mit Ausnahme des Ergänzungsstudiengangs Physik/Physikalische Technologien konsekutive Bachelor- und Masterstudiengänge:

- Chemie (Bachelor of Science)
- Chemie (Master of Science)
- Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Bachelor of Science)
- Materialwissenschaft (Master of Science)
- Werkstofftechnik (Master of Science)
- Physik (Bachelor of Science)
- Physikalische Technologien (Master of Science)

In der Lehrinheit Energie und Rohstoffe sind Studiengänge fächerübergreifend zusammengefasst, die sich mit dem gesamten Stoffkreislauf von Rohstoffen, der Gewinnung, der Aufbereitung, der Weiterverarbeitung (Veredelung) und dem Recycling bzw. der Deponierung sowie mit Energiesystemen, Energieeinsparungen und Energierückgewinnungen befassen. In diesem Bereich sind gut 50 % der Studiengänge konsekutive Bachelor- und Masterstudiengänge, ferner Diplom- und Ergänzungsstudiengänge:

- Energie und Rohstoffe (Bachelor of Science)
- Geoenvironmental Engineering, Geoumwelttechnik (Bachelor of Science)
- Energie- und Rohstoffversorgungstechnik (Master of Science)
- Petroleum Engineering (Master of Science)
- Radioactive and Hazardous Waste Management (Master of Science)
- Energiesystemtechnik (Diplom)
- Umweltschutztechnik (Diplom)

- Ergänzungsstudiengang Umweltschutztechnik (Diplom)
- Weiterbildungsstudiengang Rohstoffversorgungstechnik (Master of Science)

- Angewandte Mathematik (Master of Science)
- Operations Research (Master of Science)
- Informatik/Wirtschaftsinformatik (Bachelor of Science)
- Informatik (Master of Science)
- Wirtschaftsinformatik (Master of Science)

Die Studienkommission Wirtschaftswissenschaften zeichnet verantwortlich für:

- Betriebswirtschaftslehre (Bachelor of Science)
- Technische Betriebswirtschaftslehre (Master of Science)
- Wirtschaftsingenieurwesen (Diplom).

Die Lehreinheit Maschinenbau und Verfahrenstechnik beharrt gegenwärtig noch auf den bewährten Diplom- und Ergänzungsstudiengängen:

- Chemieingenieurwesen (Diplom)
- Informationstechnik (Diplom)
- Maschinenbau/Mechatronik (Diplom)
- Verfahrenstechnik (Diplom)
- Ergänzungsstudiengang Chemieingenieurwesen/Verfahrenstechnik (Diplom)
- Ergänzungsstudiengang Maschinenbau (Diplom)

Beginnend mit dem WS 2006/07 werden in den Lehreinheiten Mathematik und Informatik die Studiengänge nur noch in der Bachelor-/Master-Struktur angeboten. Für die Studierenden bedeutet die neue Struktur größere Flexibilität bei der Wahl der Schwerpunkte und des Abschlusses sowie eine bessere internationale Anerkennung. Das Studienprogramm umfasst die folgenden Studiengänge:

- Angewandte Mathematik (Bachelor of Science)

Die Zukunftsplanungen sehen eine Umstellung auf Bachelor- und Masterstudiengänge zum WS 08/09 vor. Die Ausgestaltung des Curriculums erfolgt gegenwärtig. Der Bachelorstudiengang Verfahrens-

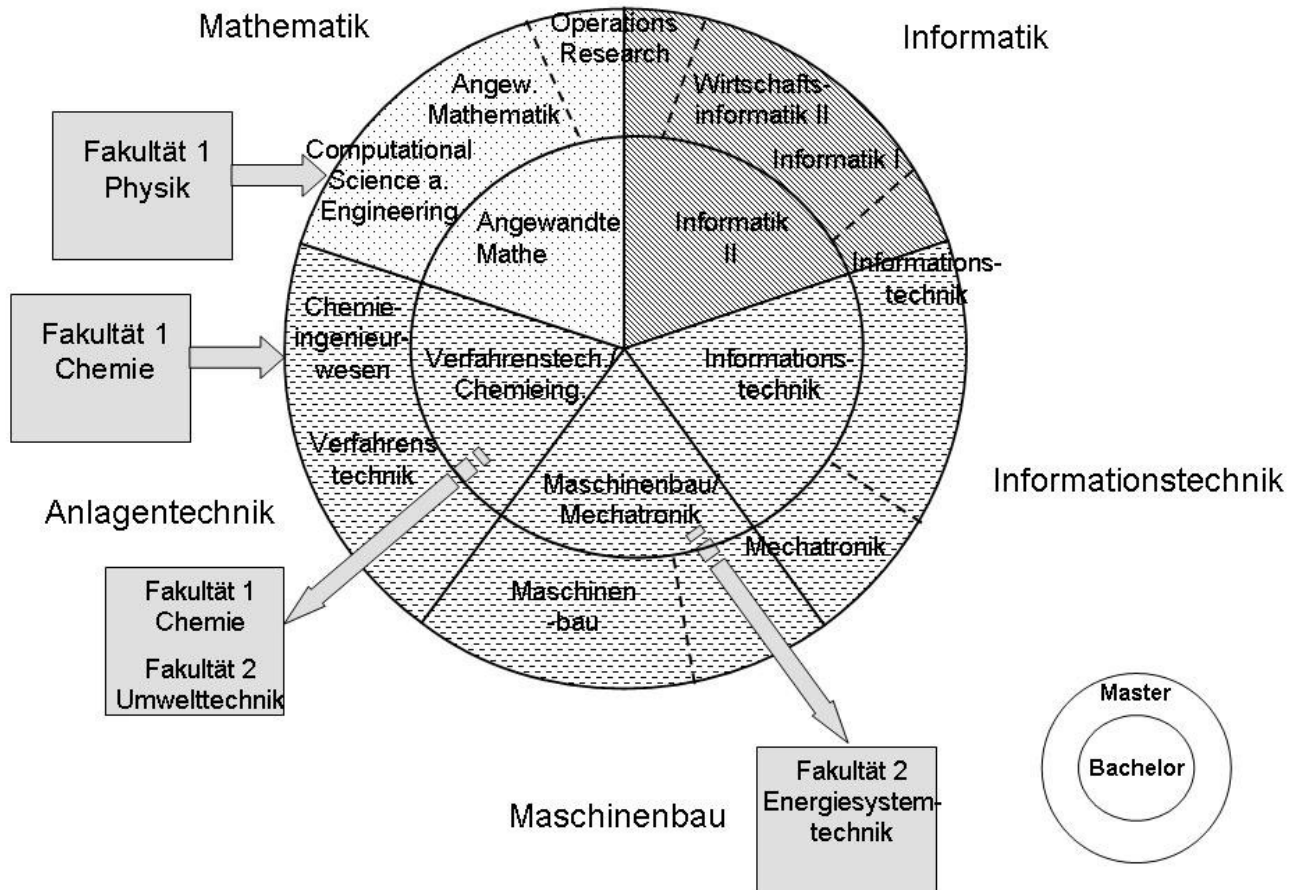


Bild 1: Bachelor- und Masterstudiengänge der Fakultät Mathematik/Informatik und Maschinenbau

technik/Chemieingenieurwesen dient als Grundausbildung für den Master Chemieingenieurwesen und den Master Verfahrenstechnik, aus dem Bachelor Maschinenbau/Mechatronik sollen der Master Maschinenbau sowie der Master Mechatronik hervorgehen, dieser kann aber auch auf dem Bachelor Informationstechnik aufgesattelt werden.

Für die Fakultät Mathematik/Informatik und Maschinenbau ist in **Bild 1** die geplante Struktur der Studiengänge dargestellt.

4 Studienentgelte

Zum Wintersemester 06/07 sind an der TU Clausthal über 3000 Studierende eingeschrieben (Stand 15.11.2006), darunter mehr als 500 Erstsemester, für die erstmalig in diesem Semester Studienbeiträge in Höhe von 500,- € pro Semester erhoben werden, ab dem Sommersemester wird dieser Studienbeitrag für alle Studierende fällig; betroffen sind alle grundständigen Studiengänge (Diplom- und Bachelorstudiengänge) und Masterstudiengänge im Rahmen von konsekutiven Studiengängen. Dieses gilt auch für ein Zweitstudium, Promotionsstudiengänge sind von den Studienbeiträgen ausgenommen. Ergänzungs- und Weiterbildungsstudiengänge sind ebenfalls von den Studienbeiträgen ausgenommen, dafür werden besondere Studiengebühren erhoben. Zuzüglich zu den Studienbeiträgen ist nach wie vor der Semesterbeitrag fällig.

Niedersachsen zeigt sich mit dieser Regelung von seiner innovativen Seite, da es als alleiniges Bundesland die Studienbeiträge verpflichtend eingeführt hat, in Nordrhein-Westfalen ist die Erhebung den Hochschulen freigestellt, im Sommersemester werden die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Bremen und Hamburg nachziehen und ab dem kommenden Wintersemester werden die Beiträge in Hessen und dem Saarland fällig /4/.

Nach dem NHG § 11 hat die Hochschule die Einnahmen durch die Studienbeiträge einzusetzen "um insbesondere das Betreuungsverhältnis zwischen Studierenden und Lehrenden zu verbessern, zusätzliche Tutorien anzubieten und die Ausstattung der Bibliotheken sowie der Lehr- und Laborräume zu verbessern. Sofern aus den Einnahmen zusätzliches Lehrpersonal finanziert wird, darf dieses nur zu solchen Lehraufgaben verpflichtet werden, die das für die Studiengänge erforderliche Lehrangebot ergänzen oder vertiefen".

5 Zusammenfassung

Die neuen Aufgaben als Fakultätsassistentin der Fakultät Mathematik, Informatik und Maschinenbau unter dem Dekan Prof. Norbert Müller, die ich seit Januar 2006 als Teilzeitbeschäftigung neben meiner Institutstätigkeit übernommen habe, gaben den Anstoß die Umstrukturierung der Hochschule mit ihren Auswirkungen infolge des neuen Niedersächsischen Hochschulgesetzes für Externe aufzuzeigen. Die Fakultäten werden gestärkt, übernehmen Aufgaben der Mittelverteilung, beeinflussen durch Entscheidungen die Ausrichtung der Hochschule, evaluieren die Lehre um nur einige neue Aufgaben anzuführen. Im Rahmen all der Änderungen darf aber die Studierendenausbildung und Forschung an den Universitäten nicht ins Hintertreffen geraten.

6 Literatur

- /1/ Niedersächsisches Hochschulgesetz (NHG) vom 21. Juni 2006
- /2/ Grundordnung der Technischen Universität Clausthal, vom 13. Juli 2004
- /3/ <http://www.tu-clausthal.de>
- /4/ <http://www.hrk.de/de/brennpunkte/3340.php>

I*PROMS: Activities at the IMW in 2006

Seitz, T.; Schwarzer, T.; Rolshofen, W.

*Das I*PROMS „Innovative Production Machines and Systems“ Netzwerk ist ein Bestandteil des sechsten Rahmenprogramms für Exzellenznetzwerke der EU. Das Institut für Maschinenwesen (IMW) beteiligt sich stellvertretend für die TU Clausthal an dem europaweit über 30 Einrichtungen teilnehmenden Netzwerk. Dieser Artikel stellt eine kurze Zusammenfassung über die Aktivitäten des IMW im Jahr 2006 dar.*

*I*PROMS “Innovative Production Machines and Systems” network is funded by the European Commission within the sixth framework program for networks of excellence (NoE). The IMW participates as representative for the TU Clausthal in this network, where over 30 institutions take part. This article is a short summary of IMW’s activities in 2006.*

1 Introduction

Manufacturing in the EU is increasingly being challenged by global competition /1/. Experts acknowledge that, for the EU to attain and sustain a leading role in the global market, radical measures are necessary to stimulate restructuring of the European Research Area and closer collaboration in manufacturing research. The general integration of corresponding research activities in one network has the aim of an adjustment and European-wide consolidation of the fragmented activities to build up synergies and to give new impulses.

To focus and enforce the competences of individual partners the network has been divided in four different clusters /2/:

- APM (Advanced Production Machines)
- PAC (Product Automation and Control)
- IDT (Innovative Design Technology)
- POM(Production Organisation and Management)

The Institute of Mechanical Engineering participates in the IDT and the POM cluster.

2 Industrial survey

The competitive environment for manufacturing will be dramatically different in the year 2020 and beyond. Major changes will occur in a number of ar-

reas such as economics, education, competition, customers, globalisation, ecological considerations, technology breakthroughs, social conditions and the workforce. For example, future cities could look radically different and all products could be made from recyclable materials.

The objective of this questionnaire was to provide a vision of the future manufacturing enterprise and the challenges it needs to address in order to remain competitive. The information gathered in this survey will be used to define the profound changes that will occur in manufacturing and not the next incremental steps. This is achieved by developing a foresight report and a roadmap intended to help the European Commission planning the research agenda for the 7th Framework Programme and beyond.

With the following questionnaire manufacturer of different areas of operations and dimension have been interviewed to get their view of the factory of the future:

- Competitive Environment

*Describe your vision of what the **competitive environment** will be for manufacturing enterprises in the year 2020 and beyond.*

- Enterprise

*Describe your vision of what manufacturing **enterprises** will look like in the year 2020 and beyond.*

- Challenges

*For the vision of manufacturing enterprises that you provided for the year 2020 and beyond, what are the **challenges** that must be met?*

- Enabling technologies

*In order to meet these challenges, what are the major **technology** developments that are needed? Technology is defined broadly to include resources, hardware, software, products, processing equipment, work processes, work designs, business processes, etc.*

- Collaboration

*In your view, what are the areas of **collaboration** that enterprises should consider in order to improve their competitiveness?*

- Research Policy

What policy do you think Governments and research organisations should adopt in order to make research activities more industrially oriented?

This inquiry has been carried out by the named I*PROMS partners. **Table 1** gives an overview about the kind of asked companies' within the POM cluster.

Because one result of the analysis of the questionnaire was that it is not sensible to examine the companies as one unit. The conclusion of this was to differentiate the companies in four groups.

	S-T	S-V	L-T	L-V	Total
UOW	0	3	1	2	6
IAO	2	3	0	1	6
TUC	0	1	3	6	10
ENIT	2	1	3	1	7
CETIM	0	1	0	0	1
MEC	2	2	2	4	10
Profactor	0	4	2	1	7
ISRU	1	4	1	4	10
Total	7	19	12	19	57

Table 1: Overview of made questionnaires

The mentioned abbreviations are standing for:

S-T: Small and traditional; which comprised small and medium enterprises (SME) with a conventional amount of products and production systems.

S-V: Small and visionary; which comprised SME with an advance amount of products or production systems.

L-T: Large and traditional; which comprised large enterprises (LE) with a conventional amount of products and production systems.

L-V: Large and visionary; which comprises LE with an advance amount of products or production systems.

3 Virtual Conference 2006

In this year the IMW took part at I*PROMS virtual conference with different papers in areas of Intelligent Design Systems and Intelligent and Competitive Manufacturing. The conference has been an outstanding success, attracting over 4000 delegates and guests from 71 countries.

It was the second time that a virtual conference took place in the network. This kind of conference is a modern way of publishing scientific results to a numerousness audience. The circumstances of

travelling, especially the time and the costs, to participate at normal conferences do not apply.

4 The ENBIS Conference 2006 in Wroclaw

ENBIS 6 took place in Wroclaw, Poland, from 18th till 20th of September 2006 /3/. The abbreviation ENBIS stands for "European Network for Business and Industrial Statistics". It provides a forum for the dynamic exchange of ideas and facilitates networking among statistical practitioners to nurture interactions and professional development of statistical practitioners regionally and internationally.

The IMW took part with a contribution about a case study "How statistics could improve Acoustic Holography in solid Objects" /4/.

5 Summary

The results of the industrial survey are part of the adjustment of I*PROMS research agenda to consider the FP7.

Results of scientific work can be published in an easy and cost-effective way by virtual conferences, but also the presentation of the research activities at conventional conference is a part of network activities.

6 Acknowledgment

The Institute of Mechanical Engineering, Clausthal University of Technology, is partner in Innovative Production Machines and Systems (I*PROMS) Network of Excellence which is funded by the European Commission under the Sixth Framework Programme (FP6-500273-2). The authors would like to thank the Commission and the partners of the I*PROMS Network of Excellence for their motivation, contribution and support.

7 References

- /1/ European Manufacturing of the Future, Role of research and education for European leadership, Manufacture 2003 conference, Milan, Italy 1.-2. December 2003
- /2/ www.iproms.org
- /3/ www.enbis.org
- /4/ Rolshofen, W.: "How statistics could improve Acoustic Holography in solid objects" Case Study, ENBIS 6, 18.-20. September 2006, Wroclaw, Poland

Rankine cycle thermodynamic simulator of knowledge-based system for noise source identification of a steam power plant

Isranuri, I.; Suwandi, N.

Dieser Artikel beschreibt die rechnerunterstützte Modellierung von Rankine-Kreisprozessen. Das dabei erzeugte IAPWS-Datenmodell kann für die weitere Berechnung der thermodynamischen Betriebsparameter bei Variationsrechnungen genutzt werden. Das IAPWS-Datenmodell ist besonders für die Modellierung von wasserbasierten Flüssigkeits- und Gasströmungen geeignet. Für die Simulation der akustisch relevanten Geräuschquellen in einer Dampfkraftanlage kann das Datenmodell für die Simulation des akustischen Anregungsverhaltens in Abhängigkeit von den thermodynamischen Prozessparametern eingesetzt werden. Die Grundlagen, Vorgehensweise und erste beispielhafte Ergebnisse werden in diesem Artikel vorgestellt.

This paper describes the design and development of knowledge-based system to assist thermodynamic calculation process of Rankine cycles. With this application, user can enter their Rankine cycle flow-diagrams and accompanying data into program. The knowledge-based system will then calculate various thermodynamic parameters which indicates the operating performance of the Rankine cycle. As the central of the knowledge-based system is the information/knowledge-base itself. The knowledge-based is designed by following Semantic Network model with frame-based representation. The knowledge-based system also features thermodynamic property data based on the IAPWS Formulation for General and Scientific Use (IAPWS-95). This formulation provides the most accurate representation of the thermodynamic properties of the fluid phases of water substance over a wide range of conditions available at the time this project was prepared. Since the noise source identification of steam power plant is started from the identification and calculation of the thermodynamic properties of the fluid phases of water substance over a wide range of conditions, so the knowledge-based system that supported the user to identification and calculation of the noise source of the steam power system.

1 Introduction

Power plants that use steam as their working fluid work on the basis of Rankine cycle. These include standing-alone steam power plants and those which are parts of combined cycle power plants. The first stage in designing these power plants is the thermodynamic analysis process of the Rankine cycle. In order to achieve optimal performance, the process is done repeatedly with various working conditions and modifications, which makes it a tiring and time-consuming job when done manually.

This paper describes the design and development of a computer program application which uses knowledge-based system principle to assist thermodynamic calculation process of Rankine cycles. With this application, users can enter their Rankine cycle flow-diagrams and accompanying data into program. The program will then calculate various thermodynamic parameters which indicates the operating performance of the Rankine cycle. These parameters include: thermal efficiency, backwork ratio, mass flow rate, power and work that is needed and produced by the cycle, heat transfer and its rate which entering and leaving system, and the working fluid states on each point in the cycle.

Several Rankine cycle modifications supported by the program include: superheat, reheat, regeneration, and supercritical Rankine cycle. The system supports regeneration with open feedwater heaters and closed ones with drains cascaded backward. For other Rankine cycle modifications that are not supported, the program provides steam-property retrieval facility, which can help users to retrieve thermodynamic properties of steam based on two known property values.

Noise source identification of steam power plant is started from the identification and calculation of the thermodynamic properties of the fluid phases of water substance over a wide range of conditions. The knowledge-based system supports the user to identify through black-box modeller and then to get the result of calculation of the steam power system noise source.

2 Basic Theories

2.1 Thermodynamics

There are three basic principles of Thermodynamics which are used extensively in every thermodynamic analysis. They are: the conservation of mass principle, the First Law of Thermodynamics, and the Second Law of Thermodynamics [1].

Conservation of mass for an open system requires that

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Increase of} \\ \text{mass within} \\ \text{the system} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Net amount of mass} \\ \text{crossing the boundary} \\ \text{into the system} \end{array} \right\}$$

The general statement of the First Law of Thermodynamics is an energy balance,

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Net} \\ \text{increase} \\ \text{in stored} \\ \text{energy of} \\ \text{system} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Net amount of} \\ \text{energy added} \\ \text{to system as} \\ \text{heat and all} \\ \text{forms of work} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Stored} \\ \text{energy} \\ \text{of matter} \\ \text{entering} \\ \text{system} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Stored} \\ \text{energy} \\ \text{of matter} \\ \text{leaving} \\ \text{system} \end{array} \right\}$$

The Second Law of Thermodynamics is a far-reaching principle of nature that has been stated in many forms. Two well-known statements of the Second Law of Thermodynamics are the Clausius statement and the Kelvin-Planck statement [1].

2.2 Rankine Cycle

A simple Rankine cycle consists of steam turbine, condenser, pump, and boiler (Figure 1). But in modern steam power plants, various modifications are usually incorporated to improve overall performance. Four modifications are presented in this project: superheat, reheat, regeneration, and supercritical Rankine cycle.

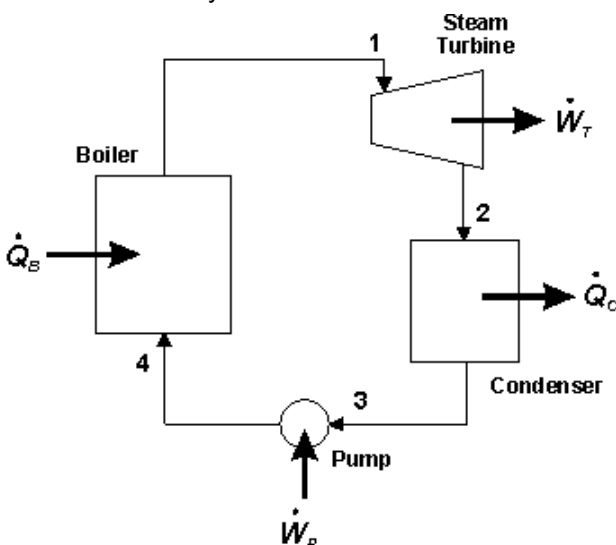


Fig. 1: Simple Rankine cycle

Superheat and reheat permit advantageous operating pressures in the boiler and condenser and yet offset the problem of low quality of the turbine exhaust [2].

Regeneration is the most commonly used method for increasing the thermal efficiency of steam power plants. Regeneration in Rankine cycle is accomplished by the use of feedwater heaters. Modern large steam power plants use between five and eight feedwater heating stages, and none is built without one. There are three types of feedwater heaters in use: open or direct-contact type, closed type with drains cascaded backward, and closed type with drains pumped forward [3]. Only the first two types are implemented in the program.

The supercritical Rankine cycle differs from the simple one in its steam-generator's pressure. Feedwater that enters the steam-generator is pressurized to a pressure beyond the critical pressure of the vapour (22.1 MPa for steam), hence there are no change in phase of the working fluid during the heating process [3].

2.3 Source of Thermodynamic Properties of Water and Steam

There are three sources, in the form of equation of states, of thermodynamic properties of water and steam used in this project. The first one is The IAPWS Formulation for General and Scientific Use (IAPWS-95) [4], which are used as the main equation of state for water and steam. The other two are used to support this equation of state. They are: The IAPWS Revised Supplementary Release on Saturation Properties of Ordinary Water Substance [5] and the one formulated by Thomas F. Irvine, Jr. and Peter E. Liley [6].

2.4 Numerical Methods for Solving System of Nonlinear Equations

In these project, systems of nonlinear equations are solved with Newton-Raphson method as described in [7]. This method is needed for reversing the IAPWS-95 equation of state. In its implementation, Newton-Raphson method requires additional numerical methods to solve system of linear equations and to calculate the first derivative of functions. These are accomplished by the use of Gauss Elimination and Centered Finite Divided Difference methods, respectively. These two methods are described in [8].

2.5 Knowledge-based System

Knowledge-based systems are systems which use knowledge and reasoning to arrive at conclusions [9]. One of the main features of knowledge-based systems is that the knowledge used by them is represented explicitly, rather than being implicit in the program code. In conventional programs it is only the data that is represented explicitly. In spite of this, however, knowledge-based systems are merely computer programs which have been written in a different way, in a deliberate attempt to isolate the various components of human (expert) problem-solving.

A knowledge-based system usually consists of three main components (Figure 2):

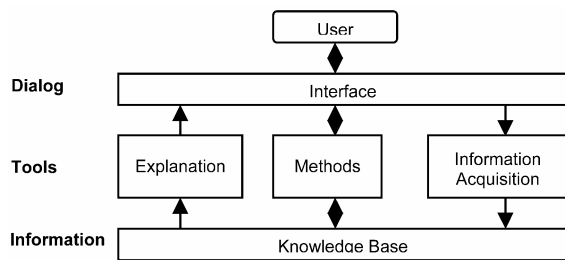


Fig. 2: Main components of a knowledge-based system

- Dialog, i.e. the user interface through which users interact with the knowledge-based system.
- Tools, i.e. an inference mechanism capable of transforming user requests into reasoned information using data from the knowledge-base.
- Information, i.e. the knowledge-base which contains facts plus information on how to reason with these facts.

The methods used to represent domain knowledge are central to knowledge-based systems. There are various methods available for this purpose, and one of them which is used in this project is Semantic Network model with frame-based representation [9].

3 Developing the Knowledge-Based

As the concept, the knowledge-based system should be able to support the user by building black-box what it's called as modeller, calculating the thermodynamic properties of the fluid phases of water substance over a wide range of conditions, then identifying and calculating the noise source of the steam power system (refers to figure3 below).

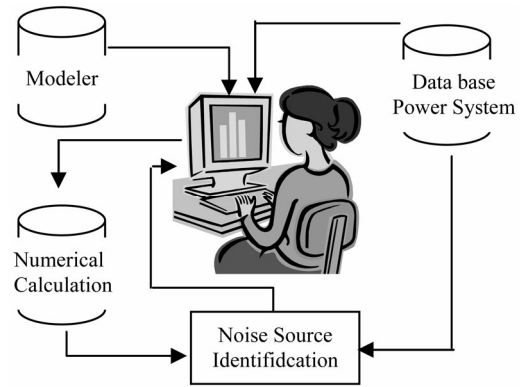


Fig. 3: Concept of knowledge-based system

The knowledge-based system is designed with object oriented programming approach, and is implemented with C++ programming language. Main components of the system is given in Figure 4.

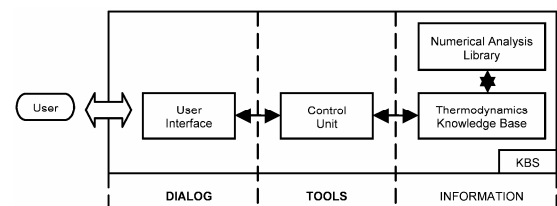


Fig. 4: Design of the knowledge-based system

As the central of the knowledge-based system is the knowledge-base itself, i.e. the Thermodynamics Knowledge Base. The knowledge-base is designed by following Semantic Network model with frame-based representation, which results in an abstraction or inheritance hierarchy, as shown in Figure 5.

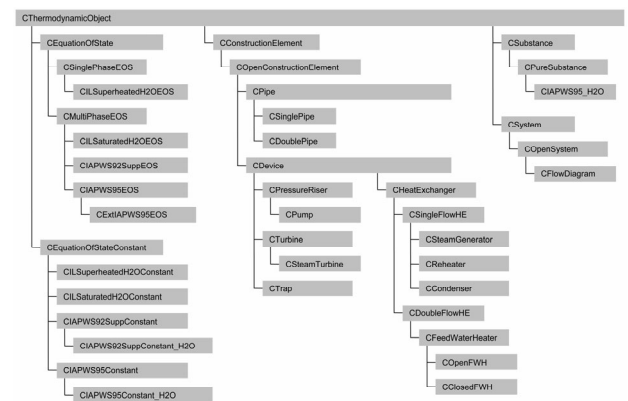


Fig. 5: Abstraction hierarchy of the knowledge base

The Numerical Analysis Library contains the three numerical methods explained above to support the knowledge base.

4 Discussion

Consider a reheat-regenerative vapour power cycle with two feedwater heaters, a closed feedwater heater and an open feedwater heater (Figure 6). Steam enters the first turbine at 8.0 MPa, 480 °C and expands to 0.7 MPa. The steam is reheated to 440 °C before entering the second turbine, where it expands to the condenser pressure of 0.008 MPa. Steam is extracted from the first turbine at 2 MPa and fed to the closed feedwater heater. Feedwater leaves the closed heater at 205 °C and 8.0 MPa, and the condensate exits as saturated liquid at 2 MPa. The condensate is trapped into the open feedwater heater. Steam extracted from the second turbine at 0.3 MPa is also fed into the open feedwater heater, which operates at 0.3 MPa. The stream exiting the open feedwater heater is saturated liquid at 0.3 MPa.

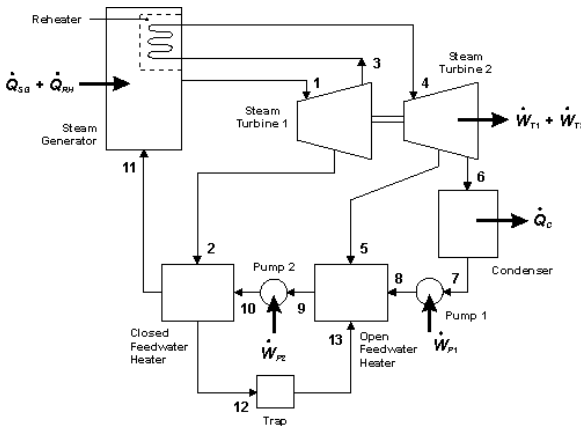


Fig. 6: Reheat-regenerative Rankine cycle

The net power output of the cycle is 100 MW. There is no stray heat transfer from any component to its surroundings. The working fluid experiences no irreversibility's as it passes through the turbines, pumps, steam generator, reheater, and condenser.

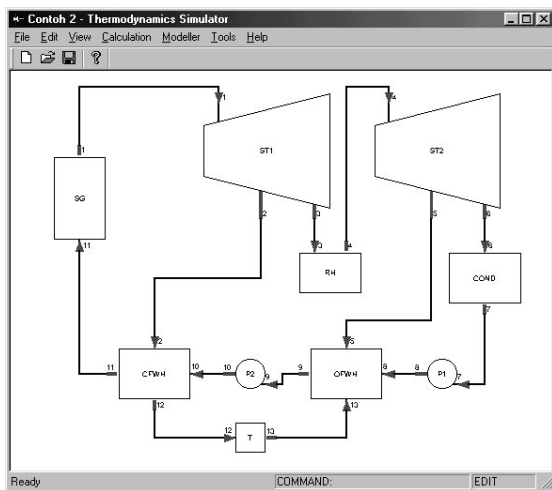


Fig. 7: Running program with the reheat-regenerative Rankine cycle diagram entered

Figure 7 shows the program user interface with considered Rankine cycle diagram and data entered. Scaled temperature-entropy (T-s) diagram of the cycle produced by the program is shown in Figure 8. Several parameters calculated by the program which indicate the operating performance of the Rankine cycle are:

- Thermal efficiency : 43.048 %
- Backwork ratio : 0.00654
- Main mass flow rate : 77.627 kg/s

Other parameters, including the operating conditions of the devices and the working fluid conditions at every point in the cycle, are calculated by the program, too. All of them can be viewed through the program's menus.

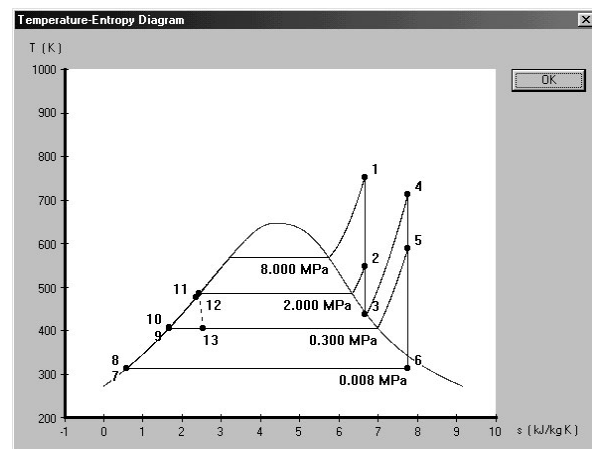


Fig. 8: Scaled T-s diagram produced by the program

Hence, the sound power level of system can be calculated through the calculation of each component which has at least one noise generation mechanism. All component which produce the noise, should be identified as noise source of the simulated steam power system.

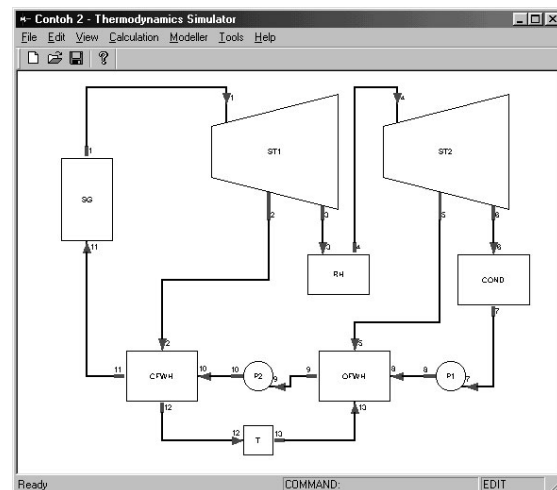


Fig. 9: Noise source identification

5 Conclusion

This project concentrates on the development of a knowledge-based system for solving thermodynamic calculations of Rankine cycles. With this computer program in hand, engineers can save time while designing Rankine cycles, which is usually the first design step in steam power plant design process.

Object oriented approach has been used in developing the knowledge-based system,, which makes it quite easy to add, remove, or change parts of the system in the future. This capability will be very useful when the information component, i.e. the knowledge base, need to be improved to be able to handle larger range of problems or more complex ones.

The knowledge-based system also features thermodynamic property data based on the IAPWS Formulation for General and Scientific Use (IAPWS-95). This formulation provides the most accurate representation of the thermodynamic properties of the fluid phases of water substance over a wide range of conditions available at the time this project was prepared.

6 References

- /1/ Jones, J.B., and R.E. Dugan. Engineering Thermodynamics. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, 1996.
- /2/ Moran, Michael J., and Howard N. Shapiro. Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 3rd Edition. John Wiley & Sons: New York, 1996.
- /3/ El-Wakil. M.M. Power Plant Technology. McGraw-Hill: New York, 1984.
- /4/ Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. The International Association for the Properties of Water and Steam: Fredericia, Denmark, September 1996.
- /5/ Revised Supplementary Release on Saturation Properties of Ordinary Water Substance. The International Association for the Properties of Water and Steam: St. Petersburg, Russia, September 1992.
- /6/ Irvine, Thomas F., Jr., and Peter E. Liley. Steam and Gas Tables with Computer Equations. Academic Press: London, 1984.
- /7/ Dennis, J.E., Jr., and Robert B. Schnabel. Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, 1983.
- /8/ Canale, Raymond P., and Steven C. Chapra. Numerical Methods for Engineers: With Programming and Software Applications, Third Edition. McGraw-Hill: Singapore, 1998.
- /9/ Winstanley, Graham (Editor). Artificial Intelligence in Engineering. John Wiley & Sons: Chichester, England, 1991.
- /10/ M. Syamsir Yudha, Ikhwanasyah Isranuri, Supporting System in Design Process of Centrifugal Pump System, Final Project (Diplomarbeit) in Department of Mechanical Engineering, Medan, 2001 (unpublished)
- /11/ Matin Jhon, Ikhwanasyah Isranuri, Prototyping of Internet oriented Knowledge-Based as A Supporting System during Design Process, Final Project (Diplomarbeit) in Department of Mechanical Engineering, Medan, 2003 (unpublished)
- /12/ Ferry, Ikhwanasyah Isranuri, Developing A Knowledge-Based System in Engineering: Case Study of Noise Analysis in Turning Machine, Final Project (Diplomarbeit) in Department of Mechanical Engineering, Medan, 2003 (unpublished)

Vor-Investitionsphase des Baus von Müllverbrennungsanlagen in Polen

Pająk, T.

Der Beitritt Polens zur Europäischen Union bedeutete auch im Umweltschutzbereich die Übernahme und kontinuierliche Umsetzung der europaweit geltenden Vorschriften und Gesetze. Im Rahmen dieses Aufsatzes werden speziell die Umsetzungsbestrebungen im Bereich der Abfallwirtschaft betrachtet. Neben der Müllvermeidung ist die nachhaltige Müllverwertung ein wesentliches Ziel. Die Müllverwertung kann in größerem Umfang abhängig von der Müllart durch biologischen Abbau oder thermische Nachbehandlung erfolgen. Für die thermische Nachbehandlung, die weiter verwendbare Energieformen wie Fernwärme oder Strom bereit stellt, sind bewährte Anlagenkonzepte als Müllverbrennungsanlagen (MVA) verfügbar. Das prosperierende Polen benötigt dringend ein landesweites zukunftsorientiertes Abfallverwertungskonzept. Ansätze dazu und die Schwierigkeiten bei der Umsetzung werden in diesem Aufsatz erläutert.

Poland as a member of the EU tries to adopt the regulations for waste management. Biological and thermal recycling are two common ways for waste treatment. For that reason the building of waste incineration plants is needed within the next few years. Before starting these investments a thorough investigation has to be done and the results have to be communicated to the Polish population. Strategies and difficulties during the realisation are discussed in the following essay.

1 Einleitung

Die im Bereich des Umweltschutzes festgelegten Verpflichtungen in dem von Polen unterschriebenen EU-Beitrittsabkommen und die daraus folgenden, im Abfallgesetz festgehaltenen Anforderungen bezüglich der Abfallwirtschaft - insbesondere bezüglich der Reduzierung der biologisch abbaubaren Abfälle – sind konsequent und deutlich. Klar sind zweifellos die festgelegten Termine, in denen Polen die Reduzierung der o.g. Abfälle erreichen muss, und bestimmte Effekte bei der Rückgewinnung von Verpackungsabfällen zu erreichen. Um die angenommenen Beitrittsverpflichtungen zu erfüllen ist es unentbehrlich, die polnischen Abfallwirtschaftssysteme zu ordnen und gründlich zu modernisieren.

Bisher ist die polnische Abfallwirtschaft sehr primitiv und basiert auf der für die Umwelt gefährlichsten Entsorgungsmethode – nämlich auf der Deponierung /1/. Es ist unbestritten, dass der Umbau der Abfallwirtschaftssysteme in den Großstädten oder auf der regionalen Ebene die Anwendung von Müllverbrennungsanlagen (MVA) berücksichtigen muss /1/, /2/. Diese Notwendigkeit wurde bewiesen durch eine ganze Reihe von polnischen Dokumenten von strategischer Bedeutung, wie z.B. die erste Edition des Landesabfallwirtschaftsplanes (KPGO), der Bericht über die Durchführung dieses Planes, veröffentlicht Anfang 2005 oder das gegenwärtige, zur Zeit diskutierte Projekt des Landesplanes für die Jahre 2007 - 2010, mit Perspektiven bis 2018 /3/. Es wurden auch finanzielle Mittel für Investitionen dieser Art vorgesehen, welche im Operationsprogramm Infrastruktur und Umwelt 2007 – 2013 festgehalten sind.

Bei der groben Annahme, dass in diesem Zusammenhang in Polen mindestens 10 große Müllverbrennungsanlagen gebaut werden müssen, deren Investitionskosten sich auf eine Milliarde Euro belaufen könnten und deren gesellschaftliche Akzeptanz immer noch strittig ist, kann man sich vorstellen, vor welchen Herausforderungen die polnische Abfallwirtschaft zur Zeit steht. Wenn man noch dazu bedenkt, dass in Bezug auf die angenommenen Termine zur Erfüllung der einzelnen Verpflichtungen und gesetzlichen Vorschriften in diesem Bereich es dramatisch an der Zeit mangelt, dann scheinen die gestellten Aufgaben fast undurchführbar zu sein.

Vor diesem Hintergrund kann man den Umfang der Herausforderungen mit denen die polnische Abfallwirtschaft konfrontiert ist gut beurteilen sowie die Notwendigkeit der entschiedenen und dynamisch verlaufenden Maßnahmen bezüglich des Baus von Müllverbrennungsanlagen erkennen. Bisher gibt es in Polen praktisch so gut wie keine Müllverbrennungsanlagen. In diesem Zusammenhang kann nur die Warschauer MVA genannt werden, die einzige Anlage dieser Art in Polen, die schon seit ca. 6 Jahren in Betrieb ist, und deren Leistungsfähigkeit jedoch so niedrig (ca. 45 Tsd.Mg/a) ist, dass sie so-

gar in der Landesstatistik schwer zu erfassen ist. Es muss aber folgendes hinzugefügt werden: das ist ein Objekt, das durch seinen umweltsicheren und nach den in der EU erforderlichen Emissionsstandards arbeitenden Betrieb keinesfalls Argumente für MVA-Gegner liefern könnte.

Es ist unstrittig, dass das rechtlich verlangte Niveau der Reduzierung von biologisch abbaubaren Abfälle in großen polnischen Städten ohne Müllverbrennungsanlagen nicht zu erreichen ist, die in diesen Städten oder in ausgewählten Regionen lokalisiert werden. Damit jedoch diese Anlagen wirklich entstehen, müssen mehrere Bedingungen erfüllt werden. Erstens muss für die MVA gesellschaftliche Akzeptanz gewonnen und eine solche Lokalisierung gewählt werden, die keine Widersprüche erweckt. Und obwohl viele Landesbewohner die Notwendigkeit des Baus von MVA zu verstehen scheinen, was diverse Meinungsforschungen bestätigen, entstehen doch bei der konkreten Festlegung des Baugeländes immer wieder erhebliche Ängste der in der Nähe lebenden Bewohner. Diese Angst sitzt so fest im Bewusstsein der Bewohner, dass das die schwierigste Barriere ist, die man überwinden muss. Ein viel geringeres Problem bildet die finanzielle Seite, denn die aus den EU-Fonds zugänglichen Mittel liegen in Reichweite. Klar und seit langem formuliert scheinen die technologischen Standards zu sein, es muss jedoch bemerkt werden, dass in dieser Hinsicht der Gesichtspunkt in mehreren polnischen Gemeinden ziemlich unüberschaubar ist. Der Grund dafür ist das Angebot an verschiedenartigen Anlagen thermischer Abfallbehandlung, die nirgendwo angewendet werden und keine Referenzen besitzen /2/.

Die Hauptnotwendigkeit ist also das Erarbeiten von professionellen Konzepten und Machbarkeitsstudien der MVA-Projekte, um auf dieser Basis die Mittel aus dem EU-Kohäsionsfonds zu beantragen und endlich mit dem Bau dieser Anlagen zu beginnen. Zu den wichtigsten Analysen, die unentbehrlich im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchzuführen sind, gehören:

- Bestimmen der Grundparameter, vor allem der Kapazität der MVA, präzise durch den Abfallstrom und die Eigenschaften der zu verbrennenden Abfälle definiert, mit Berücksichtigung der Kapazität dieser Anlage im geplanten System der komplexen Abfallwirtschaft der gegebenen Stadt oder Region,
 - Analyse der technisch reifen, mit den BAT-Standards übereinstimmenden Technologie der thermischen Abfallbehandlung,
 - Analyse der Wahl der optimalen Lokalisierung,
 - Ergebnisse der ökonomischen Analyse, die u.a. die Höhe der Investitionsauflagen und der Betriebskosten veranschaulichen, samt dem Vorschlag der Übertragung dieser Aufwendungen auf die Abfallerzeuger,
 - Ergebnisse der Analysen bezüglich des Modells der Abfalleigenschaften und des Modells des Eigentums der Anlage mit dem Hinweis auf deren Finanzierung,
- und, was auch sehr wichtig ist,
- Analyse der Einwirkungen der MVA auf die Umwelt und die Vereinbarung der Entscheidung mit der Umweltverträglichkeit,
 - Programm der Aktionen für die Gewinnung der gesellschaftlich ökologischen Akzeptanz für das geplante Objekt.

Die professionell ausgearbeitete Machbarkeitsstudie der MVA ist das grundsätzliche Dokument nicht nur für den Anfang der Vor-Investitionsphase, sondern auch für den konkreten Antrag auf Unterstützungsmittel für die Investition dieser Art.

2 Ausgewählte Aspekte der MVA-Bauprojekte in Polen

2.1 Kapazitätsbereich der notwendigen Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung

Einer der Hauptparameter, der den Bauumfang der MVA bestimmt, ist ihre Kapazität. Die geplanten Anlagen sind ein Teil der komplexen Abfallwirtschaft und wurden für polnische Großstädte oder bestimmte Regionen Polens entwickelt. Eine zuverlässige Abschätzung der Kapazität im Bezug auf das ganze Land ist nicht einfach. Nachfolgend wird nur eine allgemeine Beurteilung präsentiert.

Die für Polen erforderliche Kapazität der Müllverbrennungsanlagen kann man erörtern bei Berücksichtigung von zwei wichtigen Aspekten:

- Das rechtlich verlangte Niveau der Reduzierung von biologisch abbaubarer Abfälle, festgelegt gemäß des Artikels 16a des am 29. 07. 2005 geänderten Abfallwirtschaftsgesetzes (Gesetzblatt 2005 Nr. 175, Punkt 1458). Zur Abschätzung des Umfanges der daraus resultierenden MVA-Kapazität wurden lediglich die rechtlichen Anforderungen berücksichtigt, die

für die zwei ersten Etappen der Reduzierung von biologisch abbaubarer Abfälle relevant sind, d.h. entsprechend bis Ende 2010 und 2013. In diesem Fall ist der Bau von MVA die wichtigste Herausforderung.

- Das rechtlich verlangte Niveau der Rückgewinnung der Verpackungsabfälle im Jahr 2014.

Die Wahrscheinlichkeit der unten dargestellten Analyseergebnisse hängt stark von den angenommenen Voraussetzungen, aber auch von dem durch das gegenwärtige Projekt KPGO 2010 /3/) prognostizierten Strom der biologisch abbaubarer Abfälle in einzelnen Jahren ab. Die in der **Tabelle 1** vorgestellten Daten, deren Quelle das Projekt KPGO 2010 /3/ ist, verdeutlichen die Prognose der Änderungen der Abfallstromgröße in den Jahren 2010 – 2018. Wie aus der Tabelle ersichtlich, nimmt die Menge mit der Zeit ab. Die aus der Mitteilung der Europäischen Kommission /5/ folgenden Voraussetzungen zeigen, dass bei der nach wie vor anzunehmenden Steigerung des Bruttoinlandsproduktes der Mengenanstieg jeder Abfallart konstant bleiben wird, und die Menge der festen Kommunalabfälle wird bis 2020 weiterhin zunehmen. Diese Tendenz wird besonders in den neuen EU-Mitgliedsstaaten sichtbar. Laut diesem Dokument wird auch die Menge der biologisch abbaubaren Abfälle steigen.

Lfd. Zahl	Abfallart	Menge (Tsd. Mg/a)		
		2010	2013	2018
1.	Papier und Pappe	500,0	600,0	800,0
2.	Biologisch abbaubare Küchenabfälle	218,0	328,0	442,0
3.	Bekleidung und Textilien (aus natürlichen Stoffen)	7,2	7,0	7,0
4.	Holz	15,0	16,0	17,0
5.	Biologisch abbaubare Abfälle aus Parks und Gärten	341,7	334,0	331,3
6.	Biologisch abbaubare Abfälle im Strom der gemischten Kommunalabfälle	4644,3	4327,4	3971,0
7.	Marktplatz-Abfälle (der biologisch abbaubarer Teil)	120,5	117,9	116,9
	INSGESAMT	5846,7	5730,3	5685,2

Tab. 1: Prognose der Produktion der biologisch abbaubaren Abfälle (Tsd. Md) /3/

Auf Grund der in der Tabelle dargestellten Mengen biologisch abbaubarer Abfälle, die für die Jahre 2010 und 2013 prognostiziert werden, ist es einfach, den Anteil dieser Abfälle zu bestimmen, der nicht auf die Deponien abgeführt werden darf, und daher mit anderen Methoden entsorgt werden müsste. Diesbezügliche Ergebnisse von Berechnungen und grundsätzlichen Analysen, die bei Berücksichtigung der unten angeführten Voraussetzungen durchgeführt wurden, präsentiert **Tabelle 2**. Gleichzeitig wird eine bestimmte Entsorgungsmethode vorgeschlagen und die daraus resultierende gesamte Kapazität der Müllverbrennungsanlagen vorgestellt.

Bezugsbasis Jahr 1995 /3/ [Tsd. Mg/a]	Prognostizierte Menge biologisch abbaubarer Abfälle /3/ [Tsd. Mg/a]		Rechtlich erforderliche Niveaus der Reduzierung von biologisch abbaubarer Abfällen [Tsd. Mg/a]			
	2010	2013	2010		2013	
4 380	5 846,7	5 730,3	2 562		3 540	
			Prognostizierte Entsorgungsmethoden [Tsd. Mg/a]			
			Kompostierung	Verbrennung	Kompostierung	Verbrennung
			1 812	750	2 540	1 000
			Erforderliche Gesamtkapazität der Müllverbrennungsanlagen [Mg/a]			
		1 500 000		2 000 000		

Tab. 2: Ergebnisse der Berechnungen von Niveaus der Reduzierung der biologisch abbaubaren Abfälle und Skala der notwendigen MVA-Kapazitäten

Die erforderliche Kapazität der Müllverbrennungsanlagen, die in Polen Ende 2010 und 2013 verfügbar sein sollten, wurde bei Annahme der unten stehenden Voraussetzungen errechnet:

- Zur Reduzierung der Menge der biologisch abbaubaren Abfälle, die in einzelnen Reduzierungsphasen nicht deponiert werden dürfen, wird das organische Recycling angewendet – für ca. 70% der Abfallmenge, sowie das energetische Recycling – für ca. 30%. Diese Voraussetzung zieht deutlich das organische Recycling vor. Um jedoch so große Abfallmengen zu kompostieren und Kompost entsprechender Qualität zu erreichen, müssen so viele Bedingungen erfüllt werden, dass die Annahme, eine so große Menge biologisch abbaubarer Abfälle kompostieren zu können, sehr optimistisch zu sein scheint, also hinsichtlich der Skala von MVA-Kapazität - eher pessimistisch.
- Der Anteil der biologisch abbaubaren Abfälle an der Restabfallmenge, der in Großstädten, aber auch in kleineren Gemeinden produziert wird – beträgt im Fall einer regionalen Verbrennungsanlage ca. 50%. Das ist auch eine optimistische Annahme, die die prognostizierte Kapazität der notwendigen Müllverbrennungsanlagen niedrig hält, denn in Wirklichkeit wird der Anteil von biologisch abbaubaren Abfällen in der Restabfallmenge kleiner sein, und dann sollte die gesamte Kapazität der Verbrennungsanlagen größer sein.
- Die für das Jahr 2013 bei den oben genannten Voraussetzungen bestimmte Gesamtkapazität der Müllverbrennungsanlagen soll auch ausreichend sein, um die Effekte bezüglich der Rückgewinnung von Verpackungsabfällen zu erreichen, deren gesamte Menge ca. 500 Tsd. Mg/a betragen soll. Das ist auch eine optimistische Annahme, die damit die minimale Kapazität der Verbrennungsanlagen angibt.

Bei weiterer Annahme, dass die Durchschnittskapazität einer einzelnen normalen Müllverbrennungsanlage – für eine gegebene Stadt oder Region projektiert – ca. 200 000 Mg/a betragen wird, müssten – laut den Analyse-Ergebnissen der Tabelle 2 – bis Ende 2010 sieben Verbrennungsanlagen vorhanden sein, und Ende 2013 – schon 10 solcher normaler Anlagen.

Die Abschätzung der Kapazitätsskala der in Polen bis Ende 2013 notwendigen Müllverbrennungsanlagen kann auch auf eine andere Weise, bei Annahme anderer Voraussetzungen durchgeführt werden, und zwar:

- Die in polnischen Großstädten erzeugten Abfälle bilden ca. 30% aller in Polen produzierten Kommunalabfälle /3/,
- Die Autoren des KPGO 2010 prognostizieren – wiederum sehr gemäßigt im Verhältnis zu den oben genannten, aus der Arbeit /5/ resultierenden Vorhersagen, dass im Jahr 2014 in Polen insgesamt etwa 12,6 Mio. Mg/a Kommunalabfälle produziert werden, also in Großstädten werden es ca. 3,75 Mio. Mg/a sein,
- Bei der sehr optimistischen Annahme, dass die getrennte Sammlung von Abfällen in Großstädten im Jahr 2014 schon so entwickelt und so effektiv sein wird, dass es möglich wäre, 40% der produzierten Abfälle samt dem organischen Recycling zurück zu gewinnen, dann wird die in diesen Städten erzeugte Mischabfallmenge 2,25 Mio. Mg/a betragen. Bei so effektivem stofflichem und organischem Recycling wird die thermische Behandlung die einzige Lösung sein, die restliche Abfallmenge – 2,25 Mio. Mg/a - zu entsorgen.

Die oben angenommenen Voraussetzungen und Ergebnisse der unter zwei Aspekten durchgeführten Analyse bestätigen, dass die für Ende 2013 für Polen auf ca. 2 Mio. Mg/a prognostizierte Gesamtkapazität der Müllverbrennungsanlagen eine reale Vorhersage ist. Die Bewältigung der sich daraus ergebenden Aufgaben und der Bau von mehreren MVA bis Ende 2013 bedarf trotz allem, eines großen Optimismus, insbesondere angesichts der gegenwärtigen Wirklichkeit und Gegebenheiten.

Bei Aufrechterhaltung der optimistisch lautenden Meinung, dass es gelingen wird, bis Ende 2013 in Polen etwa 10 Müllverbrennungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 2 Mio. Mg/a gebaut zu haben, würde das bedeuten, dass im Jahr 2014 ca. 16% aller gemischten Kommunalabfälle in ganz Po-

len durch thermischer Behandlung entsorgt werden, die – laut Prognosen von KPGO 2010- in diesem Jahr produziert werden. Nach /4/ beträgt der Anteil der Verbrennungsanlagen in der Abfallwirtschaft der 15 EU-Länder schon jetzt 20-25% der dort erzeugten gemischten Abfälle, und laut der Prognosen in /5/ wird die Anwendung der thermischen Behandlung steigen. Man kann also schlussfolgern, dass es erst im Jahr 2014 – nach sehr optimistischen Vorhersagen – möglich sein wird, ein solches Niveau des Anteils der thermischen Behandlung im Abfallwirtschaftssystemen Polens zu erreichen, das Anfang 2000 in den 15 EU-Ländern bereits üblich war.

2.2 Perspektiven des Baus und der Lokalisierung der Müllverbrennungsanlagen

Pläne des Baus von Müllverbrennungsanlagen in einzelnen Städten oder Regionen mit der Perspektive diese Ende 2010 in Betrieb zu nehmen sind leider nicht mehr real. Die Vor-Investitionsphase und die Bauphase sind entscheidend länger als die übrig gebliebenen vier Jahre. Daher ist die weitere Analyse sinnvoll für die Anlagen, die unerlässlich Ende 2013 in Betrieb genommen werden sollen, was noch zu erreichen ist, wenn man die zusätzlichen drei Jahre in Erwägung zieht. Das ist jedoch eine zu optimistische Annahme, und sie scheint nach der Berücksichtigung der ganzen Reihe von Bedingungen doch noch wenig real. Wie viele Verbrennungsanlagen und mit welcher Kapazität können also wirklich gebaut werden? Nach der Meinung des Autors der vorliegenden Publikation könnten es nicht mehr sein als drei oder vier, mit einer Gesamtkapazität von 600-800 Tsd. Mg/a. Die folgenden Anlagen, die die oben geschätzte Kapazität ergänzen werden, würden vielleicht in den Jahren 2015-2020 entstehen können.

Unten in der **Tabelle 3** wird eine Übersicht zur Veranschaulichung präsentiert, in welchen Städten oder Regionen Polens und mit welcher annäherungsweise Kapazität Müllverbrennungsanlagen gebaut werden sollten. Die als Grundlage zur Prognostizierung in diesem Bereich dienenden Daten wurden hauptsächlich aus den erarbeiteten Abfallwirtschaftsplänen der Woiwodschaften entnommen. In vielen Fällen aber mussten diese Pläne vom Autor der vorliegenden Arbeit aktualisiert werden.

Gleichzeitig haben alle sowohl in der Tabelle 3 als auch in dem vorliegenden Artikel vorgestellten Prognosen und Voraussetzungen ausschließlich Orientierungs- und hypothetischen Charakter und

sind lediglich eine Weiterentwicklung des Themas dieser Publikation durch den Autor.

Jeder der in Tabelle 3 dargestellten Fälle des Projekts zum Aufbau von Müllverbrennungsanlagen macht eine ausführliche Verifizierung notwendig, unter anderem durch Erarbeitung einer separaten Machbarkeitsstudie.

Stadt/Region	Grunddaten des Anlageprojektes	Geplante Inbetriebnahme
Warszawa	ca. 300 000 Mg/a Zwei Linien Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2010
Poznań	ca. 150 000 Mg/a Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2010
Kraków	ca. 200 000 Mg/a Zwei Linien nicht ausgeschlossen Beteiligung der Nachbargemeinden Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012
Katowice – regional	ca. 250 000 Mg/a Regionalcharakter Lokalisierung nicht näher bekannt	2010 – 2015
Katowice – regional	ca. 150 000 Mg/a Regionalcharakter Lokalisierung nicht näher bekannt	2010 - 2015
Łódź	ca. 200 000 Mg/a Zwei Linien nicht ausgeschlossen Beteiligung der Gemeinden: Pabianice, Zgierz, Aleksandrów, Łask, Konstantynów Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012
Łódź – regional	ca. 100 000 Mg/a Regionalcharakter Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012
Szczecin regional	ca. 100 000 Mg/a nicht ausgeschlossen Regionalcharakter Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012
Gdańsk – regional	ca. 150 000 Mg/a nicht ausgeschlossen Regionalcharakter Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012
Wrocław	ca. 100 000 Mg/a nicht ausgeschlossen Regionalcharakter nicht ausgeschlossen Herstellung vom Brennstoff aus Müll und Zusammenarbeit mit der Anlage der mechanisch-biologischen Abfallverarbeitung Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012
Opole – regional	ca. 100 000 Mg/a Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012
Regional z.B. Rzeszów	ca. 100 000 Mg/a Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012
Regional z.B. Lublin	ca. 100 000 Mg/a Lokalisierung nicht näher bekannt	Nach 2012

Tab. 3: Zusammenstellung der potentiell möglichen zu bauenden Müllverbrennungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 2 Mio. Mg/a perspektivisch bis 2010

2.3 Angenäherte Investitionskosten und Finanzierungsmittel

Die genaue Bestimmung der Investitionskosten der Bauprojekte von Müllverbrennungsanlagen mit einer Kapazität von ca. 2 Mio. Mg/a ist nicht möglich. Dieser Aufwand kann nur in bestimmten Grenzen errechnet werden, indem man optimistisch annimmt, dass die Investitionskosten des Objekts – bezogen auf eine Tonne der geplanten Jahresleistung – 400 Euro/t betragen wird; bei einer pessimistischen Annahme sind es 500 Euro/t. Dann betragen die Kosten:

zwischen 800 Mio. Euro und 1 000 Mio. Euro

also annähernd 3,2 Mrd. PLN bis 4 Mrd. PLN

Der annähernd bestimmte Aufwand ist bedeutend und stellt eine weitere wesentliche Herausforderung im Bereich der Abfallwirtschaftssysteme des Landes dar. Er ist aber unvergleichbar kleiner als z.B. die Kosten der Implementierung der Vorschriften

von anderen, mit der Abfallwirtschaft nicht zusammenhängenden, Richtlinien aus dem Bereich des Umweltschutzes, von denen die höchsten Kosten die Richtlinie 96/61/EG (sog. IPPC-Richtlinie) und die Richtlinie 91/271/EWG (sog. Abwasser-Richtlinie) generieren.

Wenn man die im Projekt KPGO 2010 enthaltenen Daten betrachtet, kann man bemerken, dass für die Bildung der regionalen Abfallwirtschaftssysteme schon in den Jahren 2007-2010 Mittel eingeplant wurden, die die oben genannten Investitionskosten für den Bau der Anlagen decken würden. Wie in der Einleitung angedeutet, reserviert auch das Operationsprogramm Infrastruktur und Umwelt 2007-2013 bedeutende Summen für diesen Zweck, die hauptsächlich aus den Mitteln des Kohäsionsfonds stammen.

Widererwarten sind nicht die Finanzen das Hauptproblem, obwohl man die Eigenbeteiligung der betreffenden Gemeinde nicht vergessen darf, die angesichts der schon vorhandenen Verschuldung leicht die zulässige Grenze überschreiten kann. Wie es scheint, sind die für den Bau einer MVA notwendigen Mittel in Reichweite, was schon in der Einleitung erwähnt wurde. Die Gewährleistung dieser Mittel bedarf aber – was auch in der Einleitung unterstrichen wurde – der perfekt vorbereiteten Projekte und was am wichtigsten ist – der gesellschaftlichen Einigung, die die wesentlichste Barriere bildet.

3 Zusammenfassung

In dem vorliegenden Artikel wurde ein Versuch der Veranschaulichung unternommen, wie groß die Herausforderungen sind, in Polen die Abfallwirtschaftssysteme auszubauen und darunter die Müllverbrennungsanlagen zu etablieren, besonders in den Systemen der Großstädte oder bestimmter Regionen. Die Skala der sich daraus ergebenden Aufgaben wurde in dem Artikel nur durch den Leistungsumfang sowie die Zahl und den angenäherten Aufwand solcher Anlagen definiert. Es wurde dagegen die Diskussion bezüglich der übrigen Voraussetzungen nicht präsentiert, die diese herausfordernden Aufgaben auch bedeutend beeinflussen werden. Das ist zum Beispiel vor allem das Problem der gesellschaftlichen Akzeptanz der Müllverbrennungsanlagen. Bisher können nur einige wenige Beispiele oder Versuche angeführt werden, in diesem Bereich mit den örtlichen Gruppen professionell organisierte Dialoge aufzunehmen. Alle

diesbezüglichen PR-Maßnahmen sollten absoluten Vorrang und wesentliche Unterstützung seitens der öffentlichen Medien haben, und insbesondere des Fernsehens. Ohne ihre Hilfe hat das sogar bestens erarbeitete Programm des Baus von Müllverbrennungsanlagen in polnischen Großstädten keine Chance, verwirklicht zu werden.

4 Literatur

- /1/ Pająk T.: Müllverbrennungsanlagen in Polen – Grundsätzliche Voraussetzungen und Entwicklungsperspektiven. Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal Nr. 30, November 2005, S. 127 – 133.
- /2/ Pająk T.: Instalacja termicznego przekształcania odpadów komunalnych – proces przedinwestycyjny (Müllverbrennungsanlagen – Vor-Investitionsphase). Przegląd Komunalny, wrzesień 2006 r.
- /3/ Projekt Krajowego planu gospodarki odpadami 2010 (Projekt des Landesabfallwirtschaftsplan). Wersja z dnia 27 lipca 2006 r. Warszawa, lipiec 2006 r.
- /4/ Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document of the Best Available Techniques for Waste Incineration. European IPPC Bureau, August 2006.
- /5/ Komunikat Komisji dla Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów nt.: „Promowanie zrównoważonego wykorzystania zasobów: Strategia tematyczna w sprawie zapobiegania powstawania odpadów i ich recyklingu”. SEC 2005 (1681) i (1682). Komisja Wspólnot Europejskich, Bruksela dnia 21.12.2005, COM (2005) 666 końcowy.

Belastungen im System Schachtfördergefäß – Einstrich Mechanisches Dreimassenmodell

Wolny, St.

Schachtförderanlagen sind hoch beanspruchte sicherheitsrelevante Objekte. Die exakte Auslegung bedarf der genauen Kenntnis über die Belastungen. Das Mehrkörpersystem kann linearisiert werden und erlaubt damit die Erstellung einer analytischen Lösung für das mechanische Ersatzmodell. Als Ergebnis können kritische Lastfunktionen beschrieben werden.

Mine shaft elevators are machines which are working under very hard load and security conditions. Due to that they have to be dimensioned very seriously to the different estimated loads. The following article describes a mechanical multi body approach which offers a analytical function for the loads.

1 Einleitung

Das Problem der Festigkeit und Betriebsfestigkeit von Maschinen und Industrieanlagen ist wegen der nutzungsabhängigen Sicherheitsanforderungen an Objekte ein besonders wichtiges Problem. Zu diesen Objekten gehören im Bergbau Schachtanlagen und die darin arbeitenden Schachtfördergefäße. Während des Betriebs wirkt das Schachtfördergefäß auf das Führungssystem und Hängezeug (des Fördergefäßes und der Ausgleichsseile). Diese Wirkungen können Beschädigungen sowohl der Fördergefäße als auch des Einstrichs zur Folge haben.

Zu den während der periodischen Kontrollen und Prüfungen von Fördergefäßen am häufigsten aufgedeckten Beschädigungen der Tragelemente gehören Ermüdungsbrüche im Bereich von Knoten, die die Zugbänder mit dem Gefäß, Kopf oder unteren Rahmen verbinden /3/. In den Entwurfsberechnungen für diese konstruktive Ausführung, werden die Zugbänder und deren Verbindungen gegen Extremkräfte bemessen, die die Summe der Gewichtskräfte des Gefäßes, der Ausgleichsseile und des Förderguts darstellen. Damit sind in solchen Berechnungen Horizontalkräfte, die eine Folge der gegenseitigen Einwirkung des Einstrichs und des Gefäßes während seiner Bewegung sind, nicht berücksichtigt worden.

Die Analyse der möglichen Verformungen von Zugbändern, die während der Bewegung des Gefäßes entstehen und die unter anderem eine Folge der Unebenheit der Führungsstücke (Ablenkung der Führungsstücke von der Vertikale) sind, deutet darauf hin, dass die damit verbundenen horizontalen Belastungen einen wesentlichen Einfluss auf die momentanen Werte der darin entstehenden Spannungen haben können, und was damit zusammenhängt, auch auf deren Ermüdungsfestigkeit /3/.

Das Problem der gegenseitigen Einwirkung des Gefäßes und des Einstrichs wurde eingehend in der polnischen technischen Literatur erörtert. Es geht hier um die Arbeiten der Untersuchungsteams an der AGH, GIG und Schlesischen Technischen Hochschule. Obwohl es viele interessante und fundierte Arbeiten in diesem Bereich /1/ /2/ gibt, tauchen weitere neue zu lösende Probleme auf. In diesem Zusammenhang kann der Versuch, die Kräfte der gegenseitigen Einwirkung des Gefäßes und des Einstrichs zu ermitteln, einen wesentlichen Beitrag zur Festigkeitsanalyse der Konstruktion des Schachtfördergefäßes leisten.

Dieser Artikel beschreibt die durchgeführten dynamischen Analysen des Betriebs des Gefäßes unter den Bedingungen der normalen Fahrt mit der Geschwindigkeit von $V_0 = \text{const.}$ Dabei werden die Kräfte der gegenseitigen Einwirkung des Gefäßes und des Einstrichs ermittelt.

2 Dynamische Analyse des Betriebs der Förderanlage

Die dynamische Analyse der Arbeit des Gefäßes unter den Bedingungen des normalen Betriebs (der Fahrt mit der festgelegten Geschwindigkeit von $V_0 = \text{const.}$) wurde auf Grund des in **Bild 1** dargestellten Modells der Anlage durchgeführt. In diesem Modell hat man drei Massen abgebildet: die des Kopfes, unteren Rahmens und die des Korbs des Fördergefäßes, die mittels gewichtsloser, transversal elastischer und längsseits unverformbarer Stäbe verbunden sind. Man hat die dynamische Analyse mit folgenden Voraussetzungen durchgeführt:

m – Masse des Korbes des Schachtfördergefäßes mit dem Fördergut,

I - Trägheitsmoment des Korbes des Schachtfördergefäßes mit dem Fördergut,

m_g – Masse des Kopfes,

m_d – Masse des unteren Rahmens,

$2h, k$ – (linearer) Dämpfungskoeffizient und Elastizitätskonstante der Rollenführungen,

$2h_g, k_g$ – Dämpfungskoeffizient und Elastizitätskonstante der Querszugbänder, die den Kopf mit dem Korb des Fördergefäßes verbinden,

$2h_d, k_d$ – Dämpfungskoeffizient und Elastizitätskonstante der Querszugbänder, die den unteren Rahmen mit dem Korb des Fördergefäßes verbinden,

x_g, x_d – horizontale Verschiebungen in der Stirnebene entsprechend des Kopfes und des unteren Rahmens,

$x(t), x(t+\tau)$ – Funktion, die die Unebenheit der Stirnebenen von Führungsstücken beschreibt,

τ – die Zeit, in der das Fördergefäß die Strecke zurücklegt, die der Entfernung zwischen den Stirnführungen (auf dem Kopf und auf dem unteren Rahmen) entspricht,

a, b – die Entfernung der entsprechend oberen und unteren Stirnführungen vom Massenmittelpunkt des Korbes des Schachtfördergefäßes,

l – die Entfernung zwischen den oberen und unteren Stirnführungen.

Da (gemäß Bild 2)

$$x_A = x + a\varphi, x_B = x - b\varphi \quad (4)$$

nimmt die kinetische Energie nach der Beseitigung von φ und x folgende Gestalt an:

$$E_k = \frac{m}{2l} \left(b x_A + a x_B \right)^2 + \frac{I}{2l^2} \left(x_A - x_B \right)^2 + \quad (5)$$

$$\frac{m_g x_g^2}{2} + \frac{m_d x_d^2}{2}$$

Nach der Einsetzung der Ausdrücke E_k, E_p und F in die Langrange-Gleichung

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} + \frac{\partial E_p}{\partial q_i} = - \frac{\partial F}{\partial q_i} \quad (6)$$

und nach der Durchführung von festgelegten Operationen, bekommt man das Gleichungssystem:

$$\frac{mb_A^2 I^{00}}{l^2} x_A + \frac{mab - I^{00}}{l^2} x + k_g (x_A - x_g) + 2h_g \left(x_A - x_g \right) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{ma^2 + I^{00}}{l^2} x_B + \frac{mab - I^{00}}{l^2} x + \quad (8)$$

$$k_d (x_B - x_d) + 2h_d \left(x_B - x_d \right) = 0 \quad (9)$$

$$m_g x_g + 2k(x_g - x_{1(t)}) - k_g (x_A - x_g) - \quad (9)$$

$$2h_g \left(x_A - x_g \right) + 2h \left(x_g - x_{1(t)} \right) = 0 \quad (10)$$

$$m_d x_d - k_d (x_B - x_d) + 2k(x_d - x_{1(t+\tau)}) - \quad (10)$$

$$2h_d \left(x_B - x_d \right) + 2h \left(x_d - x_{1(t+\tau)} \right) = 0$$

Wenn man das Schachtfördergefäß entwirft, soll man danach streben, dass die Bedingung $l = mab$ erfüllt wird, bei der die Schwingung des Kopfes des Fördergefäßes und des unteren Rahmens unabhängig sind. In solch einem Fall bekommt man zwei entkoppelte Gleichungssysteme ((11) und (12) sowie (13) und (14)):

$$m_A x_A + k_g (x_d - x_g) + 2h_g \left(x_A - x_g \right) = 0 \quad (11)$$

$$m_B x_B + k_d (x_B - x_d) + 2h_d \left(x_B - x_d \right) = 0 \quad (12)$$

$$m_g x_g + (2h_g + 2h)x_g + (k_g + 2k)x_g = 2h_g x_A + 2h x_{1(t)} + k_g x_A + 2k x_{1(t)}$$

$$m_B x_B + k_d (x_B - x_d) + 2h_d \left(x_B - x_d \right) = 0 \quad (13)$$

$$m_d x_d + (2h_d + 2h)x_d + (k_d + 2k)x_d = 2h_d x_B + k_d x_B = 2h x_{1(t+\tau)} + 2k x_{1(t+\tau)}$$

$$2h_d x_B + k_d x_B = 2h x_{1(t+\tau)} + 2k x_{1(t+\tau)}$$

mit:

$$m_A = \frac{I + mb^2}{l^2}; m_B = \frac{I + ma^2}{l^2} \quad (15)$$

Und wenn man die Dämpfung sowohl im System des Gefäßes als auch im System der Führung vernachlässigt, um maximal mögliche Verschiebungen zu erzielen, erhält man:

$$m_A x_A + k_g (x_A - x_g) = 0 \quad (16)$$

$$m_g x_g + (k_g + 2k)x_g = k_g x_A + 2k x_{1(\tau)} \quad (17)$$

$$m_B \ddot{x}_B + k_d(x_B - x_d) = 0 \tag{18}$$

$$m_d \ddot{x}_d + (k_d + 2k)x_d = k_d x_B + 2kx_{1(t+\tau)} \tag{19}$$

Die Funktion, die die Unebenheiten der Führungsschienen in der Ebene der Stirnführungen beschreibt, wurde dem in **Bild 3** dargestellten Schema entsprechend angenommen. Der Parameter A[m] beschreibt die maximale durch die Norm zugelassene Ablenkung der Führungsstücke von der Vertikale auf der Länge eines Führungsstücks, und der Parameter a[s] beschreibt die Zeit, in der das Fördergefäß die Strecke zurücklegt, die der Länge eines Führungsstücks entspricht.

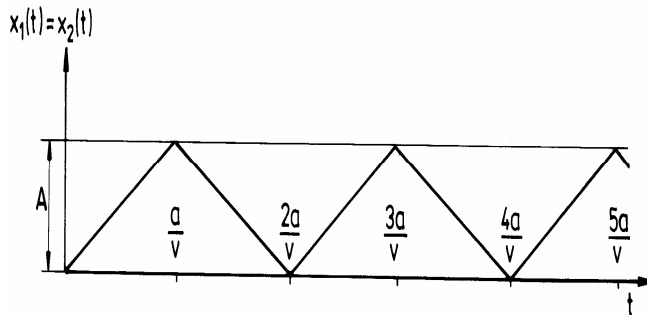


Bild 3: Funktion, die die Unebenheiten von Führungszügen beschreibt

Mit Hilfe der Laplace-Transformation kann man die Gleichungssysteme (16) ÷ (17) und (18) ÷ (19) lösen. In diesem Artikel hat man sich beispielsweise auf die Angabe der Lösung für $x_g(t)$ beschränkt, die die horizontale Verschiebung des Kopfes während der Fahrt des Fördergefäßes mit der Geschwindigkeit v auf der Länge eines Führungsstücks bestimmt:

$$x_{g(t)} = \frac{k}{k_g} \frac{A}{a} \left\{ t - 2 \frac{k_g}{q} \left[\frac{m_A - \frac{k}{\omega_I^2}}{\omega_I} \sin \omega_I t - \frac{m_A - \frac{k}{\omega_{II}^2}}{\omega_{II}} \sin \omega_{II} t \right] \right\} \tag{20}$$

mit:

$$\omega_I = \sqrt{\frac{p+q}{2m_A m_g}} \quad ; \quad \omega_{II} = \sqrt{\frac{p-q}{2m_A m_g}}$$

$$p = m_g k_g + m_A (k_g + 2k)$$

$$q = \sqrt{[m_g k_g + m_A (k_g - 2k)]^2 + 8m_A^2 k_g k}$$

$$m_A = \frac{I + mb^2}{l^2}$$

Die ermittelte Abhängigkeit (20) gibt die Kraft der gegenseitigen Einwirkung des Fördergefäßes (des Kopfes des Gefäßes) und des Einstrichs (auf der Länge eines Führungsstücks) an, abhängig von:

$$S_{(t)} = kx_{g(t)} = \frac{k^2}{k_g} \frac{A}{a} \left\{ t - 2 \frac{k_g}{q} \left[\frac{m_A - \frac{k}{\omega_I^2}}{\omega_I} \sin \omega_I t - \frac{m_A - \frac{k}{\omega_{II}^2}}{\omega_{II}} \sin \omega_{II} t \right] \right\} \tag{21}$$

Die Analyse der obigen Abhängigkeit lässt den Einfluss von verschiedenen Parametern des Schachtfördergefäßes auf die Werte der gegenseitigen Einwirkung des Gefäßes und Einstrichs abschätzen. Einen proportionalen Einfluss auf den Wert dieser Kraft hat der A-Parameter, der die Unebenheiten der Führungszüge charakterisiert. Der a-Parameter, der die Länge (geradliniger Teil) des Führungsstücks charakterisiert, hat einen umgekehrt proportionalen Einfluss. Die Angabe des Einflusses der anderen Parametern auf den Wert der Kraft der gegenseitigen Einwirkung erfordert eine zusätzliche eingehende Analyse und wird zum Thema des nächsten Artikels in diesem Bereich sein.

3 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der genannten Analyse des Betriebs des Schachtfördergefäßes unter normalen Arbeitsbedingungen, lassen nicht nur die Maximalwerte der Kräfte der gegenseitigen Einwirkung im System Gefäß – Einstrich erkennen, sondern auch die Veränderlichkeit dieser Belastung über der Zeit. Diese Ergebnisse können für den Entwurf von Elementen des Gefäßes, der Führung und des Einstrichs hilfreich sein. Die Beschreibung der Belastung als Funktion der Zeit ermöglicht die Festigkeits- und Ermüdungsanalyse der oben genannten Elemente durchzuführen. Zum Schluss muss man betonen, dass die Lösungen auf analytischem Wege durchgeführt wurden und bis zum Ende wurden relative Werte benutzt, wodurch die Problemlösung trotz der Komplexität transparent bleibt.

4 Literatur

- 1/1 Kawulok S.: Oddziaływanie zbrojenia szybu na mechanikę prowadzenia naczynia wyciągowego. Prace Głównego Instytutu Górnictwa. Seria dodatkowa. Katowice 1989
- 1/2 Knop H.: Zagadnienie sił działających na zbrojenie szybowe w czasie ruchu naczyń wydobywczych. Praca doktorska (Doktorarbeit) AGH Kraków 1964
- 1/3 Wolny S. i in.: Opracowanie nowych kryteriów projektowania i wymiarowania wybranych elementów naczyń wydobywczych mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności ich pracy. Projekt KBN 8T12A02421. Kraków 2003

Die Messung der Kräfte der gegenseitigen Einwirkung in den Elementen eines Schachtfördergefäßes

Wolny St.; Dzik St.; Siemieniec A.

Der Artikel stellt die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen von Kräften der gegenseitigen Einwirkung des Gefäßes und des Einstrichs in einem der Schächte der polnischen Bergwerke dar. Da die Rollenführungen die Elemente der Förderanlage sind, mittels deren die Kräfte der gegenseitigen Einwirkung zwischen dem Gefäß und dem Einstrich übertragen werden, können deren Verformungen zur Ermittlung der Kräfte genutzt werden.

The reaction forces between the mine shaft container and its guide can be determined by the deformation of the guiding wheels. A practical example from a Polish mine is given in this article.

1 Einleitung

Die Rollenführungen bilden die Elemente der Förderanlage, mit Hilfe deren das Schachtfördergefäß längs der vertikalen Führungsstücke (**Bild 1**) geführt wird. Dies bedeutet, dass sie beim Übertragen der Kräfte der gegenseitigen Einwirkung des Gefäßes und des Einstrichs vermitteln. Deshalb kann die Verformung der elastischen Elemente der Rollenführung zur Bestimmung der Kräfte solch einer Einwirkung ausgenutzt werden.

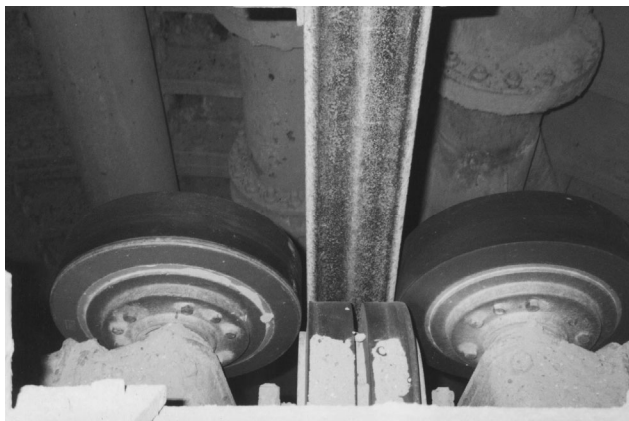


Bild 1: System von unteren Rollenführungen

2 Die Konzeption der Messung von Kräften der gegenseitigen Einwirkung im System Fördergefäß-Einstrich

Für die Ermittlung der Kräfte der gegenseitigen Einwirkung im System Fördergefäß-Einstrich hat

man die Idee der Messung der x_2 -Verschiebung (Verschiebung des Rollengehäuses hinsichtlich des Gehäuses der Führung, die fest am Kopf (am unteren Rahmen) des Fördergefäßes (**Bild 2**) befestigt ist) /2/.

Die Abhängigkeit der das System aus Stirn- und Seitenführung belastenden Kraft als Funktion ihrer vollen x_1 -Verschiebung und der bereits erwähnten x_2 -Verschiebung hat man aufgrund der durchgeführten Laborprüfungen beschrieben. Das Ergebnis ist ausführlich in /1/ dargestellt.

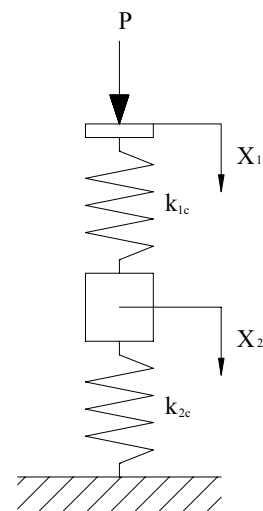


Bild 2: Mechanisches Schema der Führung

Die Messung der Verschiebung (x_2 in Bild 2) wurde mittels induktiver Feinzeiger und Dehnungsmesser durchgeführt, die auf dem Messbalken eines besonders konstruierten Gerätes aufgeklebt wurden, dessen Prinzip in **Bild 3** dargestellt ist.

In **Bild 4** ist die Befestigung des Messgerätes an der Stirnrollenführungen beispielhaft dargestellt.

1. Gerätegehäuse
2. Schieberhalter
3. Halterbürste
4. Kragbalken
5. Schraube M 8x50
6. Unterlegscheibe 8,4
7. Schraube M 8x30
8. Unterlegscheibe 8,4
9. Schraube M 8x30
10. Schraube M 10x140
11. Schraubenmutter M 10
12. Unterlegscheibe 10,5
13. Resistanzfeinzeiger

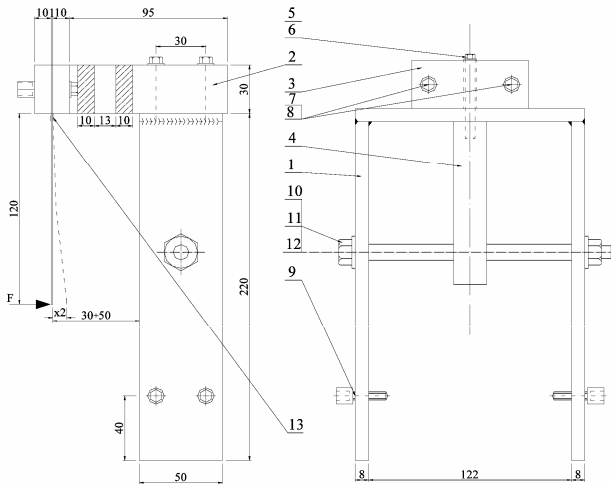


Bild 3: Messgerät zur Ermittlung von x_2 -Verschiebungen

1. Stirnrollenführung
2. Gehäuse des Messgerätes
3. elastischer kleiner Balken
4. Dehnungsmesser
5. Gummi
6. Gestell

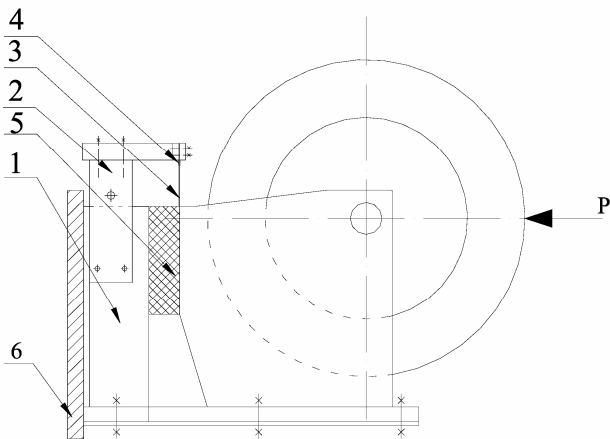


Bild 4: Befestigung des Gerätes an der Stirnführung

3 Beschreibung der Durchführung von Messungen

Die Messungen wurden auf einer Förderanlage durchgeführt, die in einem der polnischen Bergwerke des KGHM „Polska Miedz” S.A. arbeitet. Die Schachtförderung des Förderguts erfolgte von der Tiefe 1020 [m], mit einer Geschwindigkeit von 15 [m/sec], und das Schachtfördergefäß hatte die Tragkraft: $Q = 17$ [mg]. Auf **Bild 5** ist die allgemeine Ansicht des Schachtfördergefäßes (die Stelle der Befestigung der Seitenführungen) dargestellt, auf dem die Messungen durchgeführt wurden.



Bild 5: Ansicht des Kopfes des Schachtfördergefäßes mit Seitenführungen

Das Messprogramm umfasste einen vollen Zyklus der Arbeit der Förderanlage:

- I. Einfahrt des leeren Gefäßes in die Abteilung der Beladung (Füllort)
- II. Beladung des Förderguts – 17 mg.
- III. Einfahrt des vollen Fördergefäßes auf die Hängebank
- IV. Ausladung auf der Hängebank

Die Messungen wurden innerhalb von drei vollen (nacheinander folgenden) Arbeitszyklen der Förderanlage durchgeführt. In **Bild 6** ist die Verteilung von Messfühlern und die Nummerierung der Führungen schematisch dargestellt, auf denen die Messungen durchgeführt wurden.

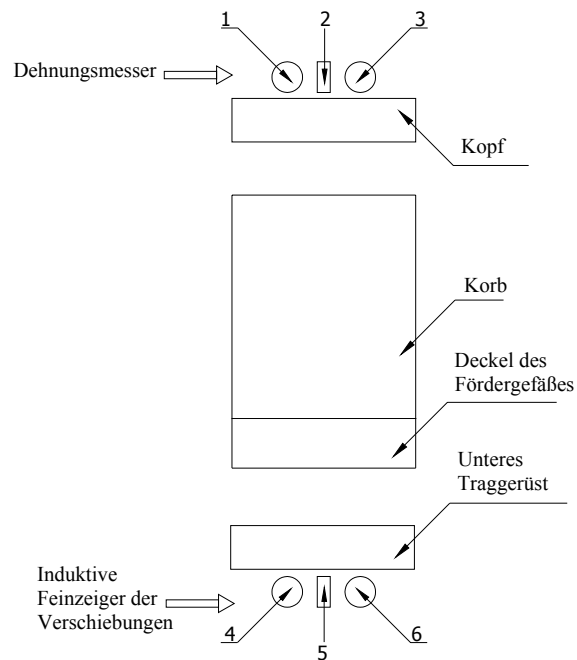


Bild 6: Verteilung und Nummerierung der Messpunkte

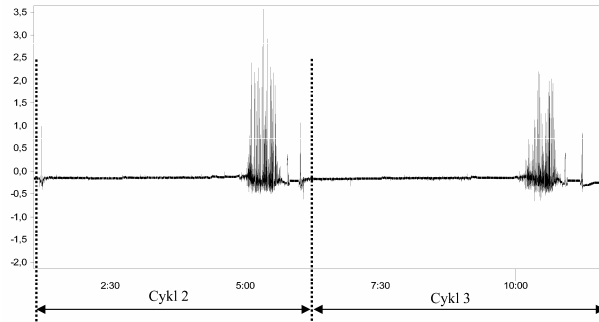


Bild 7: Verformung im System der Stirnführung – Nr. 5 – im zweiten und dritten Messzyklus

Die im vollen Zyklus der Arbeit der Förderanlage durchgeführten Messungen wurden dreimal wiederholt. Beispielsweise hat man in **Bild 7** die Veränderung der x_2 -Verschiebung im System der Stirnführung im zweiten und dritten Messzyklus dargestellt, die am unteren Rahmen befestigt ist. Hingegen hat man in **Bild 8** die Veränderung der x_2 -Verschiebung im System derselben Führung in folgenden Phasen der Arbeit der Förderanlage dargestellt:

F1 (erste Phase) – das Zumachen des Deckels des Schachtfördergefäßes,

F2 (zweite Phase) – Einfahrt des leeren Gefäßes ($v = 15\text{m/s}$),

F3 (dritte Phase) – Beladung mit Fördergut,

F4 (vierte Phase) – Ausfahrt des vollen Gefäßes ($v = 15\text{m/s}$),

F5 (fünfte Phase) – Aufmachen des Deckels des Schachtfördergefäßes,

F6 (sechste Phase) – Ausladung.

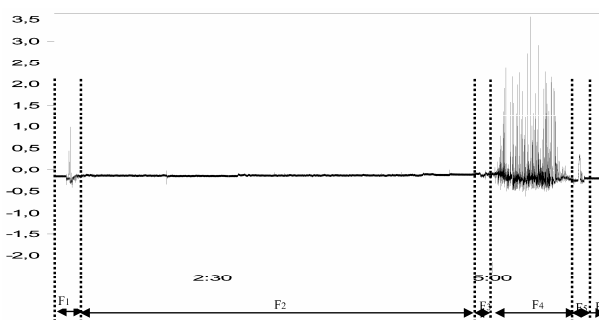


Bild 8: Veränderung der Verformung im System der Stirnführung – (Nr.5) – in einzelnen Phasen eines vollen Zyklus der Arbeit der Förderanlage

Auf Grund der auf experimentellem Wege ermittelten Verläufe der x_2 -Verschiebungen für alle Phasen der Arbeit der Förderanlage stellte man in der **Tabelle 1** deren Höchstwerte zusammen. Die Bezeichnungen x_{12} , x_{22} , x_{32} betreffen die oberen

Führungen, und x_{42} , x_{52} , x_{62} betreffen die unteren Führungen, entsprechend der in Bild 6 dargestellten Beschreibung.

Die Ergebnisse der Prüfungen von Rollenführungen /1/ ausnutzend, ist in **Bild 9** die Abhängigkeit der das System der Stirnführung belastenden Kraft als Funktion der x_2 -Verschiebung dargestellt. Dagegen sind in der **Tabelle 2** die den konkreten Werten der x_2 -Verschiebungen entsprechenden Werte der Kräfte im System der Stirn- und Seitenführungen in den unteren Phasen der Arbeit der Förderanlage unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der x_2 -Verschiebungen von der die Führung belastenden Kraft /2/ zusammengestellt.

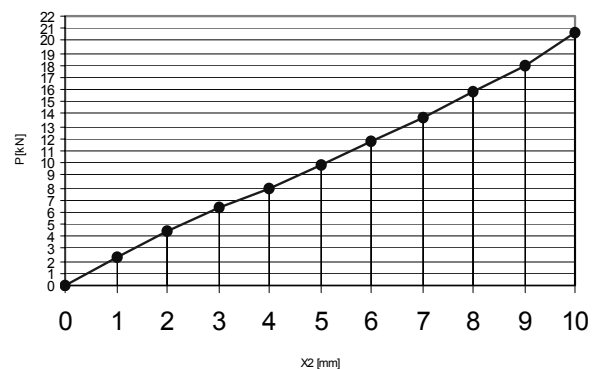


Bild 9: Die Abhängigkeit der x_2 -Verschiebung von der Kraft für die Stirnrollenführungen

Zusätzlich sind in **Tabelle 3** die Mittelwerte der Kräfte der gegenseitigen Einwirkung des Fördergefäßes und des Einstrichs in verschiedenen Phasen der Arbeit der Förderanlage zusammengestellt, die drei volle Arbeitszyklen umfasst.

4 Zusammenfassung

Die Analyse der ermittelten Ergebnisse (Tabellen von 1 bis 3) lässt feststellen, dass die Kräfte der gegenseitigen Einwirkung des Gefäßes und des Einstrichs relativ gering sind und ein Prozent der Tragkraft des Gefäßes nicht überschreiten. Hingegen betragen die Höchstwerte dieser Kräfte, die das Ergebnis der Schwingungen des Gefäßes infolge der „zufälligen“ Unebenheiten sind (die nicht innerhalb von den durch entsprechende Bergvorschriften festgelegten Grenzen liegen, „Peaks“ in den Grafiken), während deren sich die Führung vom Führungsstück ablöst, bis fünfzehn Prozent der Tragkraft der Förderanlage.

5 Literatur

- /1/ Bella V., Wolny S., Dzik S.: Sposób pomiaru sił wzajemnego oddziaływania naczyńia wydobywczego i zbrojenia szybowego. Medziarodna Vedecka Konf. „Vyzbroj a Technika Pozemnych sil” Liptowski Mikuaś. 2005 S. 46-53
- /2/ Wolny S. und andere: Opracowanie metody pomiaru rzeczywistych sił występujących w elementach zbrojenia szybowego w czasie ruchu naczyń wydobywczych. Praca nauko-wo-badawcza. Lehrstuhl für Materialfestigkeit und Konstruktion. AGH Kraków 2005 (nicht veröffentlicht)

Zyklus	Phase	Oberes System			Unteres System		
		Linke Seitenführung X^1_2 [mm]	Stirnführung X^2_2 [mm]	Rechte Seitenführung X^3_2 [mm]	Linke Seitenführung X^4_2 [mm]	Stirnführung X^5_2 [mm]	Rechte Seitenführung X^6_2 [mm]
I	Zumachen des Deckels	-	-	-	-	-	-
	Leere Einfahrt	1,3	1,0	1,2	1,5	0,4	0,1
	Beladung	1,1	0,8	1,7	0,7	0,1	0,05
	Volle Ausfahrt	2,7	6,5	5,8	1,3	4,6	0,45
	Aufmachen des Deckels	0,2	0,4	0,5	0,5	0,2	0,3
	Ausladung	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3
II	Zumachen des Deckels	-	-	1,0	1,0	1,1	0,3
	Leere Einfahrt	0,5	1,1	4,5	1,7	0,4	0,4
	Beladung	0,6	0,4	0,6	0,3	0,2	0,4
	Volle Ausfahrt	3,6	6,2	7,1	1,8	3,8	0,5
	Aufmachen des Deckels	0,2	0,4	0,8	0,6	0,5	0,3
	Ausladung	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3
III	Zumachen des Deckels	-	-	0,8	0,9	1,2	0,3
	Leere Einfahrt	0,5	0,5	4,5	1,6	0,3	0,3
	Beladung	0,7	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
	Volle Ausfahrt	3,5	6,2	6,5	1,6	3,1	0,5
	Aufmachen des Deckels	0,2	0,2	0,8	0,8	0,5	0,4
	Ausladung	0,1	0,2	0,6	0,2	0,4	0,2

Tab. 1: Höchstwerte der x_2 -Verschiebungen in den analysierten Zyklen und Phasen der Arbeit der Förderanlage

Zyklus	Phase	Oberes System der Führungen			Unteres System der Führungen		
		Linke Seitenführung P_{bl} [kN]	Stirnführung P_c [kN]	Rechte Seitenführung P_{bp} [kN]	Linke Seitenführung P_{bl} [kN]	Stirnführung P_c [kN]	Rechte Seitenführung P_{bp} [kN]
I	Zumachen des Deckels	-	-	-	-	-	-
	Leere Einfahrt	1,7	2,4	1,6	2,0	0,8	0,2
	Beladung	1,4	2,0	2,2	1,0	0,2	0,1
	Volle Ausfahrt	3,4	12,8	9,2	1,7	9,0	0,6
	Aufmachen des Deckels	0,4	1,0	0,6	0,6	0,6	0,4
	Ausladung	0,2	0,8	0,4	0,2	0,2	0,4
II	Zumachen des Deckels	-	-	1,2	1,2	2,6	0,4
	Leere Einfahrt	0,6	2,6	6,0	2,2	1,0	0,5
	Beladung	0,8	1,0	0,8	0,4	0,4	0,5
	Volle Ausfahrt	4,8	12,0	14,0	2,3	7,6	0,6
	Aufmachen des Deckels	0,3	1,0	1,2	0,8	1,2	0,4
	Ausladung	0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	0,4
III	Zumachen des Deckels	-	-	1,2	1,2	2,6	0,4
	Leere Einfahrt	0,6	1,2	6,0	2,0	0,6	0,4
	Beladung	0,9	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4
	Volle Ausfahrt	4,6	11,8	11,8	2,0	6,6	0,6
	Aufmachen des Deckels	0,3	0,4	1,2	1,2	1,2	0,5
	Ausladung	0,1	0,4	0,8	0,3	1,0	0,3

Tab. 2: Höchstwerte der Kräfte, die das System der Führungen in den analysierten Zyklen und Phasen der Förderanlage belasten

Phase	Oberes System der Führungen			Unteres System der Führungen		
	Linke Seitenführung P_{bl} [kN]	Stirnführung P_c [kN]	Rechte Seitenführung P_{bp} [kN]	Linke Seitenführung P_{bl} [kN]	Stirnführung P_c [kN]	Rechte Seitenführung P_{bp} [kN]
Zumachen des Deckels	-	-	0,93	1,50	2,30	0,50
Leere Einfahrt	1,10	1,76	1,40	2,33	0,76	0,43
Beladung	1,16	0,96	5,06	0,70	0,43	0,40
Volle Ausfahrt	4,60	12,43	9,00	2,36	7,63	0,79
Aufmachen des Deckels	0,40	0,66	1,06	0,96	0,80	0,53
Ausladung	0,20	0,43	0,56	0,26	0,46	0,56

Tab. 3: Mittelwerte der Kräfte der gegenseitigen Einwirkung des Fördergefäßes und des Einstrichs

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
- Konstruktionssystematik
- Rechnereinsatz im Maschinenbau
- Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen
- Maschinenakustik
- Experimentelle Beanspruchungsermittlung und Spannungsoptik
- Technische Normung
- Rapid Prototyping / Rapid Tooling

Das interdisziplinäre Team am IMW besteht aus 15 wissenschaftlichen Mitarbeitern/-innen aus den Bereichen Maschinenbau, Technomathematik 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 (Spannungsoptik, Akustik, CIM), verschiedene maschinentechnische Prüfstände und die notwendige Rechnerausstattung.

Die Untersuchung von Maschinenelementen kann auf zwei hydraulischen Verspannprüfständen, einem Torsions-Schwingprüfstand, einem Umlaufbiege- und Torsionsprüfstand, einer statischen Verspanneinrichtung sowie einer separaten Umlaufbiegeprüfeinrichtung 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 einer 64 Kanal Telemetrie-einrichtung bewältigt. Ein Schleuderprüfstand für schnell drehende Maschinenteile (z.B. Rotoren, Abweiseradwindsichter), ein Prüfstand für Feinprallmühlen und eine Reaktionsschwingmühle ergänzen die Prüfeinrichtungen des IMW für Untersuchungen an verfahrenstechnischen Maschinen.

Das Labor für statische Spannungsoptik verfügt über Einrichtungen und Werkstattinfrastruktur für spannungsoptische Untersuchungen an Bauteilmodellen von mikroskopischer Größe bis zu einer Größe von ca. 1 m. Die hierzu zum Teil notwendige eigenspannungsarme Bearbeitung von Modellmaterialien werden von der Institutswerkstatt ebenso sachkundig ausgeführt wie die aufgabenspezifische Anfertigung von Belastungseinrichtungen. Die technische Ausstattung des Labors für dynamische Spannungsoptik ermöglicht Messungen an hochfrequent belasteten Bauteilen. Mittels eines elektrodynamischen Schwingerregers können Bauteile 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 Messequipment auf dem neuesten Stand der Technik ausgestattet worden:

- Oros Signalanalysatoren mit 4 und 32 Kanälen mit einer Bandbreite von bis zu 102kHz pro Kanal zur Echtzeitverarbeitung
- 3 Modalshaker (1kN, 200N, 10N)
- Rotations-Laservibrometer
- 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 CIM-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. Zur CAM-Lösung der Firma DLoG gehören ein werkstattorientiertes NC-Programmiersystem, Einrichtungen zur Direktübertragung von NC-Programmen an die Maschinensteuerungen und Anwendungen zur Maschinen-/Betriebsdatenerfassung sowie zur Maschinenzustandsanzeige. Als CAD/CAM-System wird CATIA V5 und Pro/Engineer mit Pro/Manufacturing eingesetzt. Maschinenspezifische Postprozessoren erlauben eine durchgängige CAD/NC-Verfahrenskette. Als PDM-System kommt axalant™ von EIGNER auf einer ORACLE8i-Datenbank zum Einsatz.

Die Recherausstattung 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 und einen Abteilungsserver SUN Enterprise 450 zum Betrieb der 60 SUN Workstations. Als Standardsoftware stehen eine Vielzahl von Programmen zur Verfügung, u. a. die CAD-Pakete ProEngineer Wildfire 2.0 und CATIA V5 sowie die FEM-Programme MARC/MSC.PATRAN, ANSYS 8.1 und ProMechanica.

Das Institut für Maschinenwesen verfügt über eine vollständige Rapid Prototyping bzw. Rapid Tooling Verfahrenskette zum Lasersintern von metallischen Bauteilen. Hierzu gehören im Einzelnen eine Rapid Tooling Anlage EOSINT M 250 der Firma EOS, zum Generieren von Prototypen, Funktionsteilen und Werkzeugen (Formen und Elektroden), verschiedene Konstruktionsarbeitsplätze (ProE, CATIA V5), 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 Multimediaraum können Multimediale Lehrveranstaltungen mit unter anderem 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,
- Softwareentwicklung zur Simulation und Optimierung von Fertigungsverfahren und zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses.
- 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.

Durch die interdisziplinäre Zusammensetzung werden im Institut auch Entwicklungsprojekte für komplette Maschinen und Steuerungen durchgeführt. Die Zusammenarbeit kann auch über Praktika, Studien- und Diplomarbeiten erfolgen.

Neben den oben aufgeführten Angeboten bietet das Institut für Maschinenwesen interessierten Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen, insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen, Beratungen zu den europäischen Förderungsmaßnahmen an. Dies beinhaltet neben der Beratung zur Einwerbung von Fördermitteln auch Hilfestellung bei der Vorbereitung, der Durchführung und der Partnersuche bei europäischen 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,
- Seiltrommeln (ein- und mehrlagig bewickelt),
- Stahldrahtseile,
- 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,
- der Simulation, Berechnung und Optimierung von kinematisch komplexen Fertigungsverfahren (Zahnkantenabdachungen, Wirbelfräsen),
- Fehlermöglichkeitseinfluss- und Störfallanalysen,
- dem fertigungsgerechten Konstruieren insbesondere an Bauteilen aus Feinblech.

Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen

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

- Entwicklung von Reaktionsmühlen,
- Untersuchung der Zusammenhänge beim Prallmahlen,
- Gestaltung schnell laufender Rotoren (Windsichter/Prallmühlen),
- chemisches Recycling von Kunststoffen,
- Niedertemperaturrauchgasentschwefelung,
- Entwicklung lärmarmen, schnell laufender Mühlen.

Weitere Forschungsvorhaben beschäftigen sich mit KI-Systemen und 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 Körperschallimpedanz- und Dämpfungselementen steht entsprechende Messwerterfassungs- und Verarbeitungshard- und -software zur Verfügung. Ein weiterer Schwerpunkt bildet die Entwicklung von Konstruktionssystematiken und von Beratungssystemen zur Konstruktion lärmarmen 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 01.01.2002

Veröffentlichungen 2002

Grünendick, T.: Fester Presssitz durch "hydraulisches Aufweiten". TU Contact, Nr. 11/6, Oktober 2002

Klemp, E.: Unterstützung des Konstrukteurs bei der Gestaltung von Spritzgussbauteilen hergestellt im Rapid Prototyping und Rapid Tooling Verfahren, Dissertation, TU Clausthal, Mai 2002.

Wächter, M.; Hennecke, P.: Leistungspunktsystem für Ingenieure; Workshop Leistungspunktsystem, 2. Juli 2002, Aachen

Otto, St.; Mupende, I.; Dietz, P.: Influence of Hoisting Drum Winding System on the End Plate Loads, 7th International Design Conference, Dubrovnik, 2002

Düsing, C.: Potentialities of Application of the Emerging Systems Engineering Standard AP233, 7th International Design Conference, Dubrovnik, 2002

Birkholz, H.: Design of Axial Pin Connections for Torque Transmission, 7th International Design Conference, Dubrovnik, 2002

Schäfer, G.; Garzke, M.: INCREASING LOAD CAPACITY OF SPLINES DUE TO DESIGN, 7th International Design Conference, Dubrovnik, 2002

Otto, St.; Mupende I.; Dietz, P.: Influence of the hoisting drum winding system on the end plate loads, 7th International Design Conference, Dubrovnik, 2002

Birkholz, H.: Längsstift-Verbindungen als Alternative zur Passfeder? Seminar „Zahnwellenverbindungen und Pressverbindungen“, VDI Bildungswerk, 27./28.03.2002, Chemnitz

Schäfer, G.: Schadenskunde von Zahnwellen-Verbindungen, Seminar „Zahnwellenverbindungen und Pressverbindungen“, VDI Bildungswerk, 27./28.03.2002, Chemnitz

Schäfer, G.: Betriebs- und Verschleißverhalten von Zahnwellen-Verbindungen, Seminar „Zahnwellenverbindungen und Pressverbindungen“, VDI Bildungswerk, 27./28.03.2002, Chemnitz

Schäfer, G.; Grünendick, T.: Preßverbindungen durch Innenhochdruckfügen, Seminar „Preßverbindungen für höchste dynamische Belastungen“, VDI Bildungswerk, 24./25.09.2002, Chemnitz

Schäfer, G.: Elastisch-plastische Auslegung geschwächter Preßverbindungen, Seminar „Preßverbindungen für höchste dynamische Belastungen“, VDI Bildungswerk, 24./25.09.2002, Chemnitz

Schäfer, G.; Böhm, E.: Methoden zur Innovationsfindung - Wie findet man neue Ideen? Veranstaltungsreihe Innovationstraining für kleinere und mittlere Unternehmen, 7.11.2002, Hildesheim

Veröffentlichungen 2003

Dietz, P.: Dimensioning and design of shaft to collar connections. 8th Cairo University Conference on Mechanical Design and Production Engineering, 4 – 6. January 2003

Dietz, P.: Auslegungskriterien für mehrlagig bewickelbare Seiltrommeln nach dem Prinzip des Leichtbaus. Kolloquium Fördertechnik im Bergbau 28.-19. Jan. 2003, Clausthal

Dietz, P.; Grünendick, T.: Interdisziplinäre Lösungsfindung am Beispiel der Welle-Faserverbund-Nabe-Verbindung. 9. Nationale Symposium der Sampe, 19./20.02.2003, Clausthal

Schäfer, G.: Auslegung von Zahnwellen-Verbindungen. Seminar „Pressverbindungen für höchste dynamische Belastungen“, VDI Bildungswerk, 25./26.03.2003, Chemnitz

Birkholz, H.; Grünendick, T.: Die Auswahl der geeigneten Welle-Nabe-Verbindung – Längsstift-Verbindungen als Alternative. Seminar „Pressverbindungen für höchste dynamische Belastungen“, VDI Bildungswerk, 25./26.03.2003, Chemnitz

Goltz, M.; Müller D.; Müller N.: PDM/PLM - Verwaltung von Produktdaten. ITZ Berichte, Band 1, Heft 4, April 2003, Clausthal

Trenke, D.: Die Rapid Tooling-Verfahrenskette, TU Contact Nr. 12, 7. Jahrgang, TU Clausthal, Mai 2003

Wächter, M.: Kompetenzen eines Maschinenbau-Ingenieurs. Workshop "Die Berufsqualifikation und die Arbeitsbelastung der Studierenden - die qualitativen und quantitativen Gestaltungsgrundlagen für Leistungspunktesysteme in der Hochschulbildung", 21.-22.05.03 Weimar

Düsing, C.; Kamel, N.; Müller D.: Product Knowledge Management for the Extended Enterprise. Proceedings ICE 2003, 9th International Conference on Concurrent Engineering, Espoo, Finland, 16-18 June 2003

Trenke, D.; Müller, N.: Rapid Prototyping und Rapid Tooling am Institut für Maschinenwesen, Begleitband zur Informationsveranstaltung, IMW, 22.07.03

Dietz, P.; Mupende, I.: Druckkämme unter instationärer Axialkraftbelastung; Abschlußbericht zum DFG-Forschungsprojekt, Di 289 / 24-1; Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal, Juli 2003

Backhaus, S.: Maschinenakustik am Institut für Maschinenwesen. WGMK-Jahrestagung 2003, Clausthal-Zellerfeld, Sept. 2003

Schäfer, G.: Auslegung von Zahnwellen-Verbindungen. Dresdner Maschinenelemente Kolloquium, 23./24. Sept. 2003, Dresden, ISBN 3-86130-201-2

Dietz, P.: Metodología del Diseño. Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) 10. Sept. 2003

Dietz, P.: Modelos de estudio innovativos para la formación del ingeniero. Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) Sept. 2003

Dietz, P.: Oportunidades y Problemas de un Sistema de Acreditación de dos Niveles: La Experiencia de Alemania. Taller de Inducción a los Miembros Designados del Consejo Centroamericano de Acreditación de la Educación Superior CCA. Guatemala 9.-13. Sept. 2003

Mupende, I.; Otto, St.: Dimensionierung und Gestaltung von Leichtbauseiltrommeln. WGMK-Jahrestagung 2003, Clausthal-Zellerfeld, Sept. 2003

Otto, St.: Das Beanspruchungsverhalten mehrlagig bewickelter Seiltrommeln unter nicht-rotationssymmetrischer Belastung. Dresdener Maschinenelemente Kolloquium 2003, Dresden, Sept. 2003

Otto, St.: Das Beanspruchungsverhalten mehrlagig bewickelter Seiltrommeln unter nicht-rotationssymmetrischer Belastung. Kolloquium Konstruktionstechnik 2003, Rostock, Okt. 2003

Dietz, P.; Mupende, I.; Otto, S.: Einfluss des Rillungssystems auf die Bordscheibenbelastung einer Seiltrommel. TU Contact, Nr. 13/7, Oktober 2003

Dietz, P.; Grünendick, T.: Bauteilkonstruktion mit kombinierten Werkstoffen – Möglichkeiten und Grenzen am Beispiel verfahrenstechnischer Maschinen. Veröffentlicht in:

- 14. Symposium der DGM Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 2.-4.07.2003, Wien
- Konstruktion 55 (2003), Heft 9, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf
- TU Contact, Nr. 13/7, Oktober 2003

Schäfer, G.: Auslegung von Zahnwellen-Verbindungen. VDI-Berichte 1790, VDI Tagung Wiesloch Sept. 2003, ISBN 3-18-091790-3

Dietz, P.; Grünendick, T.: Leistungsfähige Welle-Nabe-Verbindungen durch Innenhochdruckfügen. VDI-Tagung „Welle-Nabe-Verbindungen“, Heidelberg, 19./20.11.2003

Dietz, P.: Welle-Nabe-Verbindungen – nichts Neues zu erforschen? Wolfgang Beitz Gedenkkolloquium 21.11.2003 Berlin

Dietz, P.: Por que Crear un Sistema de Acreditación en Educación Superior y como Asegurar su Credibilidad Nacional e Internacional. Perspectiva del Consejo de Acreditación de Alemania (AKKREDITIERUNGSRAT). IV Foro Centroamericano por la Acreditación de la Educación Superior. Nov. 2003. Panama

Trenke, D; Estrin, J.: Selbsttragende Strukturen als neues Designprinzip, Neue Materialien und Verfahren, Technologieinformationen niedersächsischer Hochschulen, Dezember 2003

Veröffentlichungen 2004

Dietz, P.: Auslegungskriterien für mehrlagig bewickelte Seiltrommeln nach dem Prinzip des Leichtbaus. Kolloquium Fördertechnik im Bergbau, 28./29. Januar 2004, Clausthal

Dietz, P.; Grünendick, T.: Welle-Nabe-Verbindungen – nichts mehr zu entwickeln? Innenhochdruck-Fügeverfahren für Welle-nabe-Verbindungen. Konstruktion – Zeitschrift für Produktentwicklung, Nr. 1/2-2004

Dietz, P.; Wächter, M.: BLK-Projekt: Entwicklung und Erprobung eines integrierten Leistungspunktesystems in der Weiterentwicklung modularisierter Studienangebote am Beispiel der Ingenieurwissenschaften, Abschlussbericht AP4 - Internationalisierung, 2004

Wächter, M. und Mitautoren: Das Berufsbild des Ingenieurs - Mindestanforderungen an die allgemeinen und Fachkompetenzen, Workshop "Modul- und Leistungspunktemanagement 2004: Konzepte und Erfahrungen bei Bewertung, Anerkennung und Austausch von Modulen", Workshop in Leipzig, 2004

Trenke, D.; Estrin, J.: Selbsttragende Strukturen aus selbstverzahnten Bausteinen und deren Herstellung durch Rapid Tooling, Exponatbeschreibung Hannover Messe 2004, TU Clausthal, April 2004

Dietz, P.; Mupende, I.; Otto, S.: Auslegungskriterien für mehrlagig bewickelbare Seiltrommeln nach dem Prinzip des Leichtbaus. 12. Internationale Kranfachtagung 30.4.2004, Bochum

Müller, D.; Goltz, M.; Müller, N.: PLM – Management of product data without limits I?, Mai 2004

Dietz, P.: Design criteria for multilayer wound winch drums following lightweight design principles. 8th International Design Conference, 17-20. Mai 2004, Dubrovnik, Kroatien

Dietz, P.: Development of low noise products using sound flow analysis. Noise Control'04 06.-09. Juni 2004, Gdynia, Polen

Dietz, P.: Auslegungskriterien für mehrlagig bewickelbare Seiltrommeln nach dem Prinzip des Leichtbaus. Glückauf Forschungshefte, Nr. 2, Juli 2004

Schäfer, G.; Garzke, M.; Grünendick, T.: Innenhochdruckfügen von Welle-Nabe-Verbindungen. PNEU-HIDRO 2004, 21.-23.09.2004, Miskolc-Eger, Ungarn

Schäfer, G.: Einsatz hochgenauer Schraubwerkzeuge. PNEU-HIDRO 2004, 21.-23.09.2004, Miskolc-Eger, Ungarn

Schäfer, G.: Elastisch-plastische Auslegung geschwächter Pressverbindungen, Seminar „Pressverbindungen für höchste dynamische Belastungen“, VDI Bildungswerk, 18./19.11.2004, Chemnitz

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 Con-

tact, 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

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”, Euro-science 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. Abschluss-symposium zum Paketantrag „Kompatibilisierungsmethoden“, 16.11.2006, Claus-thal

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

Studien- und Diplomarbeiten am IMW im Jahr 2006

- Danneberg, Kai: Räumliche FE-Untersuchungen an Welle-Nabe-Verbindungen mit Novikovprofil unter Drehmomentbelastung. Diplomarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Dong, Yang: Parameteruntersuchungen an Welle/Nabeverbindungen mit den Programmen ANSYS und ProE. Diplomarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Ebert, Sascha: Konstruktion eines Prüfmoduls zur dynamischen Vierpunktbiegeprüfung. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Hildebrand, Sven: Analyse der Forschungsansätze KARE und SIMNET in Hinblick auf Anwendbarkeit zur Unterstützung des Prozesses der Plausibilisierung von Anforderungen. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Hopp, M.: Environmental consequences of the European WEEE regulation: An LCA analysis. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Klementovicz, Dariusz: Konstruktion eines Manipulators zur Positionierung von Proben in einem Elektronenmikroskop. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Klementovicz, Dariusz: Analytische und experimentelle Untersuchungen an Membranbälgen. Diplomarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Kramarczuk, W.: Systematische Identifikation des Einflusses von Umgebungsschwingungen auf ein Elektronenmikroskop und Entwicklung von Maßnahmen zur Vermeidung der Schwingungswirkung. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Medhurst, Timothy: Parametrisierte FE-Untersuchung zur Beanspruchungsoptimierung an Welle-Nabe-Verbindungen mit Novikovprofil. Diplomarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Michna, Dominic: Konstruktive Auslegung, Berechnung, Montage und Inbetriebnahme einer Rohrspannvorrichtung. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Musial, Wojciech: Entwicklung eines Programms zur Bestimmung der Beanspruchungen in Seiltrommeln und Zwillingsseiltrommeln. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Neuhaus, Sven: FE – Berechnungen zur Optimierung einer Welle- Nabe-Verbindung mit Novikov - Zahnprofil. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Riedmüller, Judith: Stand der Technik im Bereich schnell laufender Rotoren in der verfahrenstechnischen Anwendung, Diplomarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Schmidt, Marion: Vergleich Evolventen - Novikov - Verzahnung bei Zahnwellenverbindungen. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Song, Y.: Optimierung einer Gestellkonstruktion für eine Dreischneidemaschine. Diplomarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Thoden, Daniel: Theoretische Analyse der Schallsituation eines PKW-Schaltgetriebes und Vorschläge zu deren Messung. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Thoden, Daniel: Entwicklung eines Akustik-Getriebe-Verspannungsprüfstandes. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Wesolowski, Pawel: FEM-Simulation von Längsstiftverbindungen mit teilplastischem Werkstoffverhalten. Studienarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Yan, Guoquan: FE - Untersuchungen an Welle/Nabeverbindungen mit den Programmen ANSYS und ProE. Diplomarbeit, Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 2006
- Nicht berücksichtigt sind Studien- und Diplomarbeiten, für die ein Sperrvermerk existiert.

Autoren

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 Konstruktionssysteme der Pittler Maschinenfabrik AG, Langen, seit 1977 dort Leiter der Entwicklungsabteilung, seit 1.10.1980 Universitätsprofessor und Institutsdirektor des IMW. dietz@imw.tu-clausthal.de

Dzik, Stanislaw: Jahrgang 1946, Lehrstuhl für Festigkeitslehre und Konstruktion der Bergakademie Krakau.

Esderts, Alfons: Professor am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der TU Clausthal, Abteilung "Betriebsfestigkeit und Systemverhalten"

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

Kramer, Wibke: Jahrgang 1980, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.5.2006 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW. kramer@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

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

Lütkepohl, Anke: Jahrgang 1976, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.5.2004 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW. luetkepohl@imw.tu-clausthal.de

Müller, Dirk: Jahrgang 1969, studierte Technomathematik an der TU Clausthal, seit 1.1.2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. Promotion im September 2006 über aufgabenorientiertes Anfor-

derungsmanagement in der integrierten Produktentwicklung.

dmueller@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

Pajak, Tadeusz: Jahrgang 1950, studierte allgemeinen Maschinenbau und Energiewirtschaft an der AGH Krakau, Polen, seit 1.10.76 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fakultät für Mechanische Verfahrenstechnik und Robotik, Promotion 1981 über die Strömungsverhältnisse an Radialventilatoren, Gutachter des Umweltministeriums, Berater polnischer Kommunen in Entsorgungsfragen. pajak@imir.agh.edu.pl

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

Sambale, Bianca: Jahrgang 1973, studierte Technomathematik an der TU Clausthal, seit 1.2.2005 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW. sambale@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

Schwarzer, Tim: Jahrgang 1977, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.1.2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. schwarzer@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

Siemieniec, Adam: Jahrgang 1929, Professor am Lehrstuhl für Technische Mechanik der Bergakademie Krakau.

ad_siem@uci.agh.edu.pl

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

Wolny, S.: Jahrgang 1949, Leiter des Lehrstuhls für Technische Mechanik der Bergakademie Krakau.
stwolny@uci.agh.edu.pl