

Mitteilungen aus dem  
**Institut für Maschinenwesen**  
der  
Technischen Universität Clausthal  
**Nr. 29**

(November 2004)

**Herausgeber:**

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

**Redaktion und Layout:**

Dr.-Ing. Günter Schäfer  
Dipl.-Ing. Christopher Ring  
Dipl.-Ing. Hagen Birkholz

**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](mailto:info@imw.tu-clausthal.de)  
<http://www.imw.tu-clausthal.de>

ISSN 0947-2274

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	1
<b>Konstruktion und Berechnung von Maschinenelementen</b>	
Dietz, P; Mupende, I.:	
Einfluss der Seildämpfung auf die Trommelbelastungen bei Bewicklung mit Kunststoffseilen oder Kunststoff – Stahl Seilen .....	5
Dietz, P.; Birkholz, H.; Grünendick, T.; Schäfer, G.:	
Geschwächte Welle-Nabe-Pressverbindung .....	9
Dietz, P.; Grünendick, T.:	
Umformen verbindet Fügeverfahren für Welle-Nabe-Verbindungen .....	15
Grünendick, T.; Guthmann, A.:	
Umformen verbindet Unrundprofilverbindungen durch Innenhochdruckfügen .....	19
Korte, T.:	
Konstruktion einer Fräsvorrichtung zur Bearbeitung von Gesteinsprüfungen .....	21
Schäfer, G.; Ring, C.:	
Zahnwellenforschung am IMW .....	27
<b>Konstruktionsmethodik und rechnerunterstützte Produktentwicklung</b>	
Boryczko, A.; Müller, N.:	
Erweitertes Engineering-System im rechnergestützten Anlagen- und Apparatebau .....	31
Trenke, D.:	
Selektives Lasersintern von metallisch/keramischen Strukturen .....	41
Düsing, C.; Grünendick, T.; Müller, D.; Rolshofen, W.:	
Die Fabrik der Zukunft - ein europäisches Netzwerk - .....	43
Müller, D.:	
Unterstützung des Produkt-Lebenszyklus in Thailand und Malaysia - Erfolgreiche Kooperation zwischen Europa und Asien .....	47
Müller, D.:	
Wissen anwenden .....	51
Söver, A.:	
Erweiterung der Fertigungsmethoden für Systeme aus topologisch selbstverzahnten Elementen .....	57
<b>Experimentelle Methoden und Maschinenakustik</b>	
Backhaus, S.:	
Konzeption und Bau eines Prüfstandes zur Ermittlung des Körperschallübertragungsverhaltens von Wälz- und Gleitlagern .....	59
Düsing, C., Rolshofen, W.:	
Berühmbare akustische Benutzerschnittstellen .....	63

Schäfer, G.:	
Messungen an einem hydraulischen System.....	67
Nsenga, E.B.:	
Untersuchung des dynamischen Verhaltens eines Lagerprüfstandes mittels FEM.....	71
Hua, Q.; Ring, C.:	
Aufbau und Betrieb eines Prüfstandes zur Verschleißfestigkeitsprüfung von Zahnwellen-Verbindungen ....	75

### **Hochschule und Kontakte**

Wächter, M.:	
Leistungspunktesystem – ein Werkzeug im Rahmen der Studienreformen des Bologna - Prozesses.....	79
Guthmann, A.:	
Neugestaltung der CAD – Lehre am IMW unter Verwendung von Pro/ENGINEER Wildfire® .....	83
Trenke, D.; Söver, A.:	
Präsentation von selbstverzahnten Strukturen auf der Hannover Messe 2004.....	87
Guthmann, A.; Korte, T.; Ring, C.:	
Maschinentechnische Exkursion des IMW im Oktober 2003 .....	89
Schäfer, G.; u.a.:	
Pressespiegel 2004 .....	95
Wolny, St.; Dietz, P.; Schäfer, G.:	
Festigkeit und Beständigkeit eines Grossradiallüfters .....	117
Wolny, St.; Siemieniec, A.; Dzik, St.; Dietz, P.:	
Einfluß der technologischen Verdichtung auf den Zustand der Spannungen in Kastenträgern von Kränen .....	121
Tepnadse, S.A.; Betaneli A.J.; Wepchwadse, D.A.:	
Systemansatz zur automatisierten Projektierung und Fertigung von Leiterplatten.....	127
Betaneli, A.J.; Apchaidse A.A.; Tawadse, N.G.:	
Einfluss konstruktiver Aspekte sowie Betriebscharakteristika auf die Lärmintensität eines Hubschraubers .....	131

### **Ausstattung etc.**

Technische Ausrüstung, Kooperationsangebote und Forschungsschwerpunkte des Institutes.....	136
Veröffentlichungen des Institutes seit dem 1.1.2000.....	140
Autoren .....	149

## Vorwort

Um es mit dem alten Holzmichel auszudrücken – er lebt noch! Zwar wurde ich in einem offiziellen Akt gegen Ende des Septembers in die Pension überführt, nach einer logischen Minute jedoch wieder eingestellt, um bis zum Einstieg eines Nachfolgers die Geschicke des Instituts weiter zu leiten. Also muss halt – wie ich im Vorwort des letzten Jahres bereits andeutete – die Vergreisung noch ein bisschen warten.

Das Problem mit meiner Nachfolge bereitet mir aber allmählich schon etwas Sorge. Wir haben in diesen Institutsnachrichten und noch einmal separat den fachlichen Teil des Ausschreibungstextes aufgenommen, weil wir das Verfahren nun wirklich forcieren müssen. Leider war ja die „Ausbeute“ des ersten Schrittes nicht befriedigend, was weniger an der Qualität einiger weniger Bewerber als an der Quantität der Bewerbungen lag.

Was könnte denn die sicherlich zahlreichen qualifizierten Leser dieser Institutsnachrichten davon abhalten, sich auf diesen Traumjob an dieser Traumuni im schönen Oberharz („wir arbeiten dort, wo andere Urlaub machen“) zu bewerben?

Kommt es daher, dass in dem Ausschreibungstext die „eierlegende Wollmilchsau“ gesucht wird? Der Text ist vielleicht ein bisschen unglücklich, deshalb darf ich das noch einmal erklären: Gesucht wird natürlich jemand, der sich in den Grundlagen mit den Konstruktionselementen beschäftigt, die vom Maschinenbau zur Mechatronik mutieren – aber das ist die natürliche Entwicklung der Technik. Hier hat das Institut besonders in der Forschung seine größten Aktivitäten, wobei die Welle-Nabe-Verbindungen eindeutig den Schwerpunkt darstellen. Die Konstruktionslehre in Lehre und Forschung, die ich in Fortführung der Gedanken meines alten Lehrers Prof. Pahl als Vorgehensstrategie betrieben habe, kann von einem Nachfolger aus seinem eigenen Erleben völlig anders gestaltet werden – sie gehört aber zur Pflicht.

Der Rest ist Kür, entstanden aus früheren Schwerpunkten, Hobbies und Gelegenheiten ein wissenschaftliches Thema aktuell aufzugreifen. Die Werkzeugmaschinenvorlesung ist aus meiner alten Industrietätigkeit abgeleitet, die Seiltrommelforschung habe ich aus einem aktuellen Bedarf wieder aufgenommen, die verfahrenstechnischen Maschinen entstanden aus einem Sonderforschungsbereich

und die Maschinenakustik aus der Erkenntnis heraus, dass man dies nicht einfach den Akustikern (= Physikern) überlassen sollte. Alles dies sind Entwicklungen, die sich mit der Zeit meiner Tätigkeit in Clausthal ergeben haben und auch zu beidenswerten Einrichtungen im Institut geführt haben, aber sie können auch neuen Schwerpunkten weichen. Mit einem neuen Institutsleiter wird naturgemäß ein neuer Akzent gesetzt, Weiterführung in den alten Schienen wäre Rückschritt.

Das lässt sich natürlich in einer so formal gestalteten Ausschreibung, die mehr über die Gesetzeslage, die Genderaspekte und die Formalien enthält als über die eigentlichen Inhalte, nicht so richtig ausdrücken. Wenn Sie sich also interessieren sollten, schlage ich zunächst mal ein informelles Gespräch oder einen Besuch vor, bei dem wir uns über die Situation und die Inhalte einer Hochschul-lehrertätigkeit unterhalten können – vielleicht kann man bei dieser Gelegenheit auch mit ein paar Vorurteilen über Beamtentum, miese Bezahlung und Hochschulsituation aufräumen. Ich freue mich auf Ihren interessierten Anruf – und natürlich auch über eine Weiterempfehlung.

Nach dieser Einleitung „in eigener Sache“, die länger geworden ist als ich dachte, kann ich aber durchwegs Erfreuliches berichten. Die TU Clausthal hat mit ihrem neuen Präsidenten Prof. Brand, der nicht aus dieser Hochschule kommt und Jurist ist, einen hoffnungsvollen Schritt in Richtung einer unternehmerisch geführten Hochschule gemacht, was sich zur Zeit und unter dem Sparzwang des Landesministeriums in einer kompletten Umstrukturierung bemerkbar macht. Die Fakultäten wurden neu ausgewürfelt – wir sind jetzt mit den Mathematikern in einer Fakultät -, die Zuwendungen an die einzelnen Institute werden mindestens teilweise nach Leistungsgesichtspunkten vorgenommen, die Verwaltung wird verschlankt und die Hochschul- und Institutswerkstätten werden in ihrer personellen und sachlichen Ausstattungen mit Hilfe von industriell ausgerichteten Beratungsunternehmen einer kritische Betrachtung unterzogen.

Für das IMW sehe ich diese Entwicklung nicht nachteilig. Durch unsere starken Aktivitäten in Lehre und Forschung können wir von diesen Neuerungen nur gewinnen. Die steigenden Studentenzahlen bescheren uns mindestens im Grundstudium



wieder ein „volles“ Haus. Passend dazu haben wir unsere Rechenanlagen für die Lehre aufgestockt - und die Lehre gleich mit. Die Studierenden werden bereits im ersten Semester mit ProEngineer Wildfire in 3D-CAD eingewiesen, was nach den ersten Erfahrungen außerordentlich erfolgreich ist. Im FE-Bereich haben wir uns für ANSYS entschieden, für das wir in Zusammenarbeit mit einem befreundeten Unternehmen auch über eine Industrielizenz mit praktisch unbegrenzter Netzgröße und wesentlich erweiterten Funktionen verfügen.

Überhaupt hat sich mit den rechnergestützten Hilfsmitteln einiges getan. Nachdem unser Multi-Mediaroom komplett eingerichtet ist und bereits für den internationalen Gedankenaustausch in der Forschung dient, werden die Vorlesungen umgestellt. Günter Schäfer macht den Vorreiter und lässt seine Vorlesung „Maschinenlehre“ mitschneiden, damit die Studierenden sich das abends nochmals (oder vielleicht auch erstmals) übers Internet reinziehen können. Ich werde mich mit den Konstruktionselementen I ab Sommersemester umstellen - die härteste Systemanforderung ist wahrscheinlich ein Erkennungsprogramm für meine Handschrift. Ob das alles den Studierenden hilft, wissen wir noch nicht - jedenfalls können die vielen Ausländer (bei den Neuanfängern haben wir über 50%) abends besser die Wörterbücher wälzen als während der Vorlesung.

Apropos Ausländer. Nach unserem Doppeldiplom mit Krakau haben wir in diesem Jahr die Verträge mit Oviedo und Valencia unterschrieben. Das Interessante an diesem Programm ist, dass die Deutschen und die Spanier eine Gruppe bilden sollen, die gemeinsam erst zwei Semester in Clausthal und dann zwei Semester in Spanien studieren sollen. Durch die geförderte Kommunikation erhoffen wir uns eine bessere sprachliche Vorbereitung und eine längerfristig angelegte Zusammenarbeit, die sich nicht nur auf das Studium positiv auswirken soll. Anke Guthmann, seit diesem Jahr im Institut (manche kennen sie noch als ehemalige Auszubildende) betreut die internationalen Gruppen.

Bei einem Besuch in diesem Jahr habe ich mit unserem alten Freund und Institutsmitglied Wan Gang, der jetzt Rektor der Tongji-Universität in Shanghai ist, ein Doppeldiplom besprochen, das wir im nächsten Jahr auf den Weg bringen wollen. Das wäre natürlich auch für unsere deutschen Studierenden interessant, weil das Institut von Wan Gang eng mit VW in Shanghai zusammenarbeitet und so eine Reihe von Möglichkeiten für Praktika,

Studienarbeiten usw. bietet. Und ein Sprachproblem existiert nicht, weil in der Tongji in den Fächern des Maschinenbaus auch in Deutsch unterrichtet wird.

Das heißt nicht, dass wir unsere anderen Freunde vergessen hätten! Die Sprachverwirrung im Sekretariat nimmt zu, weil die Damen neben Polen, Spaniern, Kubanern und Mexikanern jetzt auch noch mehr Georgier, Ägypter, Chinesen und Brasilianer perfekt begrüßen und betreuen.

Die Internationalität erstreckt sich auch auf den Forschungsbereich. Wir sind Mitglied in I\*PROMS, einem europäischen Exzellenznetzwerk zur Entwicklung intelligenter Maschinen, und haben uns mit anderen Hochschulen im Projekt EAPSTRA auch der technischen Aus- und Weiterbildung in Thailand und Malaysia verschrieben. Das Projekt TaiChi befasst sich mit der Nutzung von Schallwellen zur Informationsübertragung in Maschinen und Anlagen, während das Projekt PRIME zum Wissensmanagement in erweiterten Unternehmen mit der Dissertation von Michael Goltz in diesem Jahre auslief. Steffen Otto (Seiltrommeln), Hagen Birkholz (Längsstifte), Berthold Käferstein (Körperschall in Blechverbindungen) und Torsten Grünendick (Innenhochdruckgefügte WN-Verbindungen) haben bereits erfolgreiche Promotionsfeiern hinter sich, Carsten Düsing (Wissensbasierte Unternehmensführung) hats gerade vor sich und Hua Qingsong schreibt noch. An die Stelle der Ausgeschiedenen sind außer der bereits erwähnten Anke Guthmann die anderen „jungen Wilden“ Thomas Korte, Christopher Ring und Wolfgang Rolshofen gerückt, damit ist im Wesentlichen die Kontinuität bei den Maschinenelementen gewahrt - einer geht noch rein!

Die Forschung in der Maschinenakustik hat uns in diesen Jahr mit vielen Geburtswehen einen neuen Riesenprüfstand beschert, dessen Messanlage bereits ein Großgerät ist und mit dem Stefan Backhaus den Körperschalldurchgang durch Getriebelager messen will. Und mit einem Kollegen aus der Werkstoffkunde haben wir eine Idee zur Schaffung neuer Strukturen, die besonders den Körperschall dämmen sollen - Alexander Söver hat die Strukturen auf der Hannovermesse ausgestellt.

Auch in dieser Ausgabe möchten wir Ihnen mit dieser Broschüre zum Jahresende eine kleine Freude machen. Ich würde mich freuen, wenn Sie uns auch weiterhin gewogen bleiben und wünsche Ihnen ein schönes Fest.



# Einfluss der Seildämpfung auf die Trommelbelastungen bei Bewicklung mit Kunststoffseilen oder Kunststoff – Stahl Seilen

Forschungsvorhaben gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG

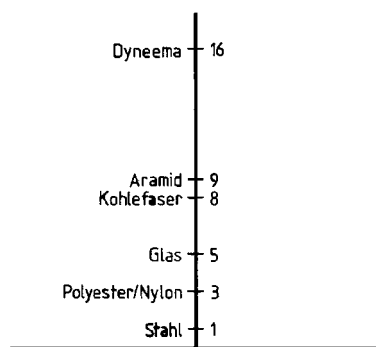
Dietz, P; Mupende, I.

*Das Kunststoffseil erweist sich wegen seiner vielfältigen Vorteile im Vergleich mit dem Stahlseil als Seil der Zukunft. Sein Verhalten auf der Trommel weicht von dem eines Stahlseils ab und führt zu einem anderen Lastentstehungsmechanismus auf dem System Mantel-Bordscheibe. Dieser Artikel stellt einen Auszug der Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Seildämpfung auf die Lastauswirkung auf den Mantel dar.*

*Synthetic ropes have a sure future due to her numerous advantages compared to steel ropes. The behaviour on the drum is different from that of steel ropes. This induces also another mechanism of charge development on the hoisting drum. The following article gives a short summary of the results of the investigations about the influence of damping on the behaviour of the hoisting drum with synthetic ropes.*

## 1 Einleitung

Heute werden in der Fördertechnik immer größere Seillängen unter hoher Zugkraft eingesetzt. Ohne ein optimiertes Auslegungskonzept führt dies zu großen Seilquerschnitten bei Stahlseilen, welche große Trommeldurchmesser zur Folge haben. Die Lasttragfähigkeit nimmt in diesem Fall sehr stark ab. Die Kunststoffseile besitzen im Vergleich zum Stahlseil bei gleicher Lasttragfähigkeit nur ein Achtel des Seilgewichts, damit ergeben sich sehr geringe Beanspruchungen durch das Seilgewicht.



**Bild 1:** Auf Stahlseillänge bezogene Seillänge unter der das Seil infolge Eigengewicht bricht

Durch diese Vorteile werden den Kunststoffseilen für Anwendungen der Fördertechnik im Allgemeinen eine sichere Zukunft vorhergesagt.

Im Gegensatz zu Amerika, wo Kunststoffseile schon bei laufenden Seilen im mittleren Lastbereich im Einsatz sind, steht das Kunststoffseil bei den deutschen Seilherstellern größtenteils in der Endphase der Entwicklung und kommt langsam auf den Markt. Dies bedeutet für den Konstrukteur von Windtrieben neue Möglichkeiten der Potenzialsteigerung, gleichzeitig müssen die Charakteristika der neuen Seile in eine Berechnung der Seile, Trommeln und weiteren Elemente einfließen.

Im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsvorhabens wird das Verhalten der mehrlagig bewickelten Windtrommel mit Kunststoffseilen im Institut für Maschinenwesen untersucht. Dieser Artikel stellt einen Auszug aus diesen Ergebnissen dar, nämlich den Einfluss der Dämpfung des Kunststoffseiles auf die Belastungsentwicklung auf die Trommel.

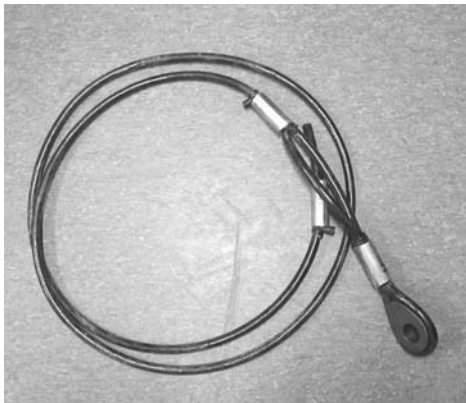
## 2 Das Kunststoffseil

Die Eigenschaften, insbesondere die Festigkeit und Federsteife, von Kunststoffseilen können bei stehenden Seilen als gesichert und der Berechnung zugänglich bezeichnet werden. Dies ist nicht der Fall bei laufenden Seilen. Den vielen Vorteilen, welche das Seil besitzt, stehen auch einige Nachteile und Unsicherheiten gegenüber, welche nicht zu vernachlässigen sind: Kunststoffseile besitzen große Dehnungen im Vergleich zu Stahlseilen, im Dauerbetrieb besteht die Gefahr einsetzender Sprödigkeit, in vielen Fällen stört die unbefriedigende UV Stabilität oder bei bestimmten Fasertypen schlechte Recyclingeigenschaften. Neben der ebenfalls neu zu entwickelnden Verseilungstechnik konzentrieren sich die Seilhersteller zur Zeit auf die Aufklärungen dieser Zusammenhänge und die Behebung der Nachteile.

**Bild 2** stellt das einfache Zugseil und **Bild 3** ein Kunststoffseil mit Schutzmantel für den laufenden Einsatz dar.



**Bild 2:** Einfache Kunststoff Zugseile

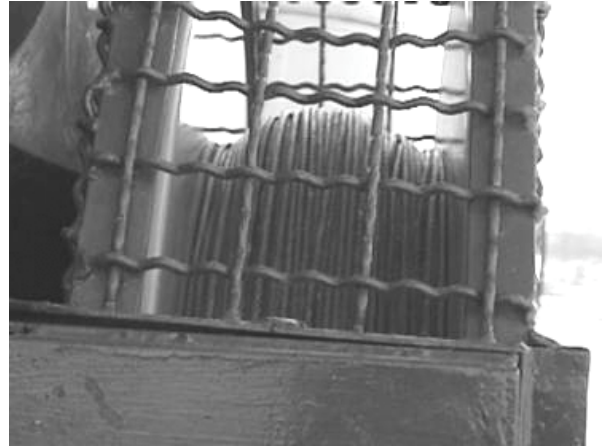


**Bild 3:** Kunststoffseil für laufenden Einsatz

Ein Bereich, wo das Seilgewicht eine große Bedeutung hat, ist der Segelflugbereich. Das Kunststoffseil verkürzt im Vergleich zum Stahlseil die Schleppphase. Der Startimpuls ist durch die hohe Massenträgheit des Stahlseils bei einer Aufwicklungsgeschwindigkeit von ca. 120 km/h stark gedämpft. Der Höhengewinn gegenüber dem Stahlseil wächst überproportional mit der Schleppstrecke und beträgt bis zu 30% /1/. Weiterhin kann das Stahlseil leicht in Schwingung geraten, dieses Problem tritt bei dem Kunststoffseil nicht auf.

Die Aufwicklung wird in den wenigen Einsatzfällen auf einem glatten Trommelmantel durchgeführt und benötigt ein Führungssystem, welches problemlos bei dem Kunststoffseil funktioniert.

**Bild 4** zeigt eine klassische mehrlagige Bewicklung auf einem glatten Mantel einer Segelflugwinde und **Bild 5** stellt die Aufwicklung mit sogenannten „Mooring Winches“ dar. Diese besondere Seiltrommel wird im Schiffsbau benutzt. Das Seil wird nur mit einer Lage unter Zugkraft aufgewickelt und dann auf der anderen Seite der Trommel lastfrei gespeichert.



**Bild 4:** Mehrlagig bewickelte Trommel mit einem 12fach geflochtenen 4,5 mm Kunststoffseil aus hochmoduligen Polyethylen-Fasern (Dyneema) /1/

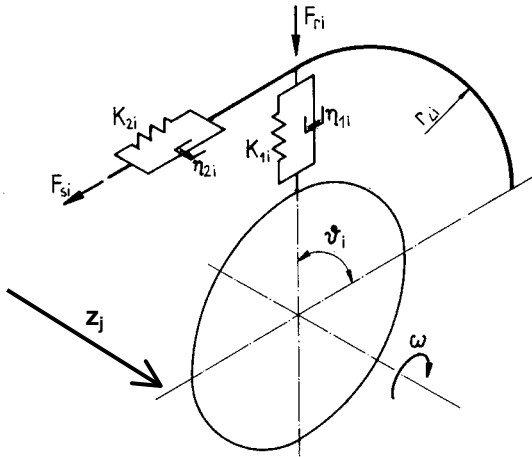


**Bild 5:** Mooring Winches im Schiffbau

Im Aufzugsbereich hat im Jahr 2000 die Firma Schindler das Kunstfaserseil aus Aramid eingesetzt. Dieses ist viermal leichter als ein Stahlseil und hat einen kleineren Biegeradius von ca. 8/1, welcher bei Stahl von 20/1 bis 27/1 beträgt. Weiterhin ist der Einsatz erheblich kleinerer Antriebe bei der geringeren Gewichtbelastung möglich /2/.

**2.1 Das Ersatzmodell für die Bewicklung mit Kunststoffseil**

Im Gegensatz zum Ersatzmodell für das Stahlseil, bei dem das Verhalten des Seiles einfach als Feder angenommen wird, muss bei Kunststoffseilen die Dämpfung mitberücksichtigt werden. **Bild 6** zeigt das Ersatzmodell bei der Aufwicklung der Windung j in der Lage i für ein Kunststoffseil.



**Bild 6:** Ersatzmodell des Systems Seiltrommel bei der Aufwicklung mit einem Kunststoffseil für eine Windung j in der Lagen i

Das Verhalten des Kunststoffseils kann in dem System Seiltrommel durch ein Dämpfungs- und Federglied dargestellt werden. Die agierenden Kräfte sind die Zugkraft  $F_{si}$  bzw. die Radialkraft  $F_{ri}$ .

Der Gleichgewichtszustand des Seiles kann in Radial- bzw. in Längsrichtung mit den Gleichungen **Gl. (01)** und **Gl. (02)** beschrieben werden.

$$\eta_{1i} \frac{dx_i}{dt} + K_{1i} x_i = F_{ri}(t) \quad \text{Gl. (01)}$$

$$\eta_{2i} \frac{dy_i}{dt} + K_{2i} y_i = F_{si}(t) \quad \text{Gl. (02)}$$

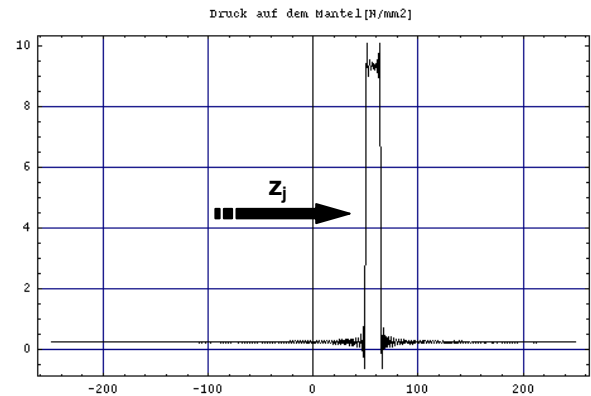
Die Radialkraft  $F_{ri}$  entsteht nicht sofort oder plötzlich, wie es bei den Gleichgewichtsbedingungen des Stahlseiles angenommen wird, sondern wächst mit der Zeit bis zu dem maximalen Wert. Dies geschieht während der Drehbewegung der Trommel über den Winkel  $\theta_i$ . Die Radialkraft kann daher mit der **Gl. (03)** beschrieben werden.

$$F_{ri}(t) = \frac{F_{si}(t)}{r_{Li}} \frac{\omega}{\vartheta_i} t \quad \text{Gl. (03)}$$

Da der Druck auf den Mantel in der Position  $z_j$  als lokale Last wirkt, kann er fiktiv auf den Mantel durch die Fourierreihe **Gl. (04)** verteilt werden. Das **Bild 7**

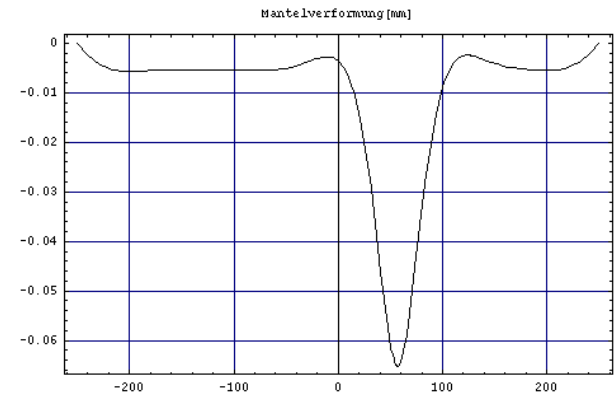
zeigt beispielsweise den Druck unter der Windung auf der Position  $z_j$  an.

$$p(z) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kz + b_k \sin kz) \quad \text{Gl. (04)}$$



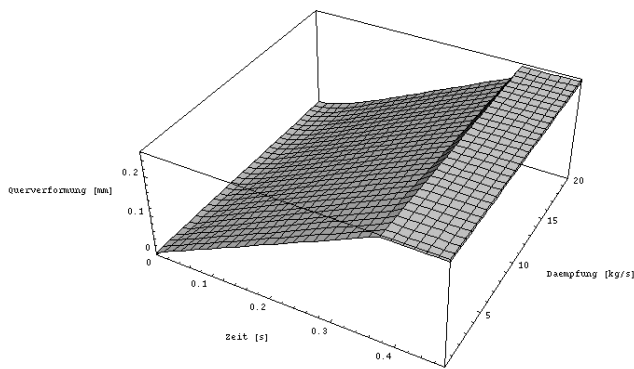
**Bild 7:** Entstehender Druck auf den Mantel in der ersten Lage bei einem Seildurchmesser  $d_s = 14$  mm und einer Zugkraft  $F_s = 20$  kN unter der Windung in der Position  $z_j$ , Mantellänge  $L = 500$  mm

Durch die Radialkraft nach Gleichung **Gl. (03)** verformt sich der Trommelmantel wie in **Bild 8** angezeigt.



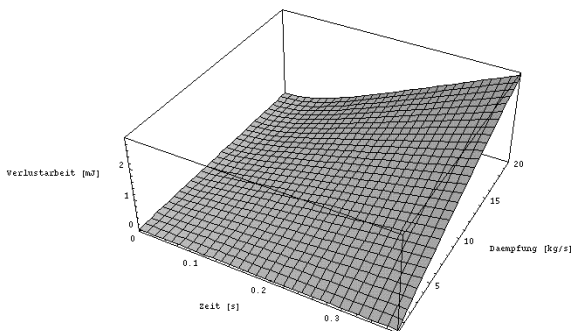
**Bild 8:** Mantelverformung unter dem Druck der Windung j

Das Seil verformt sich unter der Radialkraft  $F_{ri}(t)$  in Querrichtung. Da die Radialkraft erst nach der Zeit  $\vartheta_i/\omega$  ihren maximalen Wert erreicht, ergibt sich eine Zeitverzögerung in Abhängigkeit der Dämpfung bis zum Erreichen der maximalen Verformung. Das **Bild 9** stellt die Querverformung des Seiles in Abhängigkeit von der Dämpfung dar, wobei man bei hoher Dämpfung den Bogen in der Steigung der Querverformung sehr gut erkennt.



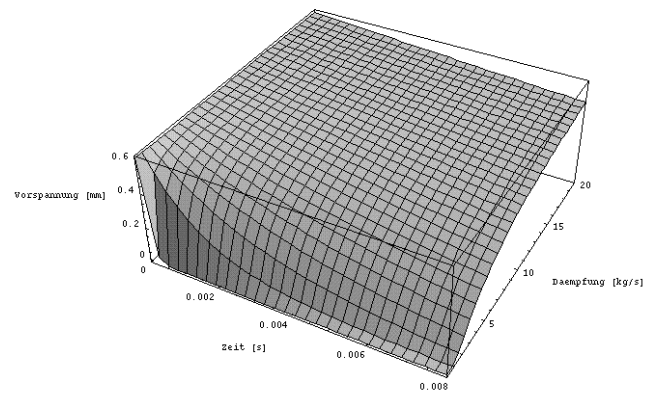
**Bild 9:** Seilverformung in der Querrichtung

Die Verzögerung der Verformung durch die Dämpfung induziert eine Verlustarbeit im Seil. Das **Bild 10** zeigt diese Verlustarbeit während der Aufwicklung einer Windung über den Winkel  $\vartheta_i$ . Man erkennt deutlich den Einfluss der Dämpfung in der Höhe dieser Verlustarbeit.



**Bild 10:** Verlustarbeit in dem Seilquerschnitt

Die Aufwicklung des Seiles in der Position  $z_j$  entlastet die Windung der Position  $z_{j-1}$ , der sogenannte Entlastungseffekt /3/. Beim Kunststoffseil hängt der Vorspannungsabfall im Seil von der Dämpfung ab und erfolgt genauso wie die Querverformung mit einer zeitlichen Verzögerung. Diese Zeitverzögerung kombiniert mit den physikalischen Eigenschaften des Seiles bzw. der Trommel (Oberflächegüte, Reibbeiwert) wird den Entlastungsvorgang des Kunststoffseiles anders als beim Stahlseil beeinflussen. **Bild 11** gibt das Abklingen der Seilvorspannung innerhalb einer Zeitspanne von 8 ms in Abhängigkeit von der Seildämpfung wieder für den Fall, dass das Seil nicht nachrutscht. Die Oberflächeneigenschaften des Seiles bzw. der Trommel, die Konstruktionsmerkmale zur Geometrie der Rillung, der Windungsabstand bzw. die Länge des Aufstiegs und des Parallelbereichs, werden über das Nachrutschverhalten des Seiles entscheiden.



**Bild 11:** Verlauf der Seilentlastung der Windung auf der Position  $z_{j-1}$  in Abhängigkeit von der Dämpfung

### 3 Zusammenfassung

Die hier ausgewerteten Diagramme zeigen, dass die Spannungen in Kunststoffseilen nicht in Phase mit den Verformungen bzw. Verzerrungen sind, sondern zeitlich verzögert. Dies bedeutet, dass ein Teil der geleisteten Arbeit bei der Seilverformung in Wärme umgesetzt wird. Im Gegensatz zu der Seiltrommel mit Stahlseilen muss man bei den Kunststoffseilen und der Gestaltung der Trommel die Seileigenschaften und die Trommeldrehgeschwindigkeit so aufeinander abstimmen, dass die Verlustarbeit keine große Erhöhung der Temperatur im System Seil-Trommel hervorruft. Dies sollte besonders beachtet werden, wenn es sich um mehrlagige Bewicklungen handelt.

### 4 Literatur

- /1/ N.N.; Kunststoffseile und Elektrostartwinde, Segelfliegen, 1/ 2004
- /2/ Fa. Schindler.: Geschäftsbericht 2000; Tätigkeitsbericht
- /3/ Dietz, P.: Ein Verfahren zur Berechnung ein- und mehrlagig bewickelter Seiltrommeln; Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt, 1971
- /4/ 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

## Geschwächte Welle-Nabe-Pressverbindung

Dietz, P.; Birkholz, H.; Grünendick, T.; Schäfer, G.

*Aufgrund ihrer einfachen Montage und Fertigung und der Möglichkeit der konstruktiven Ankopplung an benachbarte Aggregate haben Welle-Nabe-Pressverbindungen eine herausragende Stellung und eine nachgewiesene hohe Akzeptanz im Maschinen- und Anlagebau erlangt. Konstruktiv bedingte Störungen stellen bezüglich der Übertragungsfähigkeit und der Haltbarkeit Schwachstellen dar.*

*Due to simple assembly and production and the possibility of the coupling to neighbouring aggregates shrink fits attained an outstanding position as well as a proven high acceptance in the machine and plant construction. Constructionally conditioned interferences represent weak points concerning the transmission and the durability.*

### 1 Einleitung

In der Antriebstechnik stellen Pressverbindungen bei der Übertragung hoher und wechselnder sowie umlaufender Kraftgrößen die am häufigsten eingesetzten Welle-Nabe-Verbindungen dar. Für die Auslegung und Berechnung von Pressverbindungen geht man von Bauteilen ohne konstruktive Schwächungen und dem Vorliegen eines rotations-symmetrischen Beanspruchungszustandes aus. Dieser Zustand wird jedoch häufig durch konstruktiv bedingte Diskontinuitäten wie Radialbohrungen (z.B. bei Pressölverbänden) oder exzentrische Axialbohrungen in Welle und Nabe (z.B. für Schmier- und Druckmittelzufuhr bei Kupplungen, Flanschbohrungen, Schraubenbefestigungen bei Spannringverbindungen usw.) gestört. Diese Störungen bedingen einerseits eine örtliche Spannungszunahme und damit eine Begrenzung der übertragbaren Lasten infolge Kerbwirkung, andererseits verursachen diese Störungen eine Änderung des elastischen Verhaltens beim Schrumpfverband - der effektive Passfugendruck sinkt gegenüber einer rotations-symmetrischen Verbindung mit gleichem Übermaß und die Umstände, die zur Reibkorrosionsschädigung führen, werden ungünstig beeinflusst.

Eine eingehende experimentelle Überprüfung des Verschleißverhaltens dieser kraftschlüssigen Welle-

Nabe-Verbindung mit diskontinuierlicher Fugendruckverteilung in Umfangs- und Axialrichtung unter Torsions- und/oder Biegemomentbelastung ist jedoch bisher an keiner Stelle durchgeführt worden.

Am Institut für Maschinenwesen wurden im Rahmen des von der FVA geförderten Forschungsvorhabens experimentelle Untersuchungen zu den theoretischen Berechnungsgrundlagen nach Tan Li [1], [2], [3] durchgeführt. Dabei wurden insbesondere die Einflüsse der Parameter Anzahl, Anordnung und Gestalt der geometrischen Schwächungen sowie des Übermaßes zwischen den Fügepartnern und verschiedene Oberflächenbehandlungsverfahren untersucht.

### 2 Quasistatische Torsionsbelastung

Nach DIN 7190:2001-02 wird für einen Schrumpfverband mit entfetteten Pressflächen nach Erwärmung im Elektroofen bis zu 300°C ein Haftbeiwert von  $\mu = 0,2$  vorgeschlagen. Für einen Schrumpfverband normal nach Erwärmung des Außenteils bis zu 300°C im Elektroofen ist ein Haftbeiwert von  $\mu = 0,14$  angegeben. Die vom Institut für Maschinenwesen an entfetteten Flachproben experimentell ermittelten Haftbeiwerte liegen im Bereich von  $\mu = 0,16$  bis  $\mu = 0,23$ . Sie bestätigen die in der DIN-Norm angegebene Bandbreite der Haftreibbeiwerte. Alle Proben wurden mit dem Reinigungsmittel Hakupur 232 Neutralreiniger unmittelbar vor dem Fügen gereinigt.

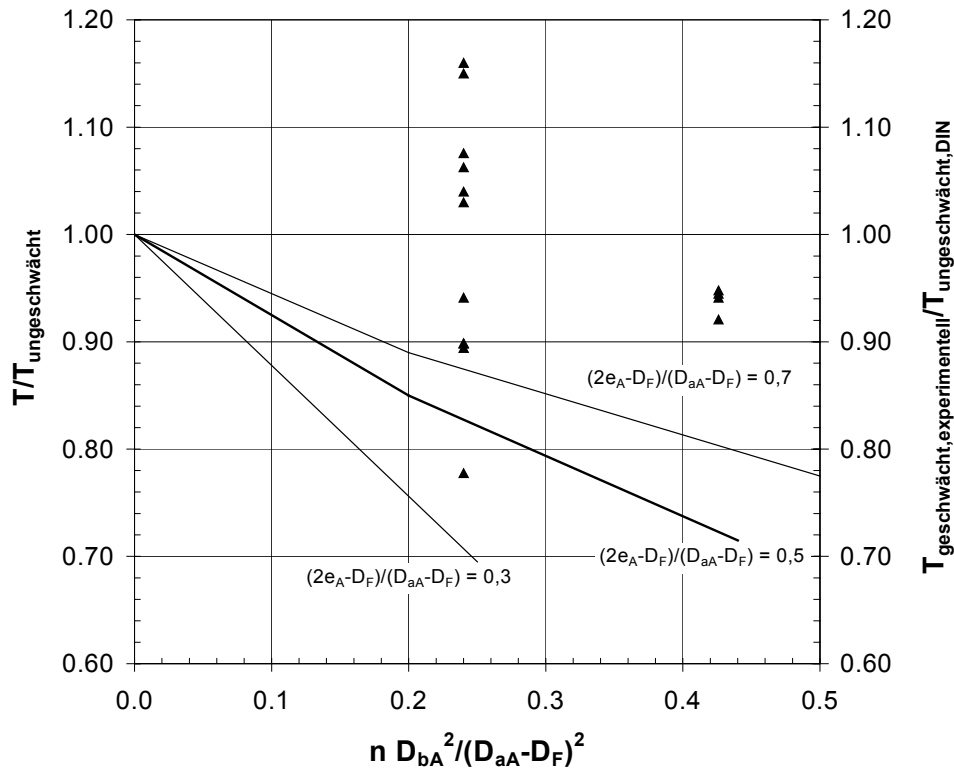
Die experimentell ermittelten Drehmomente werden mit den theoretischen Werten nach DIN 7190 verglichen, um eine definierte Bezugsgröße zu verwenden. Dadurch ergeben sich in allen Darstellungen Werte, die über 1 liegen. Die Berechnungen nach DIN 7190 wurden mit einem Haftreibbeiwert von  $\mu = 0,17$  durchgeführt.

#### 2.1 Welle mit Axialbohrungen

Zur Ermittlung der Beanspruchungen und Übertragungseigenschaften im elastischen Bereich sind am IMW umfangreiche theoretische Untersuchungen durchgeführt worden, deren Ergebnisse in Kennzahlendiagrammen dargestellt sind.







**Bild 3:** Übertragungsfähigkeit für Nabe mit 6 Axialbohrungen;  $n D_{bA}^2 / (D_{aA} - D_F)^2 = 0,24$ : Bohrungsdurchmesser  $D_{bA} = 6 \text{ mm}$ ;  $n D_{bA}^2 / (D_{aA} - D_F)^2 = 0,426$ : Bohrungsdurchmesser  $D_{bA} = 8 \text{ mm}$ .

stirnfläche) mit hinreichender Genauigkeit den Gleichungen des ebenen Ansatzes genügen, während die Spannungen des Bohrerkegels mit dem Bohrungsinnenrand nahezu unabhängig von der Bohrungstiefe und immer kleiner als an der Stirnfläche sind. Die Kerbwirkung aufgrund der Geometrie des Bohrerkegels bewirkt an der Spitze des Bohrerkegels ein sehr hohes Spannungsmaximum, das sehr schnell abklingt und keine Beziehung zu den übrigen geometrischen Beziehungen hat.

Bei der Beurteilung der Übertragungsfähigkeit ist im räumlichen Fall auch die Veränderung der Fugendruckverteilung über der Tiefe der Nabe zu berechnen. In einem theoretischen Ansatz kann man dabei zwischen einem ungestörten Bereich, der von den Bohrungen nicht erfasst wird, und dem Bohrungsbereich unterscheiden. Die einfache Addition dieser beiden Bereiche führt zur Übertragungsfähigkeit der axial ungleichmäßig geschwächten Pressverbindung und wird mit der Übertragungsfähigkeitskennzahl  $\eta$  ausgedrückt. **Bild 2** stellt die im quasistationären Torsionsversuch experimentell ermittelten Werte für eine Welle mit 3 Axialbohrungen der berechneten Übertragungsfähigkeit grafisch gegenüber. Die experimentellen Werte liegen konzentriert um den Schwächungswert gruppiert und bestätigen damit die Verminderung der Übertragungsfähigkeit durch axiale Schwächungen in der Welle. Weiterhin

sind eine Anzahl an Proben aufgefallen, welche den Wert  $\eta = T/T_{\text{ungestört}} = 0,91$  um ca. 10% unterschreitet. Die visuelle Überprüfung der Reinigung führt in diesem Fall zu einer entsprechenden Schwankungsbreite des Reinigungserfolges sowie des Haftreibbeiwertes mit der Folge, dass einige Pressverbindungen einen geringeren effektiven Haftreibbeiwert besitzen als theoretisch angenommen.

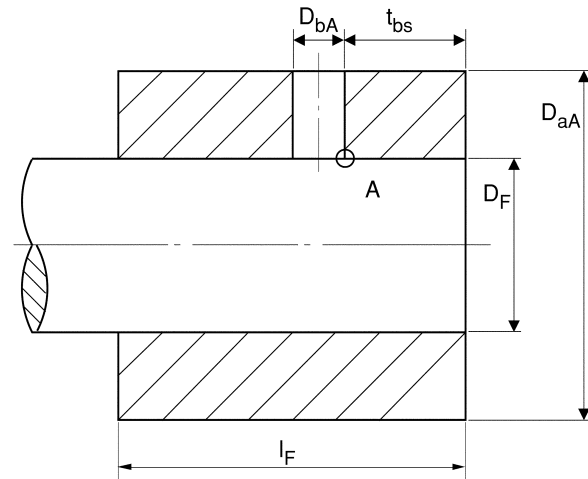
## 2.2 Nabe mit Axialbohrungen

Die an den Wellen mit Axialbohrungen gezeigten Zusammenhänge der Beanspruchungs- und Pressfugendruckverteilung lassen sich von den physikalischen Zusammenhängen her auch auf Naben mit Axialbohrungen für ebene und räumliche Fragestellungen übertragen. Die maximalen Bohrungsrandspannungen der durch Axialbohrungen geschwächten Nabe liegen immer an dem zur Fügefläche nächstliegenden Punkt des Bohrungsrandes. Bei Vergrößerung des Bohrungsdurchmessers  $D_{bA}$  nimmt die Formzahl  $\alpha_k$  zu und die Übertragungsfähigkeitskennzahl  $\eta$  ab. **Bild 3** zeigt die Abhängigkeit der Übertragungsfähigkeitskennzahl  $\eta = T/T_{\text{unge}}$  von der Nabendicke, der Anzahl der Bohrungen  $n$  und dem Bohrungsdurchmesser  $D_{bA}$ . Dabei wirkt sich eine größere Nabendicke ( $D_{aA} - D_F$ ) im Bezug auf das Übertragungsverhalten günstig



aus. Im Gegensatz dazu vermindern eine höhere Anzahl von Bohrungen  $n$  und ein größerer Bohrungsdurchmesser  $D_{bA}$  die Übertragungsfähigkeitskennzahl. Dies führt zu einer Verminderung der Übertragungsfähigkeit im Vergleich zu einer ungeschwächten Pressverbindung.

Die in **Bild 3** dargestellten experimentellen Ergebnisse ( $\blacktriangle$ ) belegen tendenziell die Gültigkeit der theoretischen Berechnungsgrundlage nach Tan Li, /1/. Bis auf einen Wert ( $\eta = T/T_{unge} = 0,78$  und  $n D_{bA}^2 / (D_{aA} - D_F)^2 = 0,24$ ) liegen die ermittelten Werte z.T. weit über den von Tan Li angegebenen Grenzwerten von  $\eta = T/T_{unge} = 0,825$  für  $D_{bA} = 6$  mm und  $\eta = T/T_{unge} = 0,725$  für  $D_{bA} = 8$  mm. Die zum Vergleich geprüften ungeschwächten Pressverbindungen liegen in ihrer Übertragungsfähigkeit im Mittel um 12% höher als die geschwächten Pressverbindungen ( $D_{bA} = 6$  mm), die im Mittel eine experimentelle Übertragungsfähigkeitskennzahl von  $\eta_{exp} = 0,98$  erreichen. Für geschwächte Pressverbindungen mit  $D_{bA} = 8$  mm liegt die mittlere experimentelle Übertragungsfähigkeitskennzahl bei  $\eta_{exp} = 0,93$  und ist um 18% geringer als die vergleichende ungeschwächte Pressverbindung. Damit wird tendenziell der Einfluss eines größer werdenden Bohrungsdurchmessers auf die Verminderung der Übertragungsfähigkeit - wie es Tan Li mit seinen Berechnungen ermittelt - bestätigt.

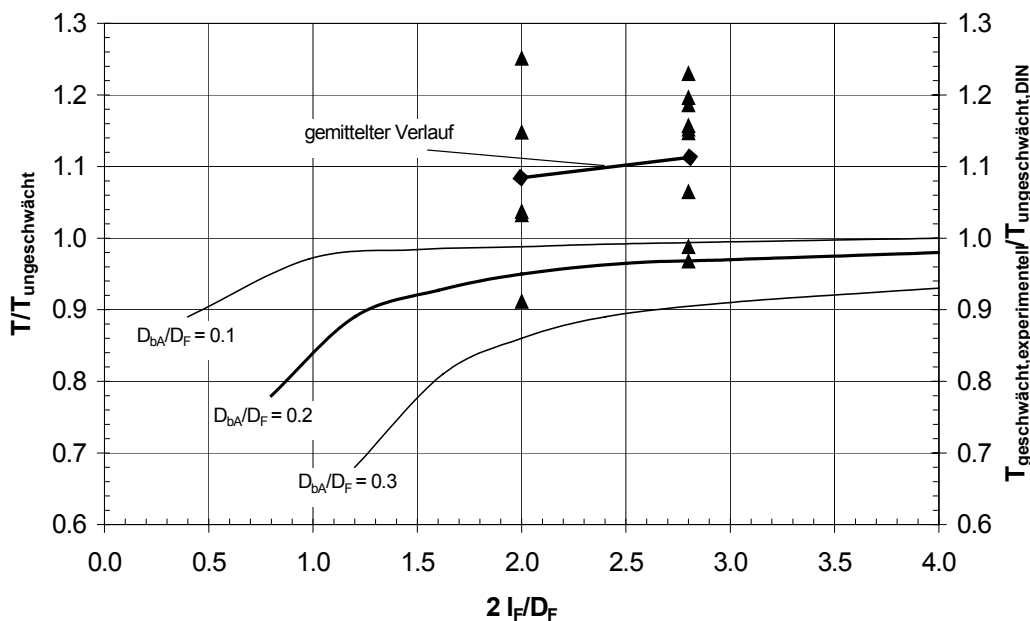


**Bild 4:** Geometrische Bezeichnungen an Naben mit Radialbohrungen

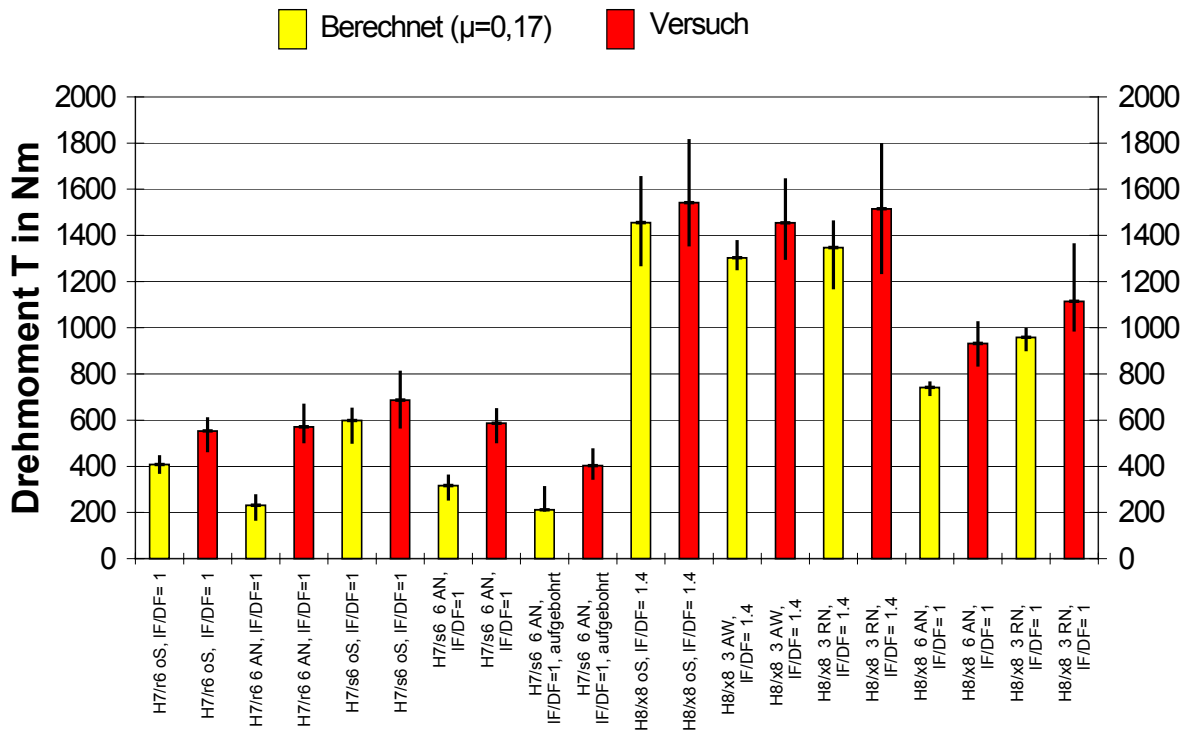
### 2.3 Nabe mit Radialbohrungen

Die maximalen Bohrungsrandspannungen liegen immer bei dem zur Stirnfläche am nächsten liegenden Punkt des Bohrungsrandes an der Fügefläche (**Bild 4**, Punkt A). Ebenso wie bei Naben und Wellen mit Axialbohrungen spielt die minimale Wandstärke  $t_{bs}$  die entscheidende Rolle. Bohrungen nahe der Stirnfläche verursachen starke Spannungserhöhungen am Bohrungsrand.

Bei der Übertragungsfähigkeit ist zu beachten, dass die auf der Fügefläche auftreffenden Bohrungen „Leerstellen“ darstellen, die bei der Berechnung der Übertragungsfähigkeitskennzahl  $\eta$  berücksichtigt werden müssen.



**Bild 5:** Übertragungsfähigkeit für Nabe mit 3 Radialbohrungen: Werte für  $2l_F/D_F = 2$  (Fügelänge  $l_F = 30$  mm,  $D_F = 30$  mm) und  $2l_F/D_F = 2,8$  (Fügelänge  $l_F = 42$  mm,  $D_F = 30$  mm)



**Bild 6:** Vergleich berechneter und gemessener Werte für verschiedene Passungen. OS = ohne Schwächung, AN = axiale Bohrungen in der Nabe, AW = axiale Bohrungen in der Welle, RN = radiale Bohrungen in der Nabe, aufgebohrt = vergrößerte Axialbohrung.  $D_F = 30 \text{ mm}$ ,  $D_{aA} = 60 \text{ mm}$

**Bild 5** zeigt die Übertragungsfähigkeit für Naben mit drei Radialbohrungen. Die Untersuchungen führen hier zu der Erkenntnis, dass der durchschnittliche Fugendruck  $p$  und das übertragbare Drehmoment  $T$  von der Fügelänge  $l_F$  und dem Fügedurchmesser  $D_F$  abhängig sind. Dies spiegelt sich auch in den stark streuenden experimentellen Untersuchungsergebnissen tendenziell wieder, wenn man die mittleren experimentell ermittelten Übertragungsfähigkeitskennzahlen  $\eta$  miteinander vergleicht. Der Abfall der theoretischen Übertragungsfähigkeitskennzahl von  $\eta = T/T_{unge} = 0,97$  für  $2l_F/D_F = 2,8$  auf  $\eta = T/T_{unge} = 0,95$  für  $2l_F/D_F = 2$  beträgt 2,1%. Einen ähnlichen Abfall der Übertragungsfähigkeit durch Verminderung der Nabenbreite ergeben die gemittelten experimentellen Ergebnisse, bei denen die Übertragungsfähigkeitskennzahl  $\eta_{exp} = T/T_{unge} = 1,11$  für  $2l_F/D_F = 2,8$  und  $\eta = T/T_{unge} = 1,08$  für  $2l_F/D_F = 2$  betragen. Dies entspricht einer Verminderung der Übertragungsfähigkeit von ca. 2,7%.

Bei den geschwächten Verbindungen mit 6 Axialbohrungen in der Nabe ist sowohl bei den theoretischen als auch bei den experimentellen Ergebnissen der größte Einfluss der Schwächung auf die maximale Übertragungsfähigkeit zu beobachten.

Geringer, aber noch deutlich ausgeprägt, ist der Einfluss von 3 Axialbohrungen in der Welle. Bei 3 Radialbohrungen in der Nabe konnten lediglich geringe Verminderung festgestellt werden, was den theoretischen Ergebnissen im betrachteten Bereich der bezogenen Fügelänge entspricht.

Der Vergleich zwischen geschwächter und ungeschwächter PV zeigt, dass das Lösemoment bei einer ungeschwächten PV einen grundsätzlich höheren Wert annimmt als bei einer vergleichbaren geschwächten PV gleicher Toleranzklasse. Dieses Verhalten stimmt mit den in den in 191/I+II theoretisch ermittelten Verminderungsfaktoren annähernd überein. Einen zusammenfassenden Überblick gibt **Bild 6**. In diesem Diagramm sind die mit Hilfe der von der 3D-Koordinatenmessanlage gemessenen Geometrien nach DIN 7190 berechnet und die experimentell ermittelten übertragbaren Drehmomente gegenüber gestellt. Die nach DIN berechneten Werte sind unüblicherweise durch ein Streuband gekennzeichnet, welches sich aus den Geometriemessungen und den damit verbundenen unterschiedlichen Übermaßen der Fügepartner ergibt. Alle gemessenen Werte liegen hier über den berechneten Werten.

### 3 Zusammenfassung

Die Übertragungsfähigkeitskennzahlen nach Tan Li /1/ können bei geschwächten Pressverbindungen mit Naben, die ein Längen-Durchmesser Verhältnis von  $l_F/D_F \geq 0,5$  aufweisen, zur Berechnung der Übertragungsfähigkeit angewendet werden. Dies konnte anhand von umfangreichen experimentellen Versuchen bestätigt werden. Bei Anwendungen von Berechnungen auf dieser Basis sind die Sicherheiten gegenüber ungeschwächten Verbindungen mit vergleichbaren Durchmessern etwas höher, weil die geringere Steifigkeit der geschwächten Verbindungen eine günstigere Lastverteilung über der Länge ergibt.

### 4 Literatur

- /1/ Tan, L.: Beanspruchungen und Übertragungsfähigkeit der geschwächten Welle-Nabe-Pressverbindungen im elastischen und teilplastischen Bereich. Dissertation Technische Universität Clausthal, 1993
- /2/ Dietz, P.; Tan, L.: Beanspruchungen und Übertragungsfähigkeit geschwächter Welle-Nabe-Preßverbindungen. Teil I. Antriebstechnik Band 35 (1996) Heft 4, Seite 83-87
- /3/ Dietz, P.; Tan, L.: Beanspruchung und Übertragungsfähigkeit geschwächter Welle-Nabe-Preßverbindungen. Teil II. Antriebstechnik Band 35 (1996) Heft 5, Seite 45-48

## Umformen verbindet Fügeverfahren für Welle-Nabe-Verbindungen

Dietz, P.; Grünendick, T.

*Resourceschonende Mobilität verlangt effiziente Verbindungselemente für die Antriebstechnik. Die Herstellung und Nutzung kraftschlüssiger Welle-Nabe-Verbindungen mittels „Innenhochdruckfügen“ hat, bedingt durch die geringere Abmaßempfindlichkeit gegenüber den klassischen Fügeverfahren (z.B. thermisches Querfügen oder Längspressen) entscheidende Vorteile. Die anforderungsspezifische Wahl der Werkstoffe bringt in Kombination mit dem Fügeverfahren deren spezielle Eigenschaften optimal zur Geltung.*

*Mobility that is sparing on resources demands for efficient connecting elements for propulsion technology. Manufacture and use of positive fit shaft-to-hub connections using internal high pressure fits has, due to their low sensitivity to tolerances compared to classical joining techniques, deciding advantages. The requirement based choice of materials in combination with the joining procedure emphasize their special characteristics in an optimal way.*

### 1 Einleitung

Pressverbindungen gehören zu den grundlegenden Welle-Nabe-Verbindungselementen der Antriebstechnik und haben eine hohe Akzeptanz im Maschinen- und Anlagenbau. Neben den klassischen Pressverbindungen bildet die innenhochdruckge-

fügte Welle-Nabe-Verbindung eine interessante neue Variante dieses Maschinenelements mit entscheidenden Vorteilen. Um etwa eine konventionelle Nockenwelle herzustellen, sind aufwendige Bearbeitungsschritte nötig. Alternative Fertigungsverfahren und Bauweisen wie z.B. das Innenhochdruckfügen vorgefertigter Nockenringe können helfen Kosten einzusparen und Bauteileigenschaften zu verbessern.

Seit einigen Jahren wird diese kraftschlüssige Verbindungsart nach dem patentierten Emishaft-Verfahren zur Herstellung gebauter Nockenwellen für Verbrennungsmotoren (**Bild 1**) im DaimlerChrysler Werk Hamburg angewendet. Dabei konnte eine deutliche Gewichtsreduzierung durch die verfahrensbedingte Verwendung von Hohlwellen gegenüber konventionellen Nockenwellen aus Vollwellen realisiert werden. Daneben benötigt dieses nach neuen fertigungstechnischen Gesichtspunkten hergestellte Maschinenelement im Gegensatz zu den herkömmlichen Pressverbindungen, bei denen ein Übermaß der Fügepartner die spielfreie Übertragung hoher statischer und dynamischer Lasten gewährleistet, keine speziell abgestimmten Toleranzen. Die Geometrieanforderungen der Kontaktflächen durch ein zulässiges Fügepiel sind deutlich geringer. Dies führt nicht nur zu einer erheblichen Kosteneinsparung durch Verminderung des Fertigungsaufwandes, die verwendete Füge-

technik ermöglicht auch eine Verkürzung der Fertigungszeiten. Ein weiterer Pluspunkt ist der Einsatz von Standard-Stahlrohren bei den Wellen und vorbereiteten Rohlingen bei den Naben, was wiederum kostengünstigere Vor- und Endbearbeitungsverfahren ermöglicht und die Materiallogistik wesentlich erleichtert.



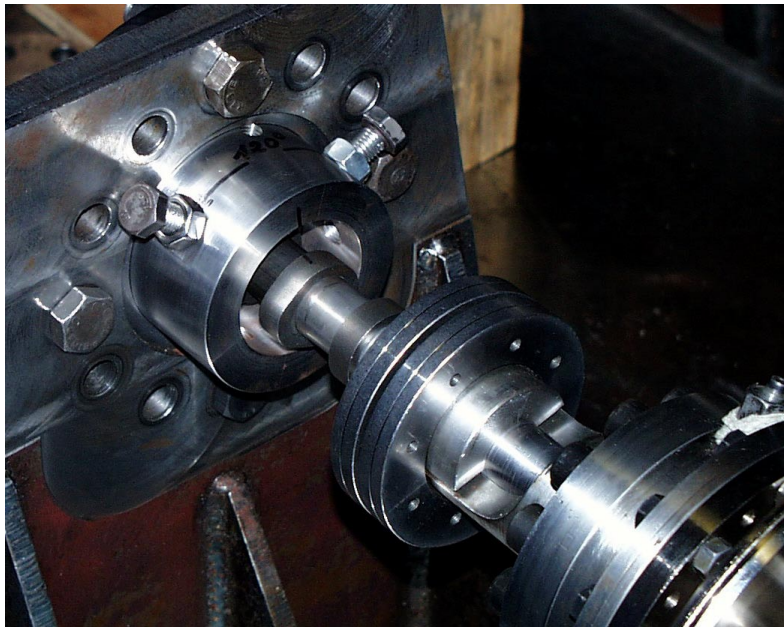
**Bild 1:** Nockenwelle für 3-Zylinder Dieselmotor (DaimlerChrysler Werk Hamburg)

### 2 Prinzip des Innenhochdruckfügens

Das ursprünglich aus dem Apparatebau (Autofrettage) stammende Prinzip des Innenhochdruckfügens (IHF) ist der Technologie des Innenhochdruck-







**Bild 3:** IHF-Pressverbindung im Dauerprüfstand unter wechselnder Torsion

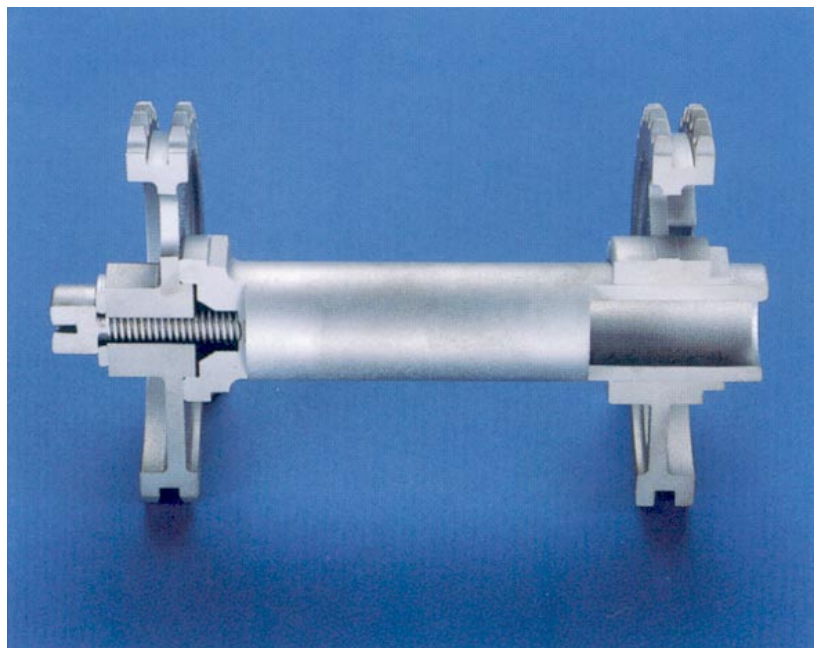
Pressfugendrucks versprechen eine hohe Prozess- und Qualitätssicherheit und eine gezielte Optimierung der Verbindung mittels Simulation. Mit diesem Wissen können für unterschiedliche Bauteile und Belastungen Kombinationen von Werkstoffgruppen durchgespielt und die jeweils besten Fertigungsbedingungen für den Anwendungsfall gesucht werden. Beispielsweise zeigt sich, dass durch die Kombination der Werkstoffeigenschaften, der geometrischen Gestaltung der Fügepartner und einer Teilplastizierung der Nabe beim Fügen der Fügedruck bei gleichbleibendem Passfugendruck reduziert werden kann, was die Standzeiten der Dichtungen erhöht.

Im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsvorhabens führt das Institut für Maschinenwesen systematische Untersuchungen zum Betriebsverhalten dieser Welle-Nabe-Verbindung durch, um Grundlagen für die Weiterentwicklung dieses Verbindungselementes zu höheren Leistungsdurchsätzen zu schaffen. Die Ermittlung der Tragfähigkeit unter den Betriebsbeanspruchungen mit den Grenzbedingungen des Durchrutschens, der Reibrostbildung und

der dynamischen Festigkeit insbesondere im Bereich der Verbindungsgrenzen stellt – wie bei den konventionellen Pressverbindungen – besondere Ansprüche an die theoretischen und experimentellen Untersuchungen. **Bild 3** zeigt eine Verbindung im Dauerprüfstand unter Wechseltorsion, **Bild 4** verdeutlicht die kombinierte Beanspruchung durch Fügeprozess und Betriebslasten (Drehmoment, Querkraft, Biegemoment) am Beispiel eines hochdruckgefügten Kettenrades. Für die Berechnungsansätze kommen angepasste Strategien und Modelle aus der Berechnung zylindrischer Pressverbindungen zum Einsatz.

#### 4 Leistungssteigerungen durch Gestaltung und Ausbildung der Fügeflächen

Bisherige theoretische und experimentelle Ergebnisse zeigen, dass eine Beeinflussung des Passfugendruckverlaufes über der Länge der Verbindung (und hier besonders in der Nähe der Verbindungsenden) durch die Lage der Dichtungen beim Fügen möglich ist und damit Optimierungsmöglichkeiten zur Verbesserung des Betriebsverhaltens unter kombinierten Betriebsbelastungen eröffnet, die den klassischen Pressverbindungen verschlossen blei-



**Bild 4:** Hochdruckgefügtes Kettenrad, DaimlerChrysler Werk Hamburg

ben. Mittels gesteuerten Kugelstrahlens der Kontaktflächen kann darüber hinaus eine beeindruckende Leistungssteigerung erzielt werden. Diese Steigerung ist die Folge eines gekoppelten Prinzips von Mikroform- und Kraftschluss, wobei der Einfluss der muldenförmigen Topografie mit höheren Passfugendrücken stärker zur Geltung kommt.

Ein weiterer Aspekt führt zu neuen Lösungen der Leistungssteigerung: IHF-Pressverbindungen mit den entsprechenden Prozessschritten des Positionierens und dann elasto-plastischen Aufweitens unter Raumtemperatur können in ihrem Übertragungsverhalten durch physikalisch-chemische Behandlung der Fügeflächen beeinflusst werden, beispielsweise bei galvanisch verzinkten Kontaktflächen. Der Vorteil liegt in der Oberflächenaktivierung der Pressflächen, die bei den derzeitigen Laborversuchen einen enormen Zuwachs der statischen Drehmomentübertragung von über 100% zeigen. Lokale Kaltpresslötungen, Kaltpressschweißungen und adhäsive Bindekräfte unterstützen den üblichen kraftschlüssigen Übertragungsmechanismus.

## **5 Zusammenfassung**

Die Einsatzmöglichkeit innenhochdruckgefügter Welle-Nabe-Verbindungen hat sich in einigen Industriebereichen bereits erfolgreich durchgesetzt und beginnt insbesondere im Automobilbau stärker an Einfluss zu gewinnen. Als „Nebeneffekt“, ist die Verwendung von Präzisions-Stahlrohren als Wellenhalbzeug zu nennen, was Vorteile nach den Gesichtspunkten des Leichtbaus und des Platzbedarfs im Getriebe bringt. Heute schon werden in vielen Motortypen Nockenwellen mit dieser Technologien verwendet. Aber auch Kettenräder, Ausgleichswellen und weitere Verbindungen mit zunehmend höheren Anforderungen an die Übertragungsfähigkeit werden in besonders wirtschaftlicher Serienfertigung gebaut. Dieses neuartige kraftschlüssige Maschinenelement bietet in seiner differentiellen Bauweise durch die Reduzierung des Fertigungs- und Montageaufwandes genauso wie durch die deutliche Verringerung von Gewichts- und Massenkräften neue Alternativen gegenüber integralen Lösungen der herkömmlichen Produktionsverfahren.

## Umformen verbindet Unrundprofilverbindungen durch Innenhochdruckfügen

Grünendick, T.; Guthmann, A.

*Die Antriebstechnik benötigt wirtschaftlich herstellbare Verbindungselemente mit einer hohen Übertragungsfähigkeit. Nach der Idee des hier vorgestellten und geplanten Forschungsvorhabens vereinen innenhochdruckgefügte Welle-Nabe-Verbindungen die Vorteile von Unrundprofilverbindungen mit dem Vorteil des innovativen Herstellverfahrens zu einem wirtschaftlichen Verbindungselement.*

*Drive technology needs connecting elements which are economic to manufacture and offer large transmission capabilities. The idea of the planned research project presented here is, that internal high pressure joined shaft to hub connections combine the advantages of connections with a non-circular cross section and the advantages of an innovative manufacturing method to economically produce connecting elements.*

### 1 Ausgangsbasis

Der Vorteil von Unrundprofilverbindungen liegt in der guten Übertragungsfähigkeit hoher, wechselnder Belastungen. Da aufgrund der Form keine Zusatzelemente zur Drehmomentübertragung notwendig sind, liegt bei dieser Verbindungsart nur eine geringe Kerbwirkung vor. Die Profilform stellt sicher, dass die sich bei Belastung ausbildenden Spannungsspitzen im Vergleich zu anderen formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen, wie beispielsweise bei Passfeder- oder Längsstift-Verbindungen, gering ausfallen, wodurch die Tragfähigkeit erhöht wird.

Die geringe Verbreitung von Unrundprofilverbindungen hat ihre Ursache vor allem in den fertigungstechnischen Nachteilen. Die Herstellung ist aufgrund der geometrischen Anforderungen an das Profil sehr aufwendig und kostenintensiv. Welle und Nabe müssen hochpräzise gearbeitet sein, damit eine gute Übertragungsfähigkeit sichergestellt ist, was zu sehr engen Fertigungstoleranzen führt. Des Weiteren ist als Ergebnis von Tragfähigkeitsuntersuchungen festzuhalten, dass auch bei dieser Verbindungsart Reibkorrosion entsteht, welche die Verbindung zerstört. Untersuchungen an genormten Polygonprofilen zeigen, dass die Wahl einer

engeren Passung diesem Problem entgegenwirkt [1], [2].

Bei innenhochdruckgefühten zylindrischen Pressverbindungen haben sich die Vorteile, die sich aus dem Fügeverfahren ergeben, bewährt. Zu nennen ist hierbei die geringe Abmaßempfindlichkeit, woraus eine spielbehaftete Montage der Verbindung resultiert, sowie die Wirtschaftlichkeit durch die Verwendung von Standard-Rundprofilen als Welle. Durch das hohe plastische Verformungsvermögen der Hohlwelle wird das zulässige Fügspiel der zylindrischen Fügepartner überwunden und eine gute Anpassung an die Nabeninnengeometrie ermöglicht. Diese Anpassungsfähigkeit kann auch bei der Herstellung von Unrundprofilverbindungen, bei denen u.U. große Deformationen notwendig sind, genutzt werden.

Mit dem Innenhochdruckfügen als alternativem Herstellungsverfahren für Unrundprofilverbindungen ist es möglich, den Herstellungsprozess zu vereinfachen und Verbindungen mit definierten Freiheitsgraden zu fertigen. Allein durch die Wahl der Steifigkeit und Festigkeit der Verbindungspartner sowie die definierte Wahl des Fügedrucks können unterschiedliche Verbindungen mit verschiedenen Freiheitsgraden erzeugt werden, die unterschiedliche Aufgaben übernehmen können, z.B. Formschluss zur Übertragung von Drehmomenten, Kraftschluss zur Übertragung von axialen Kräften oder zur Energieabsorption bei Anwendung als Sicherungselement.

Die Vorteile dieses innovativen Fügeverfahrens bilden eine gute Basis für die Anwendung bei der Herstellung von Unrundprofilverbindungen.

### 2 Zielsetzung

Im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsvorhabens soll mit Hilfe von numerischen und experimentellen Untersuchungen überprüft werden, ob das Innenhochdruckfügen zur Herstellung einer Welle-Nabe-Verbindung mit Unrundprofil geeignet ist.

Es sollen form- und kraftschlüssige Verbindungen untersucht werden, die entsprechend den Frei-



heitsgraden unterschiedliche Aufgaben übernehmen können.

Ein wichtiger Bestandteil des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung des Fügeverhaltens der Hohlwelle und der Nabe. Hierunter fällt die Beurteilung der Passfugendruckverteilung am Umfang sowie das Verformungsverhalten der Hohlwelle bei unterschiedlichen Profilgeometrien der Nabenbohrung. Mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode (FEM) sollen verschiedene, methodisch ausgewählte Geometrien auf ihre Eignung zum Innenhochdruckfügen hin untersucht werden. Verschiedene Einflussfaktoren auf das Fügeverhalten müssen beachtet werden, wie z. B. der Einfluss der Wellenwandstärke, der Einfluss unterschiedlicher Werkstoffkombinationen und der Einfluss der Dichtungen. Im Anschluss an diese Untersuchungen werden eine oder zwei geeignete Geometrien ausgewählt und als form- bzw. reibschlüssige Prüflinge hergestellt. Diese dienen zum einen der Verifikation der FE-Ergebnisse, zum anderen werden sie für experimentelle Untersuchungen benötigt.

Ein weiterer Bestandteil des Projektes sollen Untersuchungen zum Übertragungsverhalten der innenhochdruckgefühten Unrundprofilverbindung sein. Mit Hilfe von numerischen und experimentellen Untersuchungen soll geklärt werden, wie sich innenhochdruckgefühte Unrundprofilverbindungen unter Torsionsbelastung verhalten. Es werden Beanspruchbarkeitsgrenzen ermittelt und Aussagen über das Reibrostverhalten sowie dessen Einfluss getroffen.

### 3 Vorgesehener Lösungsweg

Anhand von Finite-Elemente-Berechnungen wird das Verformungsverhalten der als Ausgangsmaterial in zylindrischer Form vorliegenden Hohlwelle beim hydraulischen Aufweiten untersucht. Es ist zu ermitteln, inwieweit sich die Welle der Form der vorliegenden Nabenbohrung anpassen kann und wie sich die Nabe beim Aufweitevorgang verhält, wobei unterschiedliche, methodisch ausgewählte Geometrien untersucht werden. Die Abdichtung des Ringspaltes, in dem sich der Fluiddruck in der Welle aufbaut, wird beim Fügen von Unrundprofilen dadurch gewährleistet, dass die Dichtungen aus dem Bereich der hohen Deformationen herausgenommen werden. Hierfür ist eventuell ein außen um die Welle anliegendes Werkzeug nötig.

Zur Herstellung von formschlüssigen Unrundprofilen ist die Kenntnis des Grenzfügedruckes notwen-

dig, bei dem sich gerade keine Pressung ausbildet. In diesem Zusammenhang soll der Einfluss eines am Nabenaußendurchmesser anliegenden Werkzeuges untersucht werden, welches der Behinderung der Nabenaufweitung dienen soll. Dieses hat zur Folge, dass die Rückfederung der Nabe nach Wegnahme des Fügedruckes geringer ausfällt bzw. kein Passfugendruck vorhanden ist.

Ein wesentlicher Aspekt zur Beurteilung der Übertragungsfähigkeit ist der sich über dem Umfang der Welle einstellende Spannungszustand infolge der Plastifizierung der Welle und der sich unter bestimmten Bedingungen einstellende Passfugendruck. Unter der Berücksichtigung von Torsionsbelastungen lassen sich hieraus nach dem Nennspannungskonzept entsprechende Kerbfaktoren ableiten oder Grenzbelastungen zur Verhinderung von Reibrost ermitteln. Umfangreiche FEM Berechnungen sollen die theoretischen Grundlagen hierfür liefern.

Aus den theoretischen Überlegungen zur optimalen Gestalt werden ein oder zwei für das Innenhochdruckfügen geeignete Profilformen ausgewählt, an denen weitere experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden. Hierbei werden zum einen die Pressverbindungen mit einem ansteigendes Drehmoment belastet, bis die Pressung an der Rückflanke der Verbindung aufgehoben ist und das Moment ausschließlich formschlüssig übertragen wird. Zum anderen sollen erste Aussagen über das Verformungsverhalten von Welle und Nabe unter Last getroffen werden. Es werden statische und dynamische Torsionsbelastungen untersucht, um Grenzbeanspruchungen zu ermitteln, die zum Versagen der Verbindung führen. Die dynamischen Untersuchungen dienen des Weiteren zur Untersuchung des Reibrostverhaltens der Verbindungen.

### 4 Literatur

- /1/ Göttlicher, C.: Entwicklung einer verbesserte Festigkeitsberechnung für P3G-Welle-Nabe-Verbindungen bei Torsion und kombinierter Biege- und Torsionsbeanspruchung. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, 1994
- /2/ Hove, U.: Zum Verhalten biege- und torsionsbelasteter Profilwellenverbindungen. Dissertation, TU Berlin, 1988

# Konstruktion einer Fräsvorrichtung zur Bearbeitung von Gesteinsprüfkörpern

Korte, T.

*In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wurden am IMW Versuche zur Bearbeitung von unterschiedlichen Gesteinen durchgeführt und eine Vorrichtung zur Bearbeitung von Gesteinsprüfkörpern konstruiert.*

*In cooperation with the german federal office for geological studies and natural resources, the IMW conducted experiments on the processing of various rock types and designed an apparatus to machine rock test specimen.*

## 1 Einleitung

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist als nachgeordnete Fachbehörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit die zentrale Einrichtung zur Beratung der Bundesregierung in allen geowissenschaftlichen Fragen.

Seit mehreren Jahren werden von der BGR mikroakustische Messungen im Forschungsbergwerk ASSE und im Endlager für radioaktive Abfälle (ERA) Morsleben durchgeführt. Ermittelt werden die Lokationen von Mikrorissbildungen im Gebirge und

die Magnituden der seismischen Abstrahlung bei den Rissprozessen. Zum tieferen Verständnis der Mikrorissbildung und der Risserweiterung im Gebirge insbesondere bei geringer Beanspruchung sowie zur Identifikation von Heilungsprozessen werden in der BGR Laboruntersuchungen an zylindrischen Gesteinsproben bei ein- und triaxialen Beanspruchungen mit passiven und aktiven ultraschallseismischen Aufnehmern durchgeführt.

## 2 Aufgabenstellung

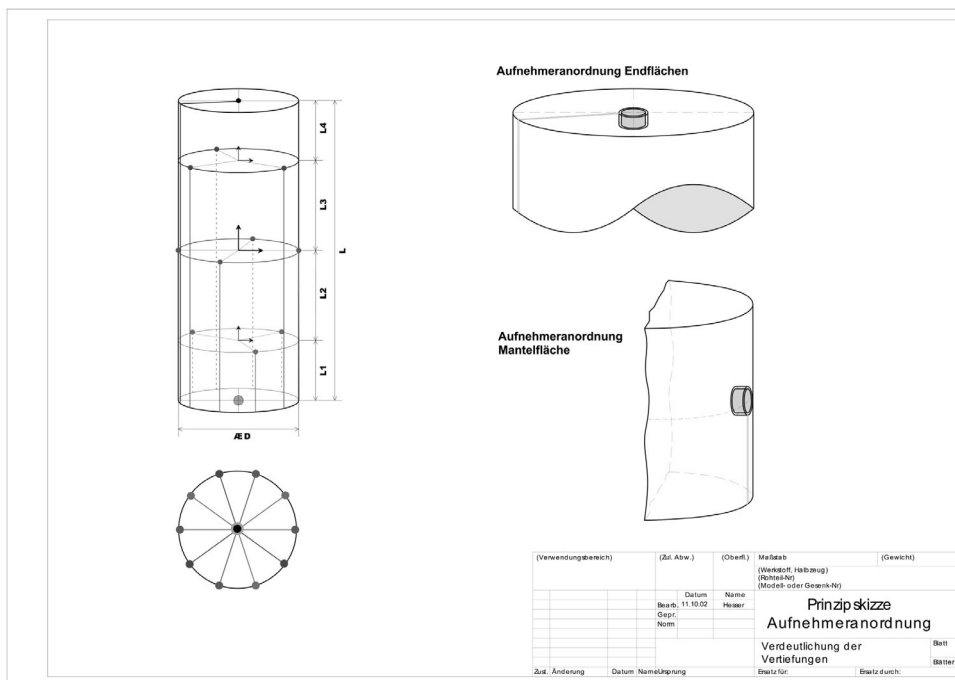
Zur Vorbereitung der Messungen werden zylindrische Gesteinsproben von 250 mm Länge und 100 mm Durchmesser stirnseitig und verteilt über die Mantelfläche mit insgesamt zwölf mikroakustischen Aufnehmern bestückt. Die Aufnehmer werden dabei in zylindrische Vertiefungen eingesetzt und die Aufnehmerverkabelung wird von der Vertiefung ausgehend in Nuten längs der Mantelfläche zur unteren Stirnseite geführt.

Die Abmessungen der Vertiefungen sollen variabel sein. Gefordert wurde ein Durchmesser bis 12 mm, eine Tiefe bis zu 10 mm und ein ebener Bohrungs-

grund. Die Nuten sind 1 mm tief und 1 mm breit. **Bild 1** zeigt schematisch, wie die Vertiefungen und Nuten am Gesteinsprüfkörper verteilt werden.

Die zu konstruierende Bohrvorrichtung soll eine Aufspannung und Ausrichtung des Probenkörpers ermöglichen und eine exakte Positionierung und Fertigung der Vertiefungen sicherstellen.

Eine weitere Aufgabe war die Durchführung von Bohrversuchen.



**Bild 1:** Prinzipskizze Aufnehmeranordnung

Für die Bearbeitung unterschiedlicher Gesteine existieren nur Empfehlungen, die insbesondere auf den Bergbau bezogen sind. Verfahren zur Präparation unterschiedlicher Probenkörper im Laborbereich erforderten Vorversuche zur Auswahl des Bearbeitungsverfahrens, der geeigneten Werkzeuge und angemessener Bearbeitungsparameter.

### 3 Gestein

Die Untersuchungen an den Gesteinsprüfkörpern dienen in diesem Fall der Standortevaluierung für eine Endlagerung radioaktiver Abfälle. Das Ziel einer untertägigen Endlagerung ist, die Abfälle langfristig sicher einzulagern und dauerhaft von der Biosphäre fernzuhalten. Dies soll durch ein System unterschiedlicher Barrieren gewährleistet werden. Wirtsgestein und geologische Formationen oberhalb eines unterirdischen Endlagers sollten die Funktion einer natürlichen Barriere in einem Mehrbarrierensystem übernehmen. Endlagertypische Gesteine sind Salzgestein, Anhydrit und Tonstein. Diese Gesteine sind unter anderem Gegenstand der Untersuchungen der BGR und daher mit der Bohrvorrichtung zu bearbeiten /1/.

#### 3.1 Tonstein

Tonstein entsteht durch die Ablagerung von Sedimentpartikeln mit einem Durchmesser von weniger als 2 µm. Tonstein verfügt über ein feinstkörniges, geschichtetes Gefüge. Die Dichte variiert entsprechend der Zusammensetzung und des Wassergehaltes. Damit die Eigenschaften sich in Hinblick auf die späteren Versuche nicht verändern, ist eine definierte Lagerung des Gesteins erforderlich. Es ist ein relativ weiches Material mit einer Härte von 1 bis 2 auf der Mohs'schen Härteskala (**Tab. 1**). Tonstein ist geschiefert und hat dadurch bedingt eine geringe einaxiale Druckfestigkeit von ca. 10 MPa.

#### 3.2 Anhydrit

Anhydrit (Kalziumsulfat  $\text{CaSO}_4$ ) entsteht durch marine Evaporation, das heißt durch Ausfällung bei der Verdunstung von Meerwasser.

Es ist ein feinkristallines, klüftiges und sprödes Material. Es hat eine Härte von 3 bis 3,6 entsprechend der Mohs'schen Härteskala. Die Dichte beträgt 2,95 g/cm<sup>3</sup>. Anhydrit hat eine einaxiale Druckfestigkeit von ca. 60 bis 100 MPa. Es ist an der Luft beständig.

Härtegrad	Standardmineral	Härteprüfung
1	Talk	
2	Gips	Fingernagel
3	Kalkspat	Kupfermünze
4	Flußspat	
5	Apatit	Messer
6	Feldspat	Fensterglas
7	Quarz	Stahlfeile
8	Topas	
9	Korund	
10	Diamant	

**Tab. 1:** Mohs'sche Härteskala /2/

#### 3.3 Salzgestein

Steinsalz entsteht wie Anhydrit durch marine Evaporation. Es hat in der Regel eine körnige bis grobkristalline Struktur, wobei die Korngrößen entsprechend der Entstehungsgeschichte stark variieren.

Die Mohs'sche Härte beträgt 2,5 und die Dichte 2,16 g/cm<sup>3</sup>. Die einaxiale Druckfestigkeit beträgt 20 bis 30 MPa.

Steinsalz ist an trockener Luft beständig, wobei Steinsalz und insbesondere Salzstaub an feuchter Luft sehr korrosiv wirkt /3,4/.

### 4 Bearbeitungsversuche

Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Zunächst wurden die Proben in mit einer Universal-Werkzeugfräsmaschine bearbeitet. Dabei wurden sowohl Bohrungen als auch Nuten erstellt. Diese Versuche führten zu den Erkenntnissen, welche Werkzeuge grundsätzlich zur Bearbeitung geeignet sind und lieferten ansatzweise Grundlagen bezüglich der Bearbeitungsparameter. Die Bearbeitungsparameter wurden systematisch variiert, um so die optimale Schnittgeschwindigkeit und den optimalen Vorschub zu ermitteln.

Es wurden drei Fräsverfahren an den Gesteinsprüfkörpern erprobt:

- Herstellung der Bohrungen mit einem Schafffräser: Ein Schafffräser bietet sich zur Herstellung der Bohrungen an, da die erzeugte Geometrie die Anforderungen einer zylindrischen Bohrung mit ebenem Grund erfüllt.
- Herstellung der Nuten mit einem Schafffräser: Die Nuten werden analog dem Nutenfräsen, wie es zum Beispiel bei der Herstellung von

Passfedernuten im Maschinenbau verwandt wird, erzeugt.

- Herstellung der Nuten mit einem Scheibenfräser: Die Nuten werden dabei durch Stirn-Umfangfräsen hergestellt. Dies entspricht dem Verfahren, wie es vom Auftraggeber bisher durchgeführt wurde. Die Rotationsachse des Werkzeugs steht dabei im Gegensatz zu den anderen Verfahren nicht radial zum Prüfkörper, sondern tangential. Es ist dementsprechend eine Umspannung des Werkstückes, beziehungsweise eine Neuausrichtung des Werkzeuges erforderlich.

Die Versuche zeigten, dass sowohl die Bohrungen als auch die Nuten an sämtlichen Probenmaterialien mit Schafffräsern aus Schnellarbeitsstahl angefertigt werden können. **Bild 2** zeigt eine Bohrung und eine Nut an einem Tonsteinprüfkörper.



**Bild 2:** Bohrung und Nut an einer Tonsteinprobe

Schließlich wurden Fräsversuche mit Werkzeugen in Originalabmessungen entsprechend der Anforderungsliste durchgeführt. Die hohen Schnittgeschwindigkeiten in Verbindung mit dem geringen Durchmesser des Fräasers führen zu hohen Werkzeugdrehzahlen. Die Bearbeitung der Anhydritprobe mit einer Schnittgeschwindigkeit von 45 mm/min erfordert zum Beispiel bei einem Fräserdurchmesser von 1 mm eine Drehzahl von ca. 14500 Umdrehungen/min. Diese Drehzahlbereiche waren mit der zur Verfügung stehenden Universal-Fräsmaschine nicht zu erreichen.

Es wurde daher in der Werkstatt des IMW eine provisorische Fräsvorrichtung mit einem pneumatischen Geradschleifer als Fräsantrieb angefertigt.

Der Geradschleifer wurde durch eine Führung mit Trapezspindelantrieb bewegt. Die Gesteinsproben wurden mit einem Prisma auf dem Werk Tisch fixiert.

Zum Absaugen des entstehenden Staubes diente ein Staubsauger.

Die bearbeiteten Proben wurden schließlich dem Auftraggeber zur Begutachtung zur Verfügung gestellt. Bei dieser Prüfung wurde insbesondere festgestellt, ob die erzeugte Oberflächenqualität den Anforderungen genügt und ob die Kosten der Werkzeuge in Bezug zur Standzeit seitens des Auftraggebers tragbar sind.

**Tab. 2** zeigt eine Übersicht über Richtwerte der Bearbeitungsparameter für die untersuchten Gesteine.

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v_c$	Vorschub $f_z$
Tonstein	20 m/min	0.02 mm/Fräserzahn
Steinsalz	45 m/min	0.02 mm/Fräserzahn
Anhydrit	45 m/min	0.02 mm/Fräserzahn

**Tab. 2:** Bearbeitungsparameter beim Fräsen unterschiedlicher Gesteine

Die Richtwerte der Bearbeitungsparameter für die untersuchten Gesteine (**Tab. 2**) geben Anhaltspunkte über die Schnittgeschwindigkeit und Vorschub. Der inhomogene und anisotrope Aufbau verursacht jedoch unsystematisch wechselnde Werkstoffeigenschaften, was die Festlegung der erforderlichen Bearbeitungsparameter erschwert.

Die wechselnden Eigenschaften durch die grobkörnige Struktur des Steinsalzes und des Anhydrites verursachten beim Fräsen in einigen Bereichen der Probe Materialausbrüche am Rand der Nuten und im Übergang zur Stirnseite.

Tonstein zeigte sich aufgrund seines sehr feinkörnigen Gefüges recht stabil bezüglich der Bearbeitungsparameter. Die Tonsteinprüfkörper sind jedoch aufgrund der Schieferung empfindlich und neigen dazu, bei der Handhabung auseinander zu brechen.

## 5 Ausführung der Fräsvorrichtung

### 5.1 Kinematische Beziehungen

Eine grundsätzliche Anforderung bei der Konstruktion der Fräsvorrichtung war die Auswahl der kinematischen Beziehungen zwischen Werkstück (Prüfkörper) und Werkzeug (Schafffräser). Grundsätzlich

können die Relativbewegungen sowohl vom Werkstück als auch vom Werkzeug durchgeführt werden. Die Bohrversuche zeigten, dass mit einem Geradschleifer zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen sind. Aufgrund der geringen Masse des Schleifers ist es sinnvoll, die Vorschub- und Zustellbewegungen vom Werkzeug ausführen zu lassen. Die rotatorische Positionierung an der Mantelfläche erfolgt über das Werkstück. Weiterhin wurde eine vertikal stehende Ausrichtung des Prüfkörpers gewählt, um keine Biegebeanspruchungen durch das Eigengewicht in der Gesteinsprobe zu erhalten.

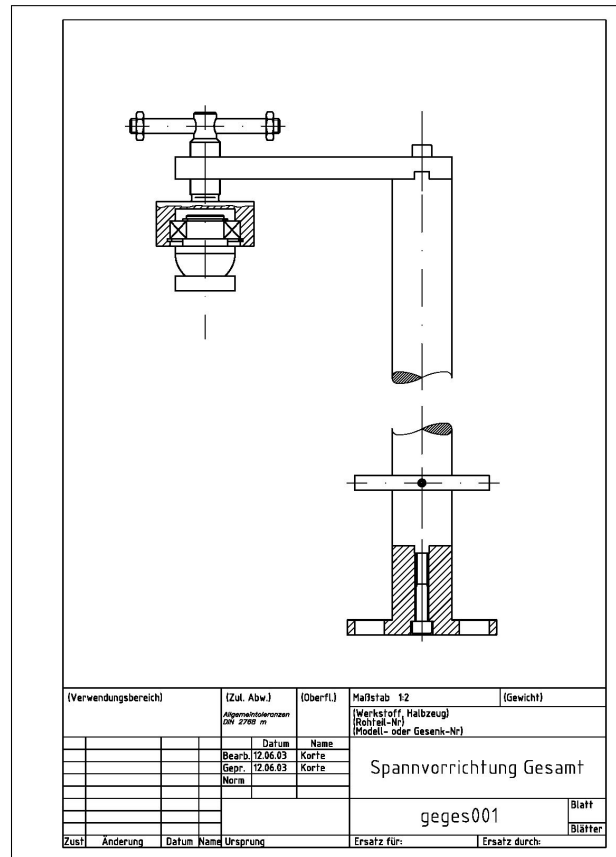
## 5.2 Spannen und Zentrieren

An die Aufspannung des Prüfkörpers wurde eine Reihe von Anforderungen gestellt. Diese sind im wesentlichen:

- Die Druckspannungen sind zu begrenzen, da das Gesteinsmaterial empfindlich ist und hohe Spannungen die späteren Versuchsergebnisse verfälschen oder eventuell Risse verursachen.
- Der Prüfkörper muss um die eigene Achse drehbar sein und eine Bearbeitung in jeder Position ermöglichen.
- Eine Zentrierung und exakte Positionierung des Prüfkörpers ist erforderlich.

Konstruktiv wurden die Funktionen „Positionieren und Zentrieren“ und „Spannen“ getrennt. Die Zentrierung und Positionierung erfolgt über ein Dreibackenfutter. Die Spannbacken werden durch nicht gehärtete Blockbacken ausgetauscht, die auf das Maß der Probenkörper ausgedreht werden. Diese Maßnahme bewirkt, dass die auftretenden Druckspannungen im Werkstück begrenzt sind.

Die Funktion „Spannen“ erfolgt über einen Stempel, der von oben auf die Probe gepresst wird. Die erforderliche Anpresskraft wird durch ein Feingewinde als Spindel aufgebracht. Um eventuell auftretende Parallelitätsabweichungen auszugleichen, ist das Anpressstück kugelförmig ausgeführt. Damit auch hier die Druckspannungen reduziert werden, presst das Kugelstück nicht direkt auf das Werkstück. Vor dem Spannen wird eine Scheibe auf die Stirnseite der Probe gelegt, die die Anpressfläche vergrößert. Die Anpressvorrichtung wird nicht auf den drehbaren Teil der Vorrichtung montiert. Um dennoch eine Rotation des Prüfkörpers zu ermöglichen, wird der Anpressstempel durch ein Lager drehbar gelagert (**Bild 3**).



**Bild 3:** Spanneinrichtung

## 5.3 Drehen des Prüfkörpers

Die Anforderungen, die an die Funktion „Drehen“ gestellt wurden, sind:

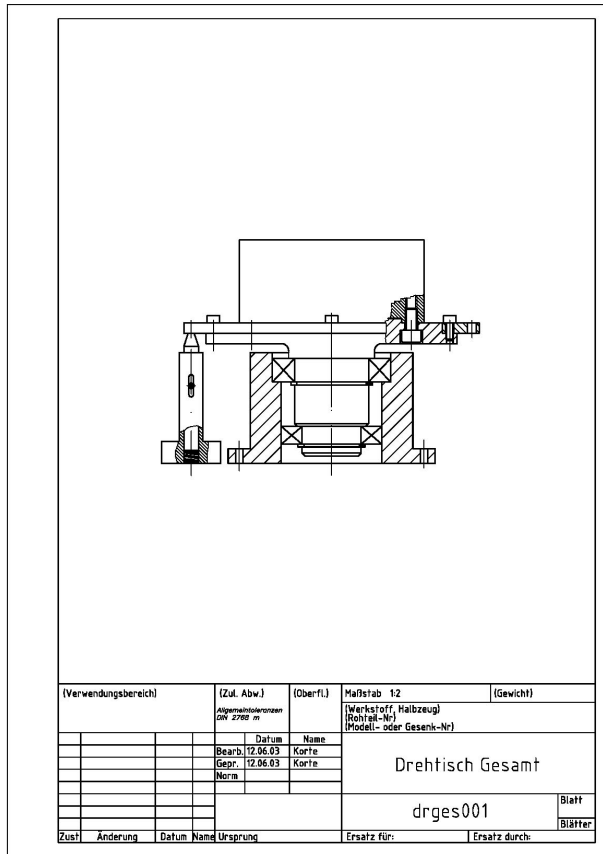
- Ermöglichen einer Rotation um 360°
- Drehen auf eine definierte Position
- Fixierung der eingenommenen Position

Die Rotation des Prüfkörpers wird konstruktiv erfüllt, indem das Dreibackenfutter drehbar gestaltet ist. Dabei wird das Futter auf eine Welle geschraubt, die mit zwei Rillenkugellagern in einem Gehäuse gelagert ist.

Die Funktionen „Einnehmen einer definierten Position“ und „Fixierung der Position“ werden zusammengefasst. Dies ist möglich, da laut Anforderungsliste eine stufenlose Positionierung nicht erforderlich ist. Es wird eine Teilscheibe zentrisch auf die Welle der Dreheinrichtung montiert. Außerdem werden zwei Teilscheiben angefertigt, die über zylindrische Bohrungen in Abständen von 5° beziehungsweise 6° verfügen.

Auf die Grundplatte der Fräsvorrichtung wird eine Führung montiert. In dieser Führung ist ein zylindrischer Stift mit konischer Spitze gelagert. Dieser Stift presst sich durch eine Feder in die Bohrungen der Teilscheibe. Zum Positionieren kann der Stift

gegen die Federspannung zurückgezogen, die Welle mit dem Dreibackenfutter gedreht und der Stift in die nächste erforderliche Position auf der Teilscheibe gerückt werden. Die Durchmesser der Scheiben wurden so bemessen, dass sie ohne Demontage des Dreibackenfutters ausgetauscht werden können. **Bild 4** zeigt die Dreh- und Positioniereinrichtung.



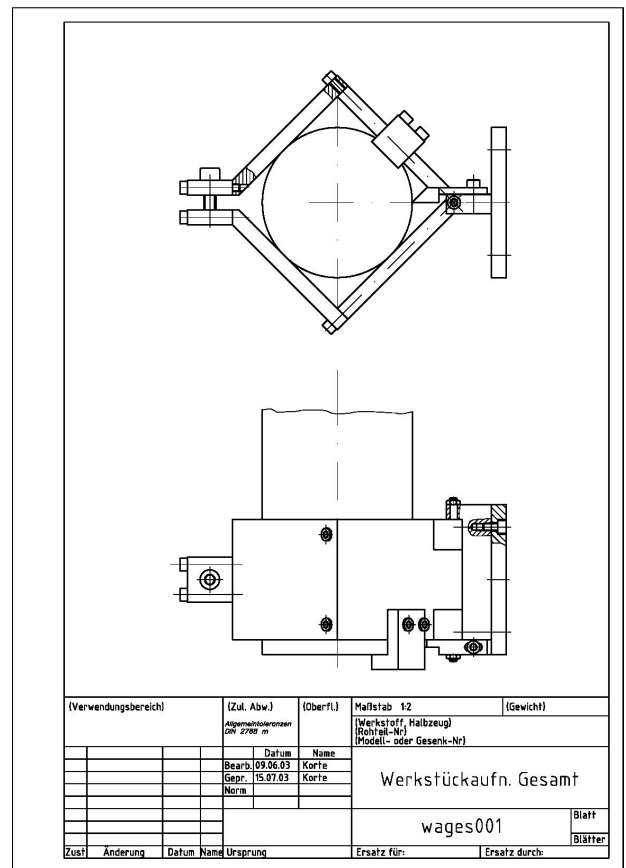
**Bild 4:** Drehtisch mit Positioniereinrichtung

### 5.4 Bearbeitung der Stirnseiten

An den Prüfkörpern sind zudem stirnseitig Bohrungen und Nuten herzustellen. Für die Bearbeitung ist ein Umspannen des Werkstückes in die horizontale Lage erforderlich.

Der Probenkörper wird mit einer Werkstückaufnahme fixiert und positioniert. Diese Werkstückaufnahme besteht aus zwei aufklappbaren Prismen, zwischen denen das Werkstück eingespannt werden kann. Die Prismen sind auf eine Scheibe mit dem gleichen Durchmesser wie die zylindrischen Proben befestigt, so dass die Werkstückaufnahme in das Dreibackenfutter gespannt werden kann. Um die Probe zur bereits gefertigten umfangsseitigen Nut auszurichten, ist an der Werkstückaufnahme ein Zeiger angebracht, der die Positionierung der gefertigten Nut auf einer vertikalen Linie mit dem Zentrum der Stirnseite ermöglicht.

Die Stirnseite des zylindrischen Probenkörpers befindet sich im gleichen Abstand zum Fräs Werkzeug wie zuvor die Mantelfläche. Dies wird durch einen Anschlag an der Werkstückaufnahme gewährleistet. Da die Probe dazu außermittig in die Prismen eingespannt wird, was zu einem hohen Biegemoment in der Probe und der Welle der Dreheinrichtung führt, muss der Probenkörper durch eine Stütze gehalten werden. Diese Stütze stellt durch ihre als Prisma gestalteten Auflageflächen zudem sicher, dass die Stirnseite rechtwinklig zur Rotationsachse des Werkzeugs ausgerichtet ist. In **Bild 5** ist die Werkstückaufnahme dargestellt.

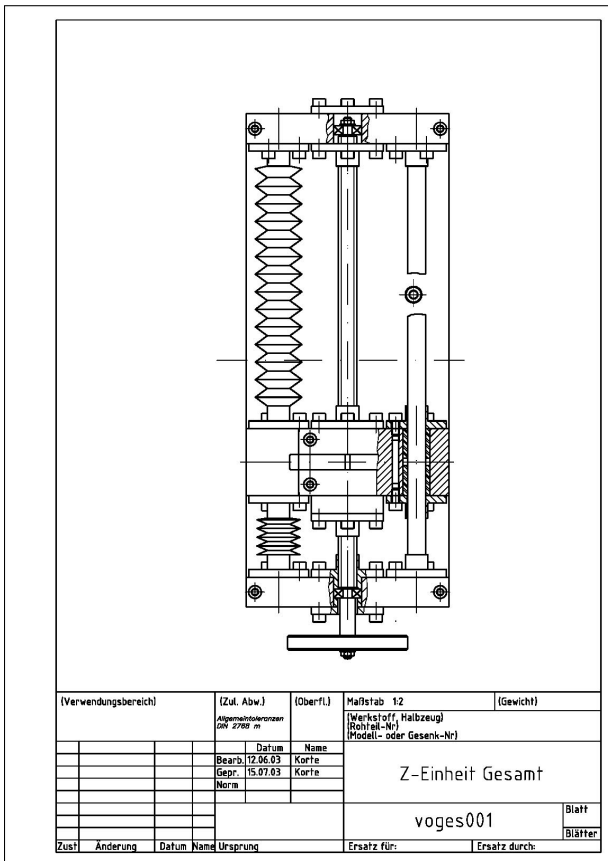


**Bild 5:** Werkstückaufnahme zur Bearbeitung der Stirnseiten

### 5.5 Lineareinheiten

Für die linearen Vorschub-, Zustell- und Positionierbewegungen sind Führungen erforderlich. Es werden zylindrische Führungen verwendet. Sie sind durch Faltenbälge vollständig abdichtbar, was insbesondere bei der Bearbeitung der Steinsalzproben von Bedeutung ist, da der entstehende Staub stark korrosiv wirkt. Als Antrieb der Lineareinheiten dient eine Trapezspindel. Das erforderliche Antriebsmoment kann sowohl über ein Handrad als auch über einen Gleichstromtriebemotor aufgebracht wer-

den. Der Motor kann vom Handrad durch eine Mitnehmerkupplung abgetrennt werden (**Bild 6**).

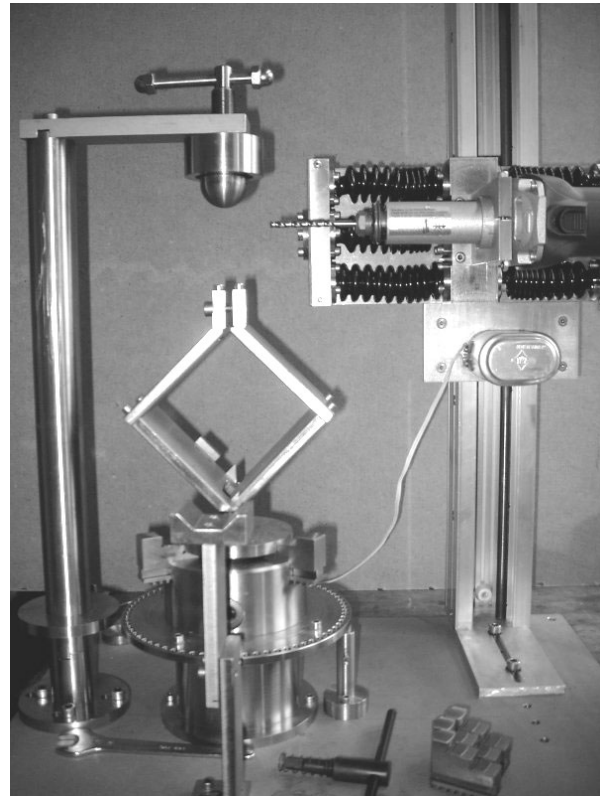


**Bild 6:** Lineareinheit für radiale Vorschub- und Zustellbewegungen

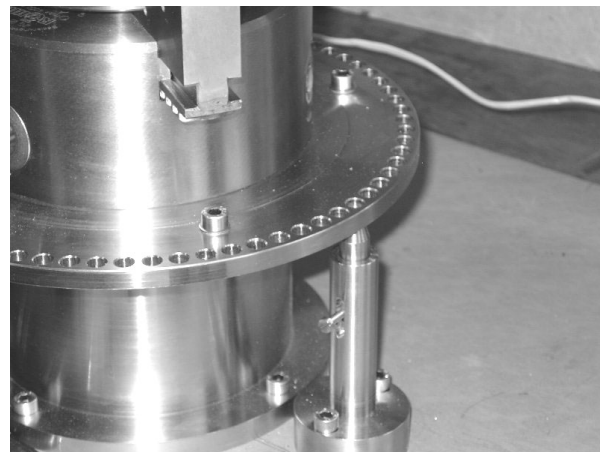
## 6 Zusammenfassung

Es wurde eine Bohr- und Fräseinrichtung zur Bearbeitung zylindrischer Gesteinsprüfkörper konstruiert. Basis für die Konstruktion waren Fräsversuche. Es wurde ermittelt, dass herkömmliche Schafffräser aus Schnellarbeitsstahl, angetrieben durch einen Geradschleifer mit hoher Drehzahl, die Anforderungen an Standzeit, Oberflächenqualität und Bearbeitungsgeschwindigkeit erfüllt.

Die Bohr- und Fräsvorrichtung wurde in der Werkstatt der BGR gefertigt und befindet sich dort im Einsatz. **Bild 7** und **Bild 8** zeigen die gefertigte Fräsvorrichtung.



**Bild 7:** Bohr- und Fräsvorrichtung



**Bild 8:** Detail der Dreh- und Positioniereinrichtung

## 7 Literatur

- /1/ Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte: Auswahlverfahren für Endlagerstandorte : Empfehlungen des AkEnd. 2002 – Abschlußbericht
- /2/ Bentz, A. (Hrsg.) ; Martini, H.J. (Hrsg.): Lehrbuch der angewandten Geologie, zweiter Band, erster Teil. 1. Aufl. Stuttgart : Ferdinand Enke Verlag, 1968
- /3/ Correns, C.: Einführung in die Mineralogie. 2. Aufl. Berlin : Springer, 1968
- /4/ Press, F. ; Siever, R.: Allgemeine Geologie : Eine Einführung. 1. Aufl. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 1995

## Zahnwellenforschung am IMW

Schäfer, G.; Ring, C.

*Die Zahnwellen-Verbindung ist eines der Schwerpunktthemen am IMW. Der folgende Artikel versucht diese inzwischen über 20-jährige Forschungstätigkeit zusammen zu fassen und einen Ausblick auf die zukünftigen Arbeiten zu geben.*

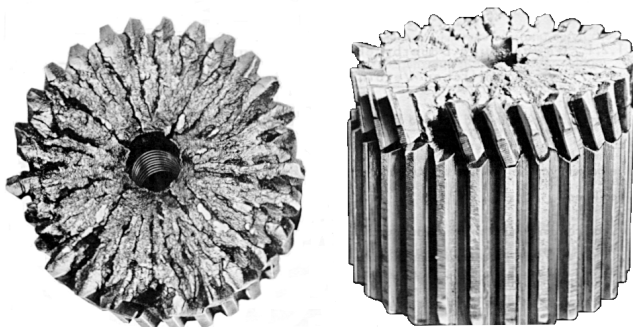
*Spline-hub-connections are one of the keyobjects in the IMW. A 20 years overview and a look into the future of research work will be given in this article.*

### 1 Ausgangssituation

Zahn- und Keilwellen-Verbindungen sind klassische formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen. Neben der Drehmomentübertragung erlauben sie axiale Verschiebungen, ein entscheidender Vorzug gegenüber Preßverbindungen. Die Kombination dieser Eigenschaften eröffnet viele Einsatzfälle in der Antriebstechnik, u.a. Bereichen wie z.B. in Lenksäulen. Schadensfälle an solchen Verbindung führen meist zu einem Ausfall der Gesamtanlage, teilweise mit schweren Folgen.

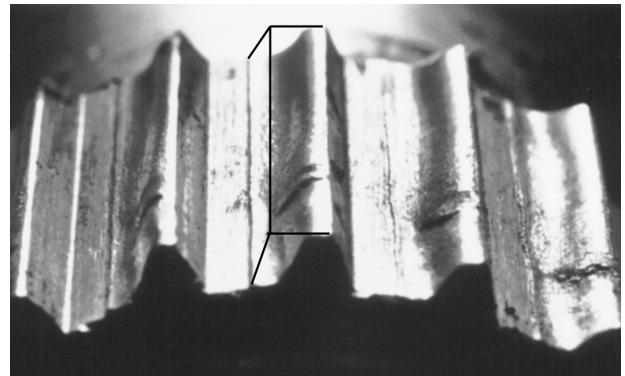
Schadensfälle an Zahnwellen-Verbindungen (ZVV) können allgemein in zwei Kategorien unterteilt werden:

**Versagen durch Bruch:** Die Ursache ist eine Beanspruchungsüberhöhung im Zahnfuß, die in Abhängigkeit von der Verbindungsgeometrie und der Belastung zum Abscheren der Zähne, zum Bruch der Welle oder zum Platzen der Nabe führen kann. Dabei kann zwischen statischem Gewalt- (**Bild 1**) und Dauerbruch infolge Schwingbeanspruchung unterschieden werden.



**Bild 1:** Gewaltbrüche an Zahn- und Keilwellen-Verbindungen; Beanspruchung deutlich oberhalb der Streckgrenze

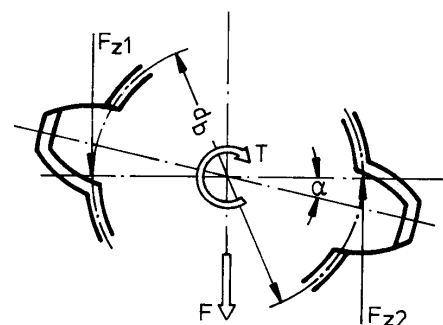
**Flankenverschleiß:** Verschleißvorgänge auf den Zahnflanken entstehen durch die Relativbewegungen im Betrieb zwischen Welle und Nabe, **Bild 2**. Deutlich zu erkennen ist eine reduzierte Zahndicke.



**Bild 2:** Verschleißerscheinung an einer Zahnwellen-Verbindung DIN 5480

Die für den Verschleiß notwendigen Relativbewegungen sind von zahlreichen Parametern abhängig: Größe und zeitliches Verhalten von Drehmoment und Biegemoment, Werkstoffpaarung, Umgebungseinflüsse (Medium, Temperatur) etc. Die Aufzählung verdeutlicht die komplexe Dimensionierungsproblematik und erklärt, weshalb die meisten Schadensfälle auf Verschleiß zurückzuführen sind /1/.

Huber /2/ führte Untersuchungen an ZVV durch, um den Grenzzustand bei kombinierter Belastung durch Drehmoment und Radialkraft zu ermitteln, bei dem die Verbindung nicht mehr selbstzentrierend wirkt und in ihrem Spiel umschlägt. Bei überschreiten einer bestimmten Radiallast schlägt der Zahn mit  $F_{z1}$  auf die Gegenseite um, **Bild 3**. Durch die einsetzenden Relativbewegungen tritt erhöhter Verschleiß auf.



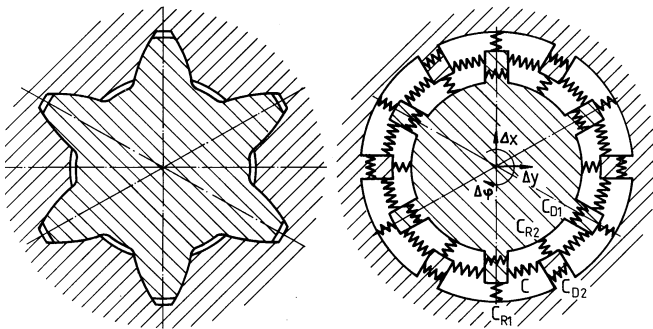
**Bild 3:** Schema zur Ableitung des Kippeffektes von Huber /2/



Festigkeitsuntersuchungen an ZWV wurden von Schöpf /3/ u.a. mit dem Ergebnis durchgeführt, dass die maximale Zahnfußspannung weitgehend vom Verhältnis der Verbindungslänge zum Kopfkreisdurchmesser ( $L/d_{a1}$ ) abhängt. Verbindungen mit  $L/d_{a1} \geq 0,5$  bringen bei reiner Drehmomentübertragung keinen Vorteil.

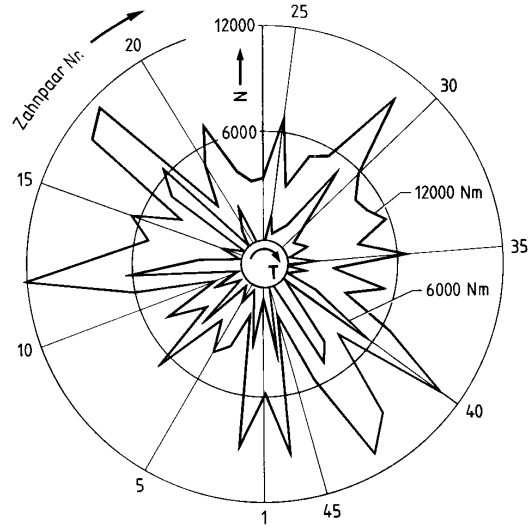
**2 Die Arbeiten von Dietz - "Die weiße Bibel"**

Mit der Veröffentlichung von Dietz /1/ wurde eine umfangreiche Abhandlung über das Lastaufteilungs- und Zentrierverhalten von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen vorgestellt. Er benutzte dazu zunächst ein ebenes elastisches Ersatzmodell, **Bild 4**. Später erfolgte die Erweiterung auf räumliche Modelle.

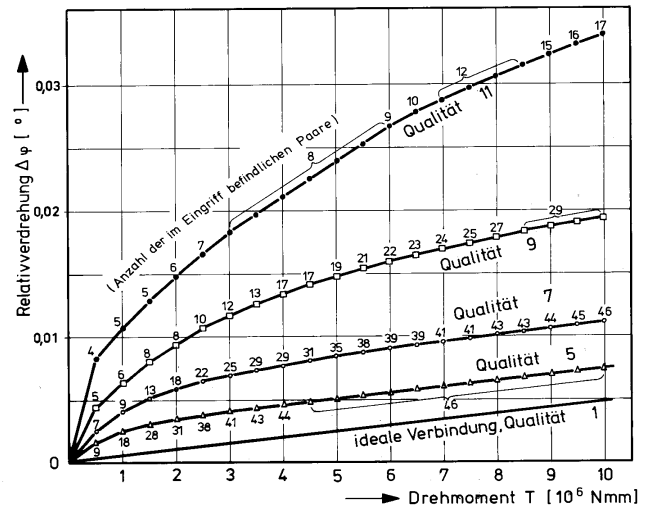


**Bild 4:** Prinzipieller Aufbau und mechanisches Ersatzsystem einer ZWV zur Lastaufteilungsrechnung /1/

Maßgebend für das von ihm entwickelte Berechnungsverfahren ist, dass der Einfluß der Teilungsabweichungen und Einbaustellung berücksichtigt wird. Durch die äußere Belastung "Drehmoment(T)" und "Querkräft(Q)"; verformen sich die ersten anliegenden Zahnpaare so lange, bis das nächste kleinere Flankenspiel überwunden ist. Dadurch kommt ein weiteres Zahnpaar in Eingriff und übernimmt einen Teil der Belastung. Aus den äußeren Lasten (T, Q) werden mittels eines von Dietz entwickelten Iterationsverfahrens mit analytisch berechneten Zahnsteifigkeiten alle Verschiebungen  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta \phi$  eines jeden Zahnpaares in der Scheibenebene bestimmt. Ein weiteres Ergebnis der Iterationsrechnungen ist die Lastverteilung (Flankennormalkräfte und Reibkräfte) über dem Umfang der Verbindung, **Bild 5**. Deutlich ist zu erkennen, wie sich mit steigender Drehmomentbelastung die Zahl der im Eingriff befindlichen Zahnpaare erhöht, **Bild 6**.



**Bild 6:** Lastaufteilung mit normalverteilten Abweichungen bei reinem Torsionsmoment, DIN 5480 – 95x2x30x46, Einbaustellung 1/1, Qualität 7 /1/



**Bild 6:** Relativverdrehung und Anzahl der tragenden Zähne in Abhängigkeit von Drehmoment und Qualität, DIN 5480 – 95x2x30x46 /1/

**3 Weiterführende Arbeiten am IMW**

Mit der Übernahme der Professur an der TU Clausthal wurde durch Dietz der neue Forschungsschwerpunkt "Zahn- und Keilwellen-Verbindungen" am IMW aufgebaut. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) förderte Projekte, die sich thematisch mit der Festigkeitsberechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindung befassten, die Volkswagen-Stiftung eines zum Einfluss von Verzahnungsabweichungen auf das Passungs- und Laufverhalten von ZWV. Die anwendungsnahen Untersuchungen wurden und werden aktiv von der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) be-

treut und finanziell gefördert. Hierunter fallen alle Verschleißuntersuchungen an ZWV, z.B. Einfluss von Herstelltoleranzen, kombinierter Lasten (T, Q), Schmierung sowie Untersuchungen zur Kerbwirkung von ZWV in Zusammenarbeit mit der TU Dresden.

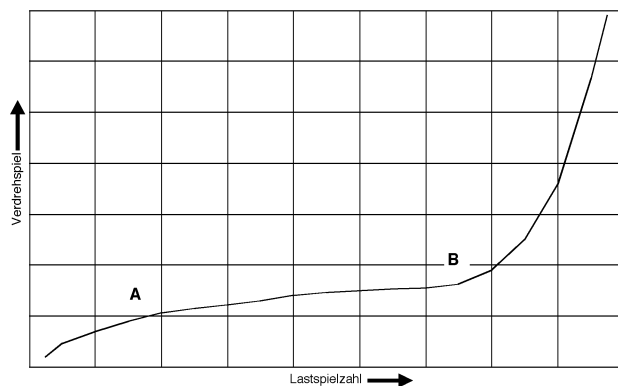
Aus diesen Forschungen sind bereits viele Studien-, Diplom- und Doktor-Arbeiten am IMW hervorgegangen /4-10/, deren Ergebnisse sich in den entsprechenden Berechnungs- und Dimensionierungsvorschriften z.B. DIN 5466 widerspiegeln.

Villmer /4/ variierte die Gestalt der Nabe (Außendurchmesser  $d_{e2}$ , Breite  $b$ ) und kam zu folgenden Ergebnissen:

- Seine FEM-Berechnungen und DMS-Messungen bestätigten die Aussage von Schöpf, mit steigender Verbindungsbreite sinkt die Flächenpressung bei reinem Drehmoment bis zu einem Verhältnis  $b/d_B=0,5$ .
- Die axiale Lastverteilung kann bei  $d_{e2} \leq 2 \cdot d_B$  durch die Einspannung der Nabe am Verbindungsende günstig beeinflusst werden.

Zapf, Mendel und Schäfer /5,7,8/ führten am IMW umfangreiche Verschleißuntersuchungen an ZWV mit Schiebesitz durch. Dabei wurden folgenden Untersuchungsparametern gefahren:

- Verzahnungsqualität/Passung
- Belastungskombination Drehmoment/Querkraft
- Fett- bzw. Ölschmierung
- Axialbewegungen zwischen Welle und Nabe
- Werkstoffkombination Welle/Nabe
- Oberflächenbehandlung (Härten, Beschichten)

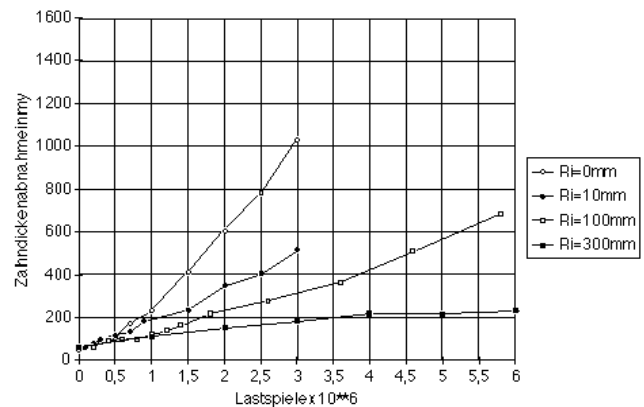


**Bild 7:** Verschleißphasen einer ZWV

Die Lebensdauer einer ZWV ist durch das Erreichen bestimmter Verschleißbeträge begrenzt. **Bild 7** zeigt das prinzipielle Verschleißverhalten. Punkt A markiert das Ende des Einlaufverschleißes, es

schließt sich ein Bereich konst. mäßigen Verschleißes an. Punkt B verkörpert die Grenze der Lebensdauer, an diesem Punkt beginnt der Endverschleiß mit exp. zunehmenden Verschleißraten. Die Erfahrungen, die durch die FVA-Vorhaben und die Untersuchungen von Schadensfällen gewonnen wurden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

**Belastungskombination Drehmoment/Querkraft:** Hohe Querkraft sorgt für einen exzentrischen Lauf und große radiale Relativbewegungen mit entsprechendem Verschleiß auch bei geringen Zahnlasten, **Bild 8**. Bei großen Querkräften sollte daher eine konstruktive Aufgabenteilung in "Drehmoment und Querkraft übertragen" vorgenommen werden.



**Bild 8:** Verschleißverhalten bei unterschiedlichen idealen Radien  $R_f = T/Q$

**Überlagerte Axialbewegungen:** Sie verursachen hohen Verschleiß, es hilft die Flächenpressung zu reduzieren und eine Ölschmierung zu verwenden. Es gibt gelenkwellenspezifische Lösungen.

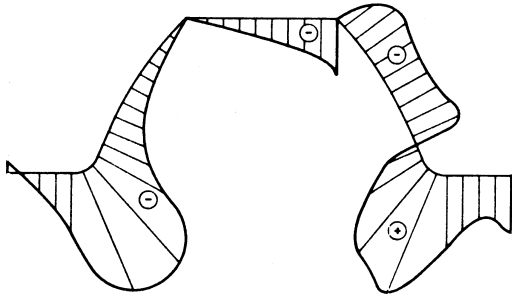
**Verzahnungsqualität/Passung:** Die Toleranzlage und -größe hat eine untergeordnete Bedeutung.

**Fett- bzw. Ölschmierung:** Grundsätzlich ist eine Ölschmierung zu bevorzugen, da das Öl Verschleißpartikel aus der Kontaktzone entfernt. Beim Einsatz von Fett sollten die Ergebnisse des aktuellen FVA-Vorhabens 99/V beachtet werden.

**Oberflächenhärte:** Die Härtung der Flanken ist bei abrasivem Verschleiß eine geeignete Maßnahme. Beachtet werden müssen jedoch die Effekte der Durchhärtung und des Härteverzugs.

**Beschichtung:** Beschichtungen stellen technisch-wirtschaftliche Lösungen für Spezialfälle dar, da sie nicht die Wirksamkeit einer Ölschmierung haben.

Kohl /6/ wertete das Tragverhalten Zahn-/Gegenzahn entlang der Randkontur aus, **Bild 9**. Gegenüber Laufverzahnungen ist das Tragverhalten von ZWV durch einen parabolischen Pressungsverlauf über der Zahnflanke gekennzeichnet.



**Bild 9:** Spannungsverteilung entlang der Randkontur, Verzahnung DIN 5480; "+" : Zugspannungen, "-" : Druckspannungen

Wesolowski /9/ gelang durch FEM-Rechnungen an ebenen und räumlichen Modelle die Aufteilung der Zahnfußspannung in drehmomentbelasteten Verbindungen in einen Torsions- und einen Zahnbiegeanteil, wodurch u.a. neue Erkenntnisse zum Einfluß des Parameters Zähnezahl auf die Gesamtbeanspruchung erzielt wurden. Seine systematischen Untersuchungen von Zähnezahl, Profilverschiebung, Fußausrundungsradius, Verbindungsbreite, Welleninnendurchmesser und Nabenaußendurchmesser führten zu erweiterten Berechnungsgleichungen für den Tragfähigkeitsnachweis von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen. Der derzeitige Normentwurf DIN 5466E /11/ basiert im wesentlichen auf seinen Berechnungsgleichungen.

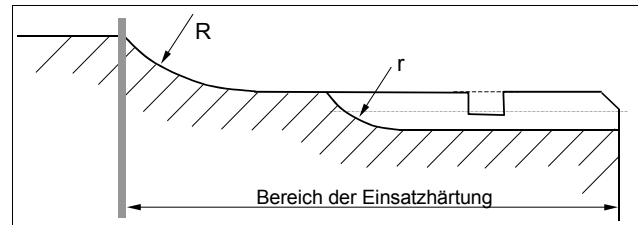
ZWV mit Presssitz werden zur Vermeidung der Axialbewegungen angewendet. Burgtorf /10/ entwickelte im Rahmen eines FVA-Vorhabens einen entsprechenden Berechnungsansatz.

#### 4 Aktuelle Arbeiten und Ausblick

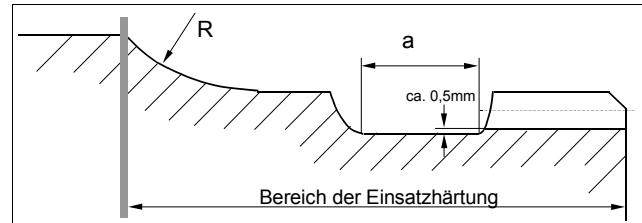
Das noch bis Mitte 2005 laufende FVA-Vorhaben 99/V beschäftigt sich mit der experimentellen Untersuchung neuartiger Schmierstoffe für ZWV.

Die für den internationalen industriellen Wettbewerb wichtige Normungsarbeit wird auf der Basis der ZWV-Erfahrungen vom IMW im ISO TC60/WG1 wahrgenommen. Als Ergebnis dieser, mit den Firmen FRENCO und GWB durchgeführten Tätigkeit liegt jetzt ein neuer Entwurf der ISO 4156 vor, der auch in Deutschland gültig werden soll.

Im gerade begonnenen FVA-Vorhaben 467 wird gemeinsam mit der TU Dresden an der Erarbeitung von Grundlagen zur dauerhaftesten Dimensionierung von ZWV unter schwingender Drehmomentbelastung gearbeitet. Besonders der Verzahnungsauslauf mit seinen verschiedenen industriell üblichen Kerbradien (**Bild 10**), wird dabei umfangreich numerisch und experimentell untersucht.



**Bild 10a:** Zahnwelle mit gebundenem Auslauf und optionaler Sicherungsringnut



**Bild 10b:** Zahnwelle mit freiem Auslauf

Da ZWV lediglich aufgrund der gleichen Werkzeuge und Verfahren wie Laufverzahnungen evolventisch hergestellt werden, die Evolvente aber kinematisch nicht zwingend ist und eine Aufgabentrennung (T, Q) sinnfällig ist, wird in einem DFG-Vorhaben an der Entwicklung einer tragfähigeren Flankenform mit der Möglichkeit einer wirtschaftlichen Fertigung durch umformende Herstellverfahren gearbeitet.

#### 5 Literatur

- /1/ Dietz, P.: Die Berechnung von Zahn- und Keilwellenverbindungen. Selbstverlag des Verfassers, Büttelborn 1978
- /2/ Huber, H.: Untersuchungen über die Zentrierkräfte flankenzentrierter Zahnwellenverbindungen. Untersuchungsbericht der Fa. John Deere Werke Mannheim, 1965
- /3/ Schöpf, H.-J.: Festigkeitsuntersuchung an Zahnwellenverbindungen mit Spannungsoptik und Dauerschwingversuchen. Dissertation TU München 1976
- /4/ Villmer, F.-J.: Zum Mechanismus der Lastverteilung in Zahnwellenverbindungen. Dissertation TU Clausthal 1984
- /5/ Zapf, R.: Betriebs- und Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellenverbindungen mit Schiebeseitz. Dissertation TU Clausthal 1986
- /6/ Kohl, G.: Ein Ansatz zur Berechnung der Zahnfußspannungen in Zahnwellenverbindungen. Dissertation TU Clausthal 1986
- /7/ Mendel, J.: Das Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellenverbindungen mit Schiebeseitz. Dissertation TU Clausthal 1990
- /8/ Schäfer, G.: Der Einfluß von Oberflächenbehandlungen auf das Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellenverbindungen mit Schiebeseitz. Dissertation TU Clausthal 1995
- /9/ Wesolowski, K.: Dreidimensionale Beanspruchungszustände und Festigkeitsnachweis drehmomentbelasteter Zahnwellen-Verbindungen unter elastischer und teilplastischer Verformung. Dissertation TU Clausthal 1996
- /10/ Burgtorf, U.: Montage- und Betriebseigenschaften von Zahnwellen-Verbindungen mit Preßsitz. Dissertation TU Clausthal 1998
- /11/ DIN 5466E, Teil 1 und 2: Normentwurf "Tragfähigkeitsberechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen", 1998

## Erweitertes Engineering-System im rechnergestützten Anlagen- und Apparatebau

Boryczko, A.; Müller, N.

*Der ständige Marktwandel und der Druck im Internationalen Wettbewerb zwingen Unternehmen im Produktentstehungs- und Produktvermarktungsprozeß neue Wege zu betreten. Das trifft auch für Unternehmen des Anlagen- und Apparatebaus mit Einzel- und Kleinserienfertigung zu. Dort sind in den letzten Jahren vor allem die produktionsvorgelegten Bereiche zum Engpaß geworden. Vorge stellt wird eine erweitertes Engineeringssystems für Planung, Konstruktion und Vertrieb im Anlagen- und Apparatebau.*

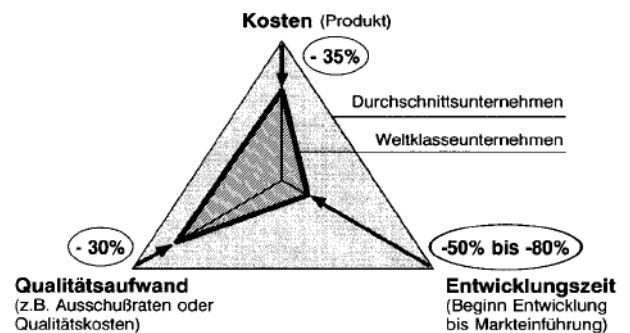
*The permanent market change and the pressure in international competition force companies in production and product marketing process to enter into new ways. This refers to companies of the facility- and machine making with single- and small series manufacturing. A defile occurred within the previous production segments during the last years. Presented is an enlarged engineering system for planning, construction and sales for facility- and machine making.*

### 1 Erfolgsfaktoren und Gegenstände operativer Unternehmensplanung

Die Wettbewerbssituation deutscher mittelständischer Maschinen- und Anlagenbauunternehmen wird zukünftig vorzugsweise in die Differenzierungsstrategie bzw. eine Konzentration auf Schwerpunkte innerhalb einer Marktnische (Fokussierung) führen. In diesem Kontext gilt die VDMA-Aussage nach der, im deutschen Maschinen- und Anlagenbau, bei hohen Lohn- und Standortkosten, Losgrößen zwischen 5 und 100 Stück gefertigt werden. Die Stärke dieser Gruppe von Unternehmen, die als Unternehmen mit Einzel- (ca. 59%) und Kleinserienfertigung (30,4%) einzustufen sind, liegt in der Fähigkeit, neue, marktorientierte Produkte, mit verbesserter Qualität, kostengünstiger und schneller als die Mitbewerber auf den Markt zu bringen und abzusetzen.

Nach McKinsey bewegen sich die im Rahmen der angesprochenen Langzeitstudie untersuchten Maschinen- und Anlagenbauunternehmen im Span-

nungsdreieck der genannten Faktoren Kosten, Zeit und Qualität wie **Bild 1** verdeutlicht.



**Bild 1:** Unternehmen im Spannungsdreieck der Wettbewerbsfaktoren Kosten, Zeit und Qualität /3/.

Aus dieser Diskrepanz leitet sich der, für die weniger erfolgreichen Unternehmen dringende Handlungsbedarf und eine langfristig ausgelegte Zielsetzung ab, die Effektivität und Effizienz der Produkterstellungs- und Produktvermarktungsprozesse zu steigern.

Prozesse mit ihren Aktivitäten, sowie einzubeziehende Ressourcen, bilden zusammen ein sozio-technisches Handlungssystem, mit dem die Produktvision (Zielsystem) in ein konkretes Produkt (Sachsystem) überführt wird. Während die Produktvision durch Menge der Zielvorgaben, Anforderungen und deren Verknüpfung grundsätzlich vom Markt bzw. Kunden vorgegeben ist, sind das Produkt und die zu seiner Erstellung und Vermarktung auszuführenden Prozesse und die bereitzustellenden Ressourcen intern planbar (beeinflussbar) und können im Rahmen von Verbesserungsansätzen unterschiedlichen Modalitäten unterworfen werden.

In diesem Zusammenhang bilden sie die eigentlichen Gegenstände operativer Unternehmensplanung und stehen bei der Herleitung einer erfolgversprechenden Improvementstrategie für produktionsvorgelegte Unternehmensbereiche im Anlagen- und Apparatebau im Mittelpunkt der Betrachtung.

**2 Prozeßorientierter Ansatz**

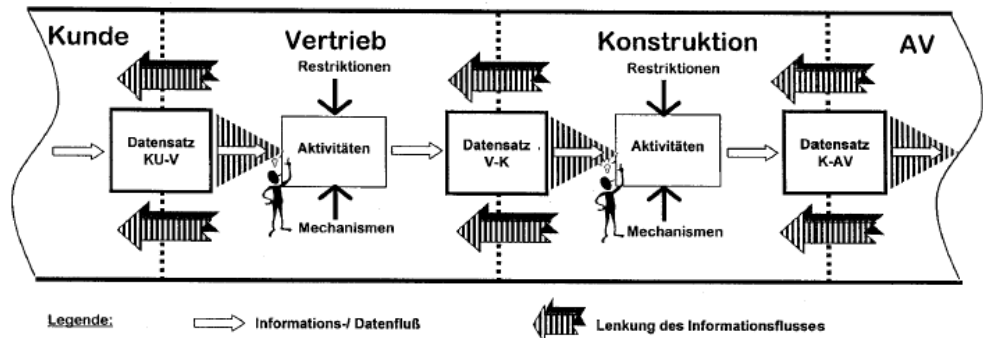
Angebots- und Auftragsabwicklung gehören zu den Schlüsselprozessen, die den Unternehmenserfolg direkt beeinflussen.

Weil im Rahmen aller Aktivitäten in den produktionsvorgelagerten Unternehmensbereichen Informationen umgeformt, transportiert und gespeichert werden, gehören Angebots- und Auftragsabwicklung in den Bereichen Planung, Konstruktion und Vertrieb zu den informationsverarbeitenden Geschäftsprozessen. Den Kern solcher Prozesse bildet der Informationsumsatzzyklus der in drei logisch aufeinander aufbauende Schritte gegliedert werden kann: Informationsbeschaffung, Informationsverarbeitung und Informationsausgabe.

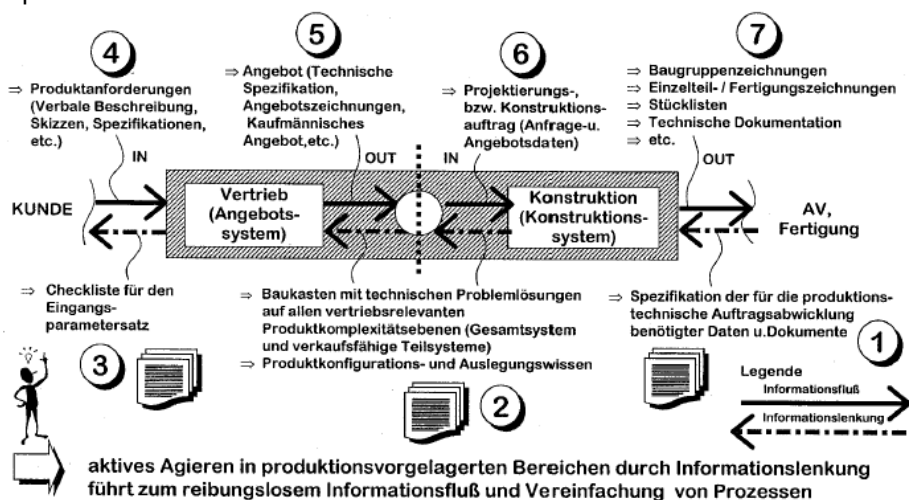
Der erste Schritt besteht in der Beschaffung aller benötigten (verfügbaren) Informationen, wofür eine Vielzahl unterschiedlicher Quellen herangezogen wird. Im nächsten Schritt werden die gesammelten (INPUT-) Informationen verarbeitet. Durch verschiedene Tätigkeiten wird die relevante Informationsmenge erweitert und wiederum eingengt (umgeformt), bis das gewünschte

(Zwischen-) Ergebnis erreicht ist. Dieses liegt zunächst in flüchtiger und für andere unzugänglicher Form vor. Beispielsweise kann es im Gedächtnis des Bearbeiters oder im Hauptspeicher des Rechners abgelegt sein. Um das Ergebnis für andere zugänglich zu machen, muß es im dritten Schritt in geeigneter Form ausgegeben werden. Die ausgegebenen (OUTPUT-) Informationen stehen als Eingangsgrößen für einen weiteren Durchlauf des Informationsumsatzzyklus zur Verfügung. Aus Sicht des Informationsumsatzzyklus bestehen die Angebots- und Auftragsabwicklung aus einer Vielfalt verschiedener Aktivitäten (Tätigkeiten) die in den betrachteten Funktionsträgern (Planung, Konstruktion und Vertrieb) durchgeführt werden. Um einen an der Wertschöpfung ausgerichteten Prozeßablauf zu gewährleisten, muß, ausgehend von der Prozeßgesamtfunction und ihrem gewünschten Output, die Prozeßkette rückwärts verfolgt werden, um notwendige Aktivitäten mit ihren Zusammenhängen und Schnittstellen zu ermitteln und durch schrittweise Konkretisierung zu einem vereinfachten, überschaubaren und damit beherrschbaren Abbild des Sollzustandes zu kommen.

Jede dem Prozeß zugeordnete Aktivität muß sich dabei durch ihren Auftraggeber rechtfertigen lassen. Wo das nicht der Fall ist, handelt es sich um eine Blindleistung die wegfallen kann. Die ermittelten Aktivitäten führen unter zur Hilfenahme verfügbarer Mechanismen und der Beachtung einzuhaltender Restriktionen zu Datensätzen. Diese Datensätze bilden Nahtstellen für die Funktionsträger untereinander und ihrer zugeordneten Aktivitäten siehe **Bild2**.



**Bild 2:** Prozeßimprovement aufbauend auf dem Prinzip entgegengesetzter Datenflüsse und Informationslenkung.



**Bild 3:** Szenario der Angebots- und Auftragsabwicklung in den Bereichen Vertrieb und Konstruktion aus Sicht des prozeßorientierten Improvementansatzes.

Bezogen auf die Angebots- und Auftragsabwicklung in den betrachteten Bereichen bedeutet das, daß beispielsweise die Aktivität „Kundendaten aufnehmen“ wegfallen kann, wenn die Kundendaten bereits im unternehmensinternen Informationssystem als Datensatz existieren, oder daß die Stückliste eines existierenden Getriebes, auf das als Wiederholteil im Rahmen der Auftragsabwicklung zurückgegriffen werden kann, nicht neu erstellt werden muß, weil sie als geordnete, produktbezogene Informationsmenge in Form eines Dokuments bereits vorliegt.

### **3 Informationstechnisch orientierter Ansatz**

Eine effiziente Durchführung der Angebots- und Auftragsabwicklungsprozesse setzt die Einbeziehung arbeitsunterstützender Hilfsmittel voraus. Da alle Operationen in den betrachteten Bereichen auf die Aufbereitung, Bereitstellung, Verarbeitung und Weitergabe von Informationen zurückgeführt werden können, bietet sich als universelles Hilfsmittel die Datenverarbeitung an. Ihr Einsatz kann grundsätzlich in zwei Richtungen erfolgen, wobei im Hinblick auf seine Grenzen eine tiefergreifende Betrachtung einzelner Operationen der Prozeßkette vorgenommen werden muß. Die erste Richtung zielt auf den operationellen Rechnereinsatz, bei dem der Rechner mit sämtlichen Anwendungssystemen als Werkzeug zur Informationsverarbeitung zum Einsatz kommt. Hier wird die Automatisierung einzelner Vorgänge angestrebt, so daß die Lösung ohne oder mit nur wenigen Eingriffen des Bearbeiters erfolgen kann. Dafür wird eine Algorithmierbarkeit der Bearbeitungsvorschriften oder eine formale Beschreibung der Bearbeitungsaufgaben vorausgesetzt.

Eine andere Richtung zielt auf die Unterstützung der informationsverarbeitenden Prozesse durch die Bereitstellung von Informationen. Angesichts des ständig wachsenden Informationsbedarfs und Informationsvolumens im technischen Bereich (VDI-2210) sowie des, laut statistischer Untersuchungen, sehr hohen Zeitbedarfs für Informationsbeschaffung, der im Konstruktionsbereich laut Angaben des VDI-Ausschusses „Angebotserstellung“ ein Sechstel der gesamten Arbeitszeit betragen kann, wird dieser Richtung besondere Bedeutung beigemessen.

Die größtmöglichen Effizienzsteigerungseffekte durch den Einsatz von DV-Hilfsmitteln sind jedoch

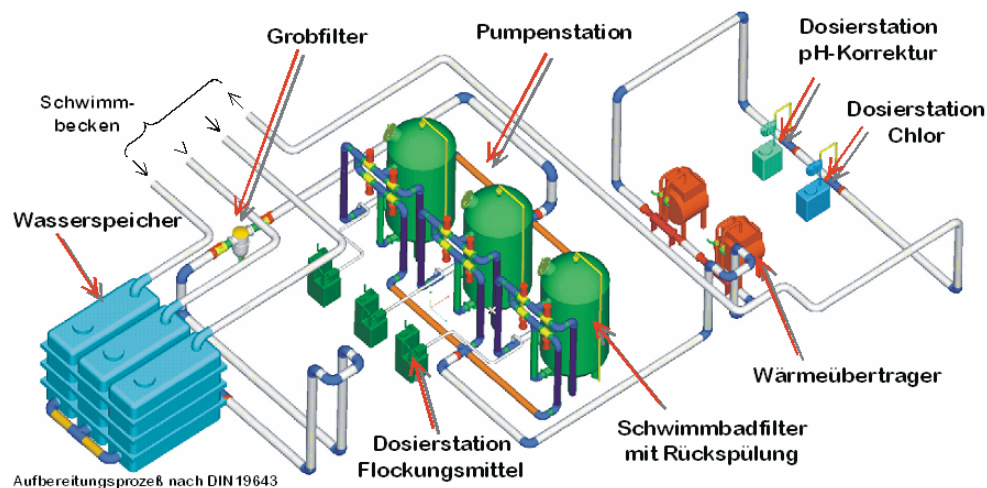
erst dann zu erwarten, wenn die beiden aufgeführten Richtungen gemeinsam verfolgt und in eine integrierte Angebots- und Auftragsabwicklung eingebettet werden. Der informationstechnisch orientierte Verbesserungsansatz setzt daher aus der Blickrichtung des Informationsumsatzes einen „flächendeckenden“ Einsatz von DV-Hilfsmitteln voraus. Das bedeutet, daß die Funktionalität eines zu implementierenden Informationssystems weit über die Grenzen eines passiven, informationellen Informationssystems hinausgehen soll, dessen Schwerpunkt auf der Informationsaufbereitung, -bereitstellung und -weitergabe liegt. Demzufolge gehört neben der Bereitstellung von Informationen die Automatisierung algorithmierbarer Teilprozesse und Aktivitäten ohne Einschränkung ihrer Flexibilität durch den Rechnereinsatz bei gleichzeitiger Sicherstellung der notwendigen Durchgängigkeit über die Grenzen einzelner DV-Systeme hinaus, zu den Festforderungen, die an ein solches Informationssystem gestellt werden müssen. Die informationell ausgerichtete Rechnerunterstützung der Abwicklungsprozesse durch Informationsbeschaffung, -aufbereitung und -weitergabe setzt die Existenz eines, den Einsatz von DV-Hilfsmitteln berücksichtigenden, Ordnungssystems voraus, das die für das Betreiben von Prozessen benötigten, in digitaler Form vorliegenden Daten und Dokumente wieder auffindbar und identifizierbar macht und systematische Ablage bzw. Weitergabe von (Zwischen-) Ergebnissen (Daten und Dokumente) ermöglicht. Die Schaffung eines solchen, die Informationsprozesse bedienenden und den Einsatz von Standardsoftware ermöglichenden, Ordnungssystems, unter Einbeziehung bewährter Verschlüsselungsmethoden zur Klassifikation und Informationsbeschaffung, bildet den entscheidenden Schritt mit dem der Rechner als festes Bestandselement in den Rahmen eines Informationssystems einbezogen wird. Angesichts der operationell ausgerichteten Rechnerunterstützung der Informationsverarbeitung erfordert dieser Ansatz die Zerlegung aller prozeßrelevanter Aktivitäten in Elementarfunktionen sowie ihre Analyse hinsichtlich der Algorithmierbarkeit und dem Bedarf an Heuristiken, mit dem Ziel sie entweder der Gruppe „Problem“ oder „Aufgabe“ zuzuordnen. Diese Vorgehensweise ist weiterhin Ansatzpunkt für eventuelle Systemanpassungen bzw. -erweiterungen in der Implementierungsphase des flexiblen, rechnerunterstützten Angebots- und Auftragsabwicklungssystems.

#### 4 Aufbau eines Systems für die Projektierung, Konstruktion und Vertrieb von Wasseraufbereitungsanlagen für Schwimmbäder „IRAKS“

Zur Umsetzung beschriebener Improvementansätze wurde ein aus mehreren Partialmodellen bestehendes Referenzmodell für die effektive und effiziente Angebots- und Auftragsabwicklung in den – Bereichen Vertrieb- und Konstruktion entwickelt.

Seine Validierung wurde im Rahmen eines Industrieprojektes bei einem Hersteller verfahrenstechnischer Anlagen für die Wasseraufbereitung vorgenommen.

Im Rahmen dieses Projektes wurde das entwickelte Referenzmodell mit seinen Fach- und DV-Konzepten für Ordnungssystem, Produkt und Prozesse zur Entwicklung und anschließenden informationstechnischen Realisierung eines integrierten, rechnerunterstützten Systems für Projektierung, Konstruktion und Vertrieb von Wasseraufbereitungsanlagen für Schwimmbäder „IRAKS“ herangezogen. Ein stark vereinfachtes Modell einer beispielhaften Ausführungsvariante einer solchen Anlage zeigt **Bild 4**.



**Bild 4:** Wasseraufbereitungsanlage für Schwimmbäder (Verfahrenskombination nach DIN 19643)

Die Anlage besteht aus einzelnen miteinander verrohrten Apparaten: Wasserspeicher, Pumpenstation, Dosierstationen für Flockungsmittel, Chlor-, Säure- und Laugelösungen, Filter zur Grob- und Flockungsfiltration sowie Wärmetauscher, durch die das aufzubereitende Schmutzwasser geleitet wird, bevor es in das Schwimmbecken gelangt. Abhängig vom verwendeten Schema des verfahrenstechni-

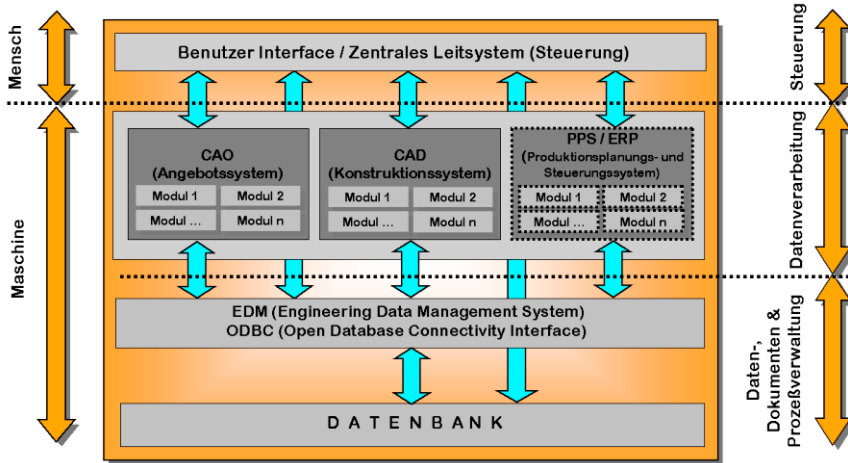
schen Wasseraufbereitungsprozesses, kann die Zahl und die Art der verwendeten Komponenten variieren und es können weitere Apparate bzw. Apparategruppen wie Ozonerzeuger, Restozonvernichter, Aktivkohlefilter, Gebläsestation etc. Verwendung finden. Einzelne Apparate dieser Anlagen lassen sich als, für standardisierte Anschlußschnittstellen ausgestatteten, Kapseln betrachten, die eine bestimmte Funktion aus verfahrenstechnischer Sicht zu erfüllen haben. Sie können als fertige Bausteine beim Projektieren zur Realisierung der Gesamtfunktion herangezogen werden, so daß der Projektierungs- und Konstruktionsprozeß, unter der Voraussetzung, daß ein zuvor vorgedachtes Baukastensystem existiert, auf die Lösung eines Konfigurationsproblems zurückgeführt werden kann.

Fertige Anlagen dieser Art werden selten als Standardprodukte verkauft. Dies ist fast ausschließlich bei kleineren Anlagen in Containerausführung der Fall. In der Regel handelt es sich hier um kundenspezifische Lösungen, bei denen einzelne Apparate bzw. Apparategruppen durch ein, durch kundenseitige Randbedingungen (Aufstellungsort, Räumlichkeiten (verfügbarer Technikraum), max. Aufstellungsfläche, Transportwege, etc.) geprägtes Rohrleitungssystem zu einem funktionierenden Gesamtsystem verbunden werden.

#### Systemarchitektur, Instrumentalisierung und Anwendungsspektrum

Interaktionskanäle und das Aufbauschema des entwickelten Systems „IRAKS“ sind in **Bild 5** dargestellt.





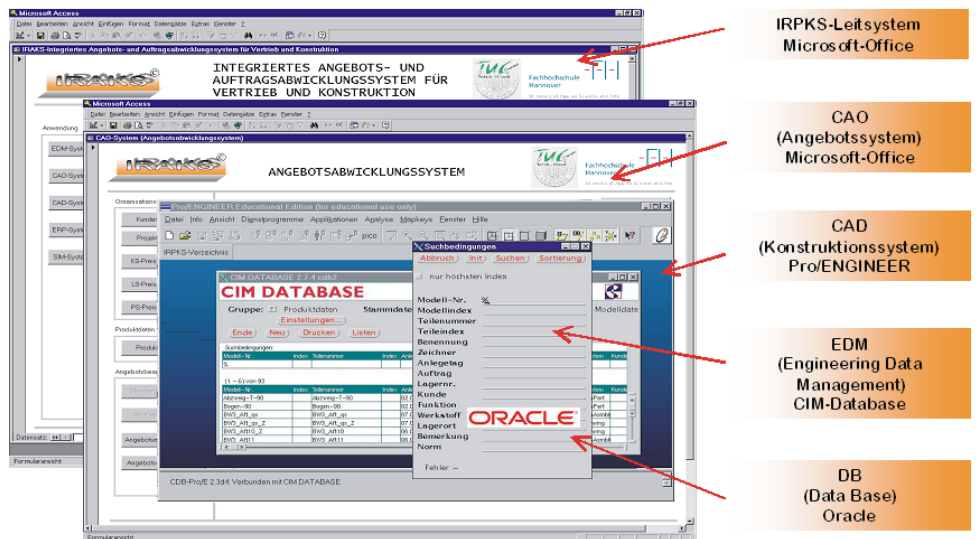
Eine zentrale Position nehmen in dieser Umgebung ein EDM- und ein Datenbankserver ein, mit denen einzelne Clients mit lokal installierten Anwendungen (CAO und CAD) im Netz verbunden sind.

Den groben Überblick über die bei der Implementierung zur Instrumentalisierung des Systems verwendeten Anwendungssysteme sowie die realisierte Benutzeroberfläche gibt **Bild 6** wieder.

**Bild 5:** Architektur und Interaktionskanäle des rechnerunterstützten Angebots- und Auftragsabwicklungssystems für Vertrieb und Konstruktion (IRAKS).

Seine Architektur bestimmen drei Funktionsschichten. Die oberste *Steuerungsschicht* bildet ein zentrales Leitsystem, von dem aus alle Mensch-Maschine-Interaktionen ausgelöst werden können und die Kommunikation zwischen dem Anwender und einzelnen DV-Anwendungen erfolgt. Einzelne, vom zentralen Leitsystem zu aktivierende Anwendungssysteme: Angebotssystem, CAD- und ERP/PPS-System bilden als Werkzeuge die *mittlere Schicht der Datenverarbeitung*, in der der Informationsumsatz stattfindet. Die unterste Schicht stellt die *Schicht der Daten-, Dokumenten- und Prozeßverwaltung* dar. In dieser Schicht sind das EDM- und das Datenbanksystem eingebettet. Im Datenbanksystem werden alle angebots- und auftragsrelevanten Daten sowie dokumentenbeschreibenden Metadaten abgelegt. Die physikalische Speicherung von Dokumenten selbst erfolgt im Filesystem des Serversystems. Das EDM-System verbindet einzelne, im Innendienst an den Prozessen beteiligten Anwendungssysteme (CAO/CAD/ERP) mit der Datenbank und regelt den Datenaustausch zwischen allen diesen Systemen, so daß eine direkte Kommunikation einzelner Systeme untereinander unterbunden wird und damit die Stimmigkeit des implementierten Daten- und Leistungsmodells gewährleistet werden können.

Als EDM-System, in dem das bereichsübergreifende Ordnungssystem mit seinem Objektplan und den Sachmerkmaleisten abgebildet wurde, wurde bei der Implementierung das EDM-System CIM-DATABASE (Contact) und als Datenbanksystem das objekt-relationale System ORACLE (Oracle) einbezogen. Zur Rechnerunterstützung aller Projektierungs- und Konstruktionsaufgaben wurde das vollparametrische CAD-System ProENGINEER (PTC) herangezogen, in dem die featurebasierte Implementierung des Produktmodells vorgenommen wurde. Das Angebotssystem ist modular aufgebaut und umfaßt ein Datenerfassungsmodul, mit dem das Produktspektrum auf allen vertriebsrelevanten Komplexitätsebenen (Apparate, Apparategruppen, Anlagen) ansprechend präsentiert werden kann.



**Bild 6:** Instrumentalisierung des rechnerunterstützten Angebots- und Auftragsabwicklungssystems für Vertrieb und Konstruktion (IRAKS).



Das Angebotssystem ist modular aufgebaut und umfaßt ein Datenerfassungsmodul, ein Produktinformationsmodul, ein Auslegungsmodul, ein Modul technischer und kaufmännischer Projektauswertung und ein Angebotserstellungsmodul. Das Auslegungsmodul verfügt über einen Produktkonfigurator der eine plausible qualitative und quantitative Anlagenauslegung auf Basis vordefinierter Auslegungsobjekte ermöglicht.

Der Objektplan des in „IRAKS“ implementierten Ordnungssystems (Object Ordering System) wurde als 4-stufige Sachgruppenhierarchie im EDM-System realisiert, so daß jede durch eine Sachgruppe der letzten Stufe dieser Hierarchie repräsentierte Bauteilfamilie in nur vier Schritten angesprochen und die, die Bauteilfamilie beschreibende (mit der Sachgruppe verknüpfte) Sachmerkmalreihe eingeblendet werden kann. Zur Verschlüsselung von Sachgruppen wurde ein vollverzweigtes Klassifizierungsnummernsystem verwendet, um den Objektplan DV-technisch nutzbar zu machen. Zur Navigation werden somit intern vom EDM-System unverwechselbare SML-Schlüssel dieses Nummernsystems verwendet.

### Produktmodell und Wissensimplementierung

Bei dem realisierten rechnerunterstützten Produktmodell handelt es sich um ein generisches, kohärentes, in mehrere Partialmodelle zerlegtes und auf mehrere Anwendungssysteme verteiltes Produktmodell, dessen leichte Übertragung in ein auftragspezifisches, virtuelles Produkt durch Nutzung von Evaluierungsmechanismen der einbezogenen Systeme gewährleistet wird.

Das Gesamtmodell umfaßt folgende Partialmodelle:

- Anforderungsmodell
- Strukturmodell
- Gestalts- und Technologiemo­dell
- Auslegungsmodells
- Produktdokumentationsmodell

Eine zentrale Position nimmt in diesem Modell das in Form von Produktmatrizen und Baugruppenfamili­entabellen im CAD/CAM-System ProENGINEER abgebildete *Strukturmodell* ein, über das die Kohärenz des gesamten Modells sichergestellt wird. In den Produktmatrizen dieses Modells ist das qualitative Produktkonfigurationswissen abgebildet, das von Mechanismen des Produktkonfigurators in der Phase der technischen Produktlösungsfindung ausgewertet werden kann. In den Produktmatrizen sind alle Produktkomponenten auf vertriebsrelevanten Produktkomplexitätsebenen sowie ihre Kombinatorik so abgebildet, daß jede Zeile dieser

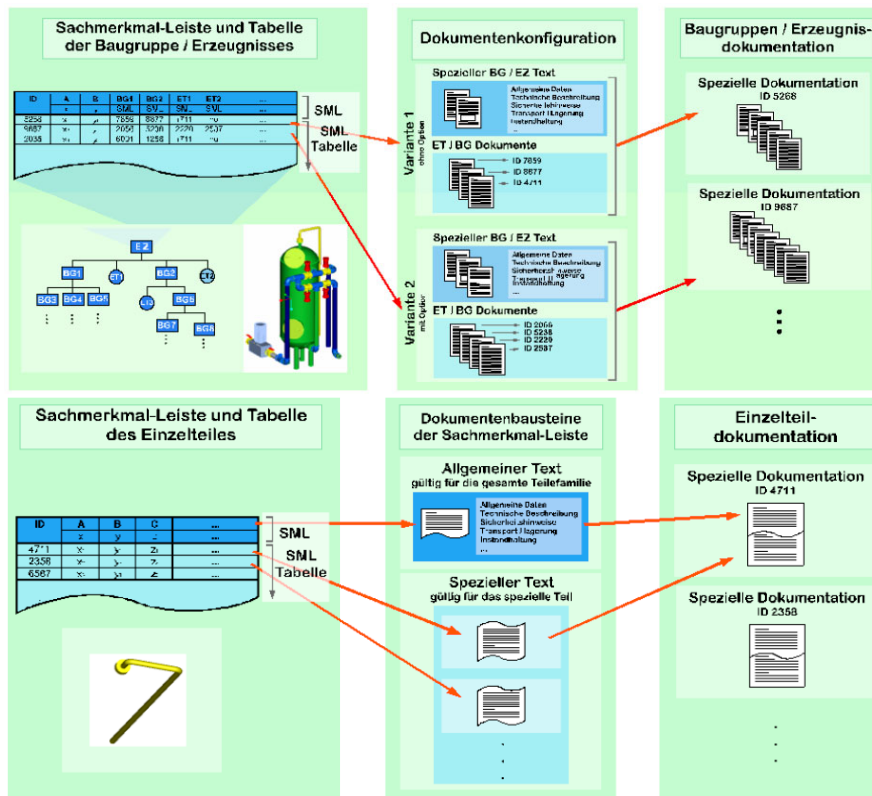
Strukturbeschreibung eine gültige, plausible, qualitative Produktkonfiguration beschreibt.

Die quantitativen Produktstrukturinformationen enthalten die im CAD-System vorhandenen, alle Komplexitätsebenen überspannenden und über Verweise (Links) mit den Einzelteilmfamili­entabellen des *Parametriemodells* verknüpften Baugruppenfamili­entabellen.

Während in den Baugruppen-Famili­entabellen des Strukturmodells jede Zeile eine vollständige quantitative Strukturinformation des zu beschreibenden Bauteils enthält, repräsentiert ein Tupel, der ebenso im CAD-System implementierten Einzelteilmfamili­entabellen des Parametriemodells, eine statische attributive Beschreibung der aus fertigungstechnischer Sicht nicht mehr zerlegbaren Elemente.

Beziehungen zwischen einzelnen Parametern dieser Beschreibung werden als Sachmerkmalalgorithmen ebenso im geometrischen Modellierer in Form expliziter mathematischer Constraints implementiert. Neben Einzelteilmfamili­entabellen und Sachmerkmalalgorithmen bilden der Teilstamm und die Referenzliste weitere Bestandteile des implementierten Parametriemodells. Sie stellen Relationen in der Oracle-Datenbank dar, deren Pflege vom EDM-System aus vorgenommen wird. Im Teilstamm sind alle in den Baugruppen- und Einzelteilmfamili­entabellen nicht enthaltenen technischen Daten und statischen betriebswirtschaftlichen Informationen abgebildet. Die Referenzliste enthält kommerzielle Bewegungsdaten für vertriebsrelevante Komponenten der Produktstruktur. Um jedes Element und die mit dem Element zusammenhängenden Informationen der so beschriebenen Produktstrukturen für Prozesse wiederauf­findbar und greifbar zu machen, werden sowohl die Baugruppen- als auch die Einzelteilmfamili­entabellen des Struktur- und Parametriemodells mit den Sachmerkmalreihen des bereits beschriebenen DV-technisch realisierten Ordnungssystems mittels der vom EDM-System bereitgestellten Mechanismen verknüpft.

Kern dieses Produktdokumentationsmodells, wie in **Bild 7** gezeigt, bilden Textbausteine, die entweder direkte Bestandteile (Inhalte) der Baugruppen- bzw. Einzelteilmfamili­entabellen der Struktur- und Parametriemodells sind, oder externe mit verbalen oder graphischen Inhalten gefüllte Objekte darstellen, auf die in diesen Tabellen verwiesen wird.



gebotssystemeigene Datenbank replizieren oder das Einlesen der dort in Sachmerkmalelisten, Teilestamm und Referenzliste verfügbaren Informationen von externen Datenträgern ermöglichen. Zweck dieses Moduls ist die Bereitstellung ausführlicher sowohl technischer als auch kommerzieller Informationen über das Produkt und seiner einzelnen Bestandteile (Strukturelemente), ergänzt um eine dreidimensionale, bildliche Darstellungen enthaltende und damit dem Nutzer des Systems stark entgegenkommende visuelle Präsentation des Produktspektrums (Inhalte des Baukastens) siehe Bild 8.

Bild 7: Dokumentationsmodell

**Prozeßablauf der Angebots- und Auftragsabwicklung**

Die Angebotsbearbeitung im implementierten System beginnt mit der Aufnahme aller organisatorischen Daten im Datenerfassungsmodul des Angebotssystems, das entweder als Stand-alone-Anwendung im Vertriebsaußendienst gestartet oder vom zentralen Leitsystem im Innendienst aktiviert wird.

Zu diesem Zweck werden vom System Eingabemasken für Kunden-, Projektdaten und Preisfaktoren (kunden-, länder- und projektspezifische Preisfaktoren) eingeblendet. Die dort aufgenommenen Daten beeinflussen die nachfolgenden Schritte der Angebotsbearbeitung, d.h. sie stellen entweder Werte für Textvariablen zur Verfügung, die zum Zeitpunkt der Dokumentenerstellung benötigt werden, oder liefern Koeffizienten über deren Multiplikation zum Gesamtfaktor Einfluß auf den endgültigen Angebotspreis genommen werden kann.

Die Phase der technischen und betriebswirtschaftlichen Anfragebewertung wird vom Produktinformationsmodul unterstützt. Dieses Modul verfügt über Routinen, die entweder die Verbindung mit der zentralen Datenbank aufbauen und vertriebsrelevante Bereiche des Datenbankschemas in die an-

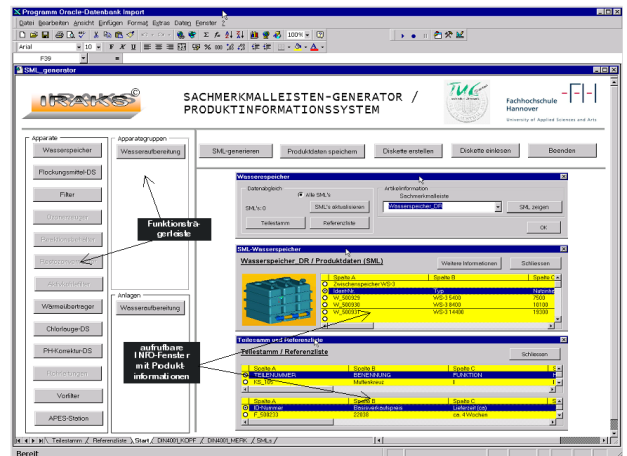
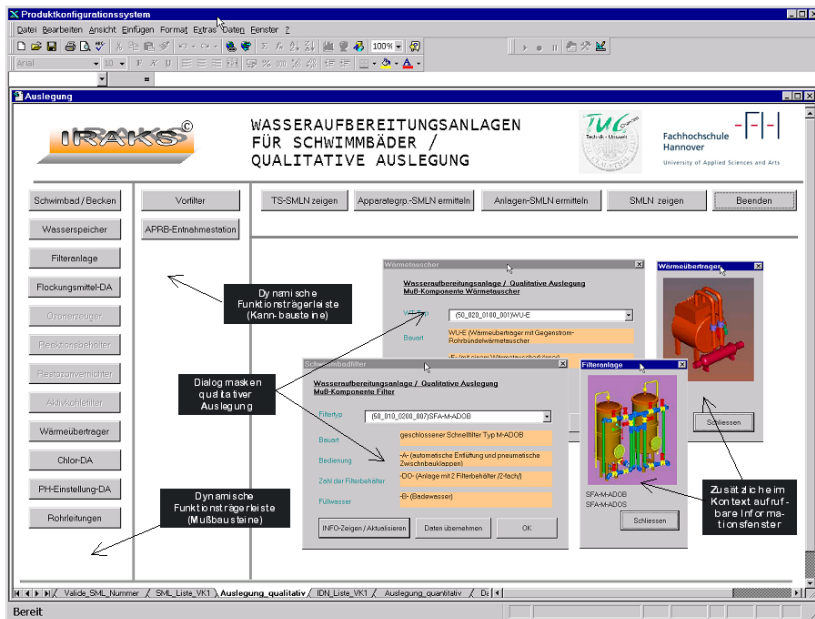


Bild 8: Bereitstellung von Produktdaten im Produktinformationsmodul.

Wird nach Durchsicht des Baukastens die Lösbarkeit des Kundenproblems technisch und betriebswirtschaftlich positiv bewertet, kann mit dem Auslegungsmodul (Produktkonfigurator) die technische Angebotsabwicklung angestoßen werden. Nach dem Start präsentiert das Auslegungsmodul dem Anwender das Hauptdialogfenster, von dem aus einzelne in der vertikalen Funktionsleiste aufgeführte Aktionen ausgelöst werden können. Dies sind: die eigentliche technische Produktauslegung, die Dokumentation der Auslegungsergebnisse, die Vorbereitung der Datenübergabe an das Projektierungs- und Konstruktionssystem und die Projektbe-

arbeitung. Die technische Produktauslegung beginnt mit der Auswahl des gewünschten Wasseraufbereitungsverfahrens. Dies erfolgt in einem Dialogfenster, in dem einzelne Verfahrenskombinationen nach DIN 19643 /4/ zur Auswahl angeboten werden und bei Bedarf detaillierte Informationen sowohl in alphanumerischer Form, als auch in Form des Anlagenschemas mit aufgeführten Funktionsträgern eingeblendet werden können.

**Bild 9** zeigt ein Dialogfenster, in dem in einem Pull-down-Menü eine Liste der, mit den bereits ausgelegten Komponenten kompatiblen, Typengruppen dieser Komponente zur Auswahl eingeblendet wird.



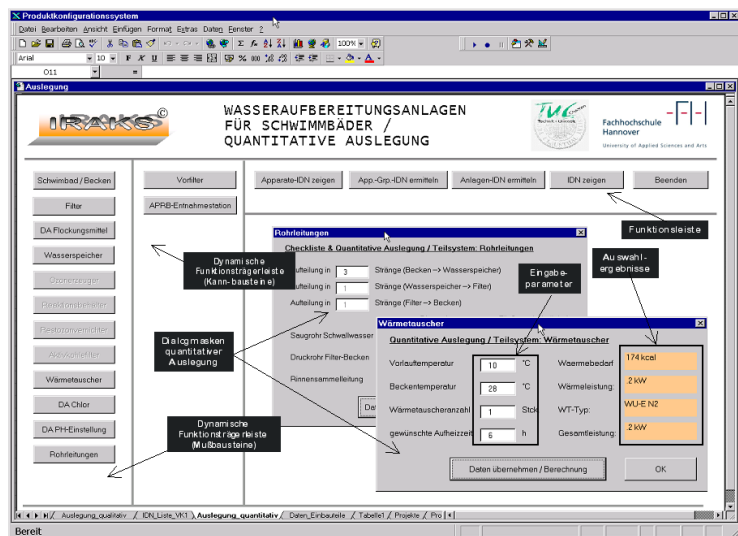
**Bild 9:** Ausschnitt aus der qualitativen Auslegung

Nach dem sequentiellen Durchlaufen der Funktionsträgerliste im Rahmen dieses Verfahrens, liegt eine plausible Anlagenkonfiguration vor, so daß eine nachträgliche Kontrolle der Widerspruchsfreiheit und Kompatibilität nicht notwendig ist. Ist die qualitative Anlagenkonfiguration unter Einbeziehung der im Baukasten vorkommenden Apparate abgeschlossen, wird das System über Buttons der Funktionsleiste veranlaßt, den Baukasten auf den nächsthöheren Komplexitätsebenen (Apparategruppen und Anlagen) nach wiederverwendbaren, die ermittelte Zusammensetzung von Apparaten enthaltenden, Bausteinen zu durchsuchen. Die Ergebnisse der qualitativen Auslegung werden anschließend dokumentiert und können in Form einer Liste in einer Über-

sichtsmaske angezeigt werden, welche die SML-Schlüssel der wiederverwendbaren Bauteile auf allen vertriebsrelevanten Baukastenebenen aufführt.

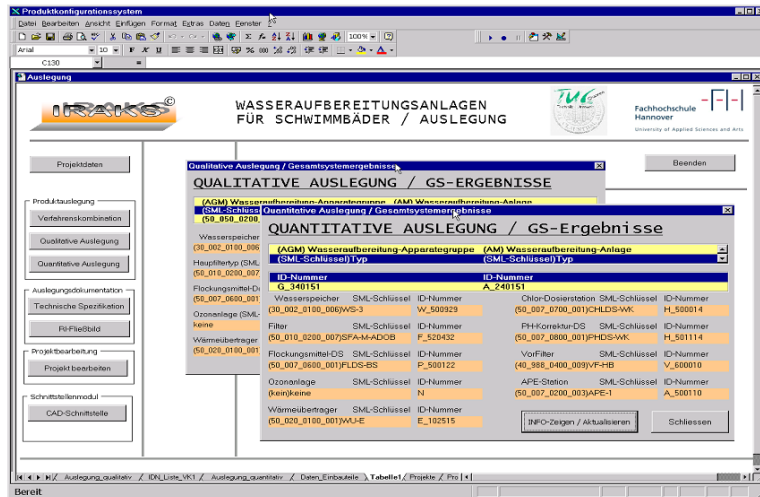
Der qualitativen Auslegung schließt sich die quantitative Anlagenauslegung an.

Das sich dem Anwender hier präsentierende Dialogfenster ähnelt dem der qualitativen Auslegung **Bild 10**. Mit den Befehlsschaltflächen (Buttons) der Funktionsträgerleiste sind jedoch Module verknüpft, die Algorithmen verfahrenstechnischer Berechnungen für das Gesamtsystem und für die einzelnen Teilsysteme beinhalten. Die Ergebnisse der verfahrenstechnischen Berechnungen werden als Suchkriterien an die Auswahlroutinen weitergegeben, mit denen der Baukasten, der im Rahmen der qualitativen Auslegung bereits auf den Bereich der denkbaren Lösungen (relevanter Sachmerkmale) eingeschränkt wurde, nach geeigneten quantitativen Varianten durchsucht wird. Die Suche beginnt auf der Ebene einzelner Apparate und wird genauso wie im Rahmen der qualitativen Auslegung auf den Ebenen der Apparategruppen und Anlagen fortgesetzt, mit dem Ziel, im Rahmen der Angebots- und Auftragsabwicklung auf wiederverwendbare Baukastenelemente auf möglichst hohen Komplexitätsebene zurückzugreifen, um den Bearbeitungsaufwand auf das notwendige Minimum zu reduzieren.



**Bild 10:** Ausschnitte der quantitativen Auslegung

Nach dem Vorgang der quantitativen Produktauslegung liegt eine vollständige, plausible Konfiguration vor, die der punktuellen, verfahrenstechnischen Auslegung der Anlage zwar selten entspricht, jedoch aus Sicht der Kundenwünsche und der durchgeführten Berechnungen die bestgeeignetste, kostengünstigste, nächstliegende, standardisierte Baukastenlösung repräsentiert Beispiel siehe **Bild 11**. Die Möglichkeit zur Erarbeitung einer aus Kundensicht optimalen technischen Lösung im hochiterativen Prozeß ist somit gegeben.



**Bild 11:** Auslegungsergebnisse

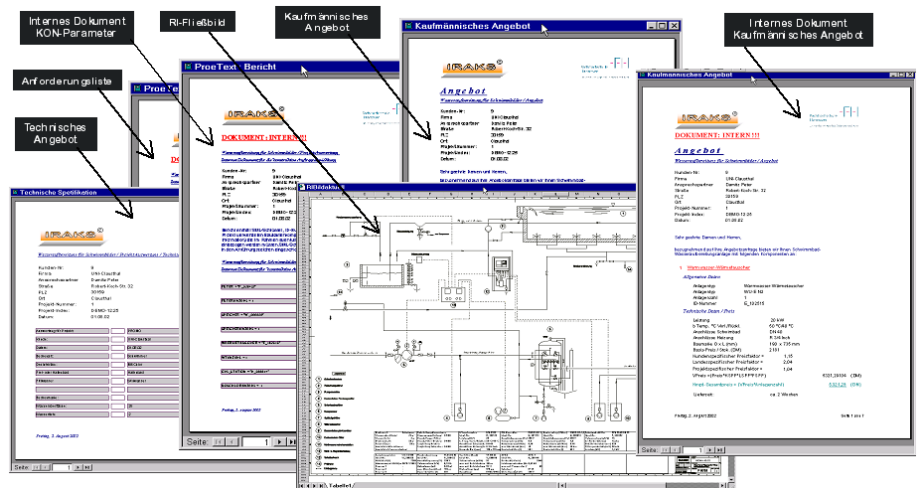
Ist der Auslegungsprozeß abgeschlossen, werden die für die Planung des Anlagen-Layouts erforderlichen Auslegungsergebnisse zusammengefaßt und in eine Übergabedatei geschrieben, die vom Projektierungs-/Konstruktionssystem eingelesen und ausgewertet werden kann. Sie enthält sowohl SML-Schlüsselinformationen und ID-Nummern einzelner Teilsysteme der konfigurierten Anlage, als auch Rohrleitungsparameter des verfahrenstechnisch korrekt ausgelegten Piping-Systems.

Nach der Phase der technischen Lösungsfindung folgt die kaufmännische Angebotsbearbeitung. Diese Phase wird vom Angebotssystem durch die Bereitstellung eines Moduls zur kaufmännischen Projektauswertung unterstützt, mit dem für jede als Baukastenprodukt konfigurierte Anlage kommerzielle Daten ihrer Komponenten (Angebotspreise und Lieferzeiten) zusammengeführt und in Diagrammform präsentiert werden können.

Damit wird die Möglichkeit eingeräumt, die in mehreren Iterationsschleifen erarbeiteten und technisch bewerteten Lösungen hinsichtlich der kommerziellen Aspekte einander gegenüberzustellen und sich der aus kaufmännischer Sicht optimalen Lösung anzunähern.

Die letzte Phase des Angebotsbearbeitungsprozesses bildet die Erstellung von Angebotsdokumenten und die Angebotsarchivierung.

Zu diesem Zweck stellt das Angebotssystem ein Angebotserstellungsmodul bereit, das ausgehend von den Ergebnissen der technischen und kaufmännischen Angebotsbearbeitung (Stückliste der aus technischer und kaufmännischer Sicht kundenoptimalen Anlage) das automatisierte Generieren sowohl der technischen Angebote mit RI-Fließbildern als auch der kaufmännischen Angebotsdokumente, die Bestandteile der für den Kunden vorgesehener Angebotsmappe sind, sowie zusätzlicher interner, d.h. im Unternehmen zum Zweck der Archivierung verbleibender, Dokumente ermöglicht (**Bild 12**).

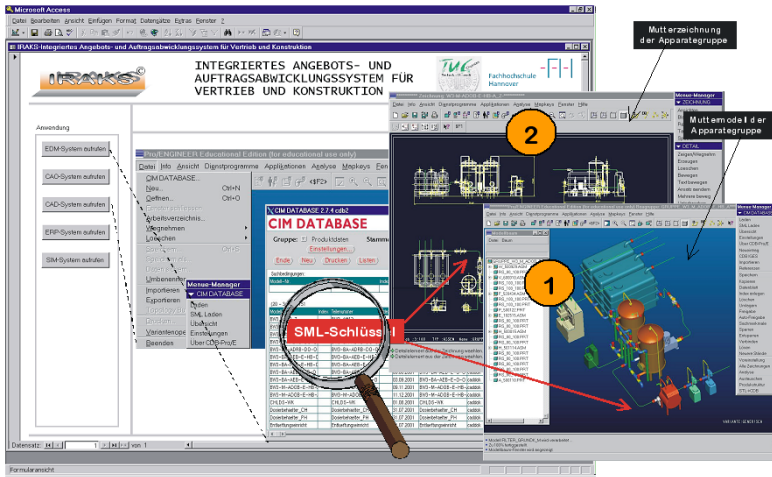


**Bild 12:** Ergebnisse der Angebotserstellung

Alle diese Dokumente stellen die, durch Datenbankabfragen steuerbaren Datenbankberichte dar, die zum Zweck einer sinnvollen Formatierung und nach Bedarf von eventuellen Modifikationen und Erweiterungen an ein Textverarbeitungssystem weitergegeben werden können.

In **Bild 13** ist die Layoutplanung / Finden und Laden parametrischer Vorlagen (Volumenmodell und 2D-Aufstellungsplan) zu sehen.





**Bild 13:** Layoutplanung / Finden und Laden parametrischer Vorlagen (Volumenmodell und 2D-Aufstellungsplan)

Bei diesem Modell handelt es sich um ein Teilmmodell der Anlage, das um das Rohrleitungssystem noch vervollständigt werden muß. Anhand eines solchen parametrischen Modells wird die Anlagen-Layoutplanung im Kontext des eingebauten dreidimensionalen Modells des Technikraums vorgenommen. Alle Modifikationen und Erweiterungen dieses Modells werden auf den mit ihm assoziierten zweidimensionalen Layoutplan automatisch übertragen. Das, ein Ergebnis der dreidimensionalen Layoutplanung bildende Modell wird als Vorlage für die Generierung eines vollständigen Anlagenmodells für die anschließenden konstruktiven Auf-

scher Fertigungs- und Montagedokumentation bildenden, Zeichnungen sowie die Erstellung von Stücklisten erfolgt letztendlich unter Einbeziehung des Mutterdokumentenprinzips (Baugruppen-, Einzelteil- und Montagezeichnungen (**Bild 14**). Die Übertragung von Stücklisteninformationen in das ERP-System wird vom EDM-System übernommen.

**5. Zusammenfassung**

Die Überwindung der auf geringe Effektivität und Effizienz zurückzuführenden Probleme im Angebots- und Auftragswesen der Anlagen- und Apparatebauunternehmen kann durch systematisierende Ansätze und einen methodischen Einsatz informationstechnischer Hilfsmittel in produktionsvorgelagerten Bereichen herbeigeführt werden /1/.

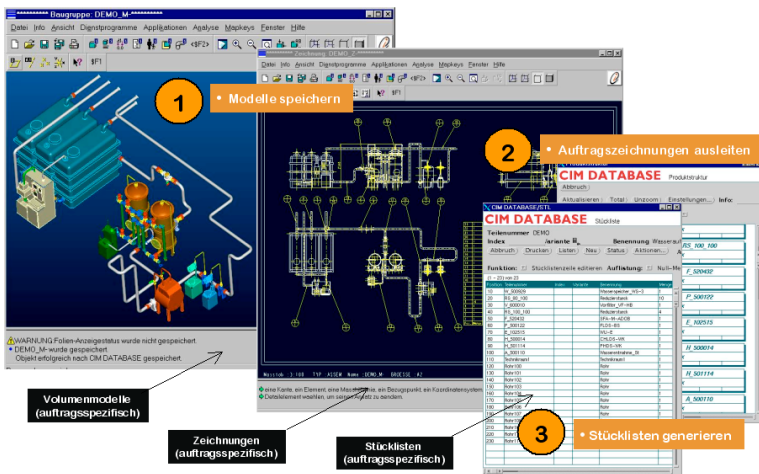
Ein entwickeltes Referenzmodell für die effektive und effiziente Angebots- und Auftragsabwicklung im Bereich Vertrieb und Konstruktion wird an einem Beispiel für die Projektierung von Wasseraufbereitungsanlagen für Schwimmbäder vorgestellt.

Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit zwischen der FH Hannover vertreten durch die Herren Prof.

Dr.-Ing. W. Stannek, und Dr.-Ing. A. Boryczko sowie der TU Clausthal, Institut für Maschinenwesen, vertreten durch Prof. Dr.-Ing. N. Müller.

**6. Literatur**

/1/ Boryczko, P.: Föderatives Engineering System für Planung, Konstruktion und Vertrieb. Beitrag zur Systematisierung und Integration der Engineering- und Commerce-Prozesse im rechnerunterstützten Anlagen- und Apparatebau. Dissertation TU-Clausthal 2003., VDI-Verlag, Düsseldorf 2003.



tragsabwicklung verwendet.

**Bild 14:** Ergebnisse konstruktiver Auftragsabwicklung

Die sich der Generierung von Rohrsegmenten anschließende Anpassung von Schnittstellen zwischen dem Rohrleitungssystem und den einzelnen Apparaten erfolgt dialogorientiert. Hier werden die in den generischen Apparatemodellen verbauten Fittings durch ihre passenden Varianten ersetzt. Die Erstellung der, die Bestandteile auftragspezifi-

/2/ Rommel, G.; Brück, F.; Diedrichs, R.; Kempis, R.-D. und J. Kluge, J.; Einfach überlegen., Schäfer Poeschel, Stuttgart 1993.

/3/ DIN 19643, Aufbereitung und Desinfektion von Schwimm- und Badebeckenwasser; Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1984

/4/ VDI-2210, Analyse des Konstruktionsprozesses im Hinblick auf den EDV-Einsatz, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1975.

## Selektives Lasersintern von metallisch/keramischen Strukturen

Trenke, D.

*In umfangreichen Versuchsreihen wurden am IMW erfolgreich Verbundstrukturen aus metallisch/keramischen Pulvermischungen und durch abwechselndes Aufschmelzen von Metall/Keramik-Schichten durch das Verfahren des Selektives Lasersinterns hergestellt.*

*In considerably test series the IMW successfully produced composite constructions out of metallic/ceramic powder mixtures and also by the use of alternately melting metal/ceramic layers with selective lasersintering.*

### 1 Einleitung

Rapid Tooling Produkte sind zum heutigen Stand nur bedingt industriell einsetzbar. Dies liegt an den unzureichenden Werkstoffeigenschaften lasergesinterter Bauteile. Hierzu gehören die geringen mechanischen Festigkeitswerte, die hohen Oberflächenrauigkeiten, das mangelhafte Verschleißverhalten und die geringe Temperaturbeständigkeit. Bedingt durch diese Charakteristiken besitzen lasergesinterter Bauteile und Werkzeuge nur kurze Einsatz- bzw. Standzeiten und sind damit für die Serienfertigung nur eingeschränkt geeignet.

Durch das selektive Sintern von Keramik/Metall-Pulvermischungen und dem abwechselnden Sintern von Keramik- und Metallschichten soll das Einsatzspektrum und die Qualität von Rapid Tooling Erzeugnissen erweitert und verbessert werden.

Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen war es daher zu ermitteln, welche Keramiken die besten Bauteilergebnisse bezüglich Härte, Verschleißverhalten, Festigkeit und Oberflächenrauigkeit ergeben.

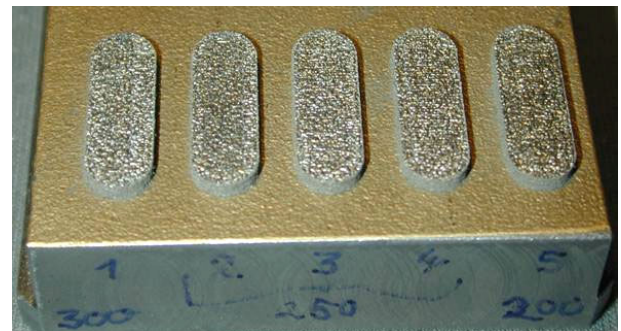
### 2 Durchgeführte Versuche

Entsprechend der beschriebenen Zielsetzung wurden Keramik/Metall-Verbundkörper durch abwechselndes Sintern von Keramik- Metallschichten und durch Lasersintern von Metall-Keramik-Pulvermischungen hergestellt. Die Energiezufuhr durch den CO<sub>2</sub>-Laser wurde dabei so gesteuert, dass die Temperatur der Schmelze die Flüssig-Gas-Phasengrenze nicht überschreitet, gleichzeitig aber ein voll-

ständiges Aufschmelzen einer jeden Schicht bis in die darunter liegenden Schichten erreicht wurde. Zur Umsetzung dieses Zieles erfolgten Variationen des Energieeintrages durch unterschiedliche Lasergeschwindigkeiten in Abhängigkeit von den jeweiligen Keramiken.

#### 1) Schichtweiser Aufbau:

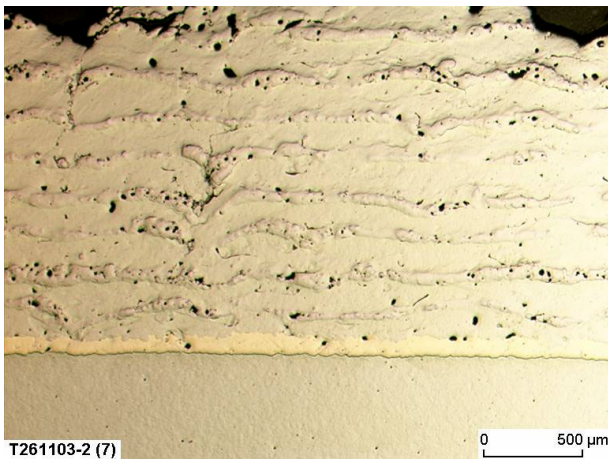
In dieser Versuchsreihe wurde ermittelt, ob es möglich ist, durch abwechselndes Lasersintern von Metall- und Keramiksichten feste Verbundbauteile herzustellen. Als Metallpulver wurde das handelsübliche Sintermaterial DirectSteel 20 verwendet. Bei den Keramikpulvern handelte es sich um verschiedene Karbide. Die Schichtstärken bei den einzelnen Versuchen betragen jeweils 0,1 mm. Um einen ausreichend hohen Energieeintrag zu gewährleisten, wurde die Laserleistung auf 95 % eingestellt und niedrigere Scangeschwindigkeiten beim Sintern der Keramiksichten im Vergleich zu den Stahlschichten gewählt. Auf diese Weise feste Stahl/Keramik-Verbundstrukturen aufgebaut werden (siehe **Bild 1**), die allerdings sehr raue Oberflächen aufzeigten.



**Bild 1:** Schichtweise aufgebaute Proben

Schliffbilduntersuchungen der verschiedenen Proben haben gezeigt, dass die jeweils neu aufgeschmolzenen Schichten in die darunter liegenden Schichten verlaufen und dadurch eine feste Verbindung zwischen den Schichten entsteht. Diese Verbindung der Schichten wird noch dadurch begünstigt, dass durch die Tiefenwirkung des Lasers die unteren Schichten zum Teil erneut anschmelzen und so die Keramik- und Metallschmelzen ineinander verlaufen.



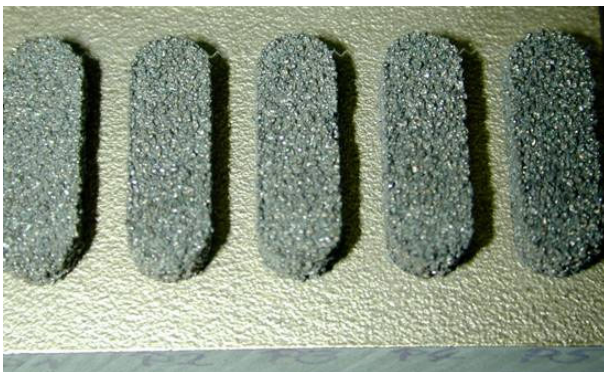


**Bild 2:** Schliffbild einer Schichtstruktur

## II) Metall-Keramik-Pulvermischungen:

In dieser Versuchsreihe wurde untersucht, ob es möglich ist, Bauteile aus einer Metall-Keramik-Pulvermischung zu sintern. Hierzu wurde das Metallpulver Direct Steel 20 in unterschiedlichen Gewichtsanteilen mit einem Keramikpulver vermischt und diese Pulvermischung in der Rapid Tooling Anlage aufgeschmolzen. Um den zum Sintern erforderlichen Energieeintrag zu gewährleisten, wurde der Laser sehr langsam verfahren und die Laserleistung auf 95 % eingestellt. Die gesinterten Schichtstärken betragen dabei 0,1 mm.

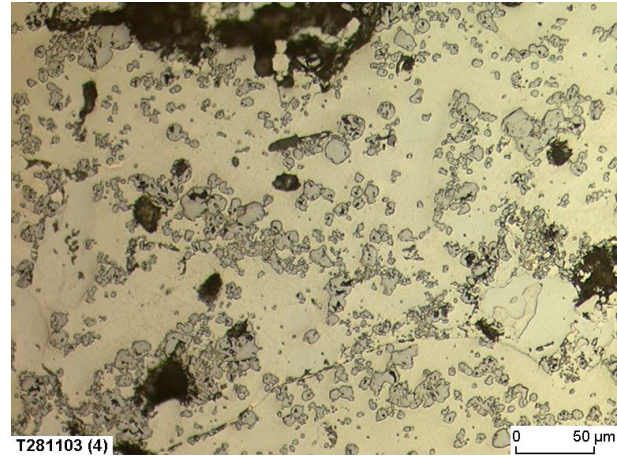
Diese Versuche haben gezeigt, dass bei angepasster Wahl der Prozessparameter und des Mischungsverhältnisses feste Strukturen aus einer Metall-Keramik-Pulvermischung durch schichtweises Lasersintern herstellbar sind (siehe **Bild 3**). Der Keramikanteil kann dabei in einem größeren Bereich variiert werden, so dass je nach technischer Anwendung die spezifischen Materialeigenschaften des Metalls oder der Keramik in den Vordergrund gestellt werden können.



**Bild 3:** Proben aus einer Pulvermischung

Ein Vergleich der verschiedenen Versuchsreihen untereinander ergab, dass mit den Karbid-Keramiken im Vergleich zu den Oxidkeramiken feinporigere und festere Bauteile herstellbar sind.

Die Porosität und Oberflächenqualität war insgesamt aber schlechter, als bei den schichtweise aufgebauten Proben. Die Auswertung der Schliffbilder sämtlicher Proben zeigte, dass sich die Schmelzbäder der Keramiken und des DirectSteel gegenseitig umflossen. Nicht aufgeschmolzene Keramikpartikel wurden von den Stahlbädern aufgenommen und eingebettet. Innerhalb der Strukturen bildeten sich größere Porenbereiche (siehe **Bild 4**).



**Bild 4:** Schliffbild einer Pulvermischung

## 3 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass sich mit dem Verfahren des selektiven Lasersinterns feste und teilweise geringporöse Verbundstrukturen aus Stahl- und Keramikpulvern herstellen lassen. Der Halt zwischen den verschiedenen Werkstoffen beruht dabei auf verschiedenen Verbindungsmechanismen. Zudem haben Härtemessungen gezeigt, dass sämtliche Proben eine höhere Oberflächenhärte als Bauteile aus reinem DirectSteel besitzen. Allerdings ist die Oberflächenqualität der Verbundstrukturen noch unzureichend. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden am IMW weitere Versuche zum Lasersintern von metallisch/keramischen Verbundstrukturen, deren Nachbearbeitung und zur Ermittlung der Werkstückeigenschaften und Verbindungsmechanismen durchgeführt. Hierzu zählen neben der Anpassung der Sinterparameter (Höhe des Energieeintrages, Schutz- und Reaktionsgase, Sinterstrategien usw.) auch der Einsatz verschiedener Metallpulver Keramiken.

## 4 Literatur

- /1/ Trenke, D.: Aufbau strukturierter Verbundwerkstoffe mittels selektiven Lasersinterns, IMW, 2004

## Die Fabrik der Zukunft – ein europäisches Netzwerk –

Düsing, C.; Grünendick, T.; Müller, D.; Rolshofen, W.

*Das Institut für Maschinenwesen ist Partner im Exzellenznetzwerk I\*PROMS im Bereich intelligenter Produktionsmaschinen und –systeme. Dieser Artikel beschreibt den Aufbau, Aufgaben und Ziele des Verbundes des fünfjährigen Projektes.*

*The Institut für Maschinenwesen is one of the partners of the I\*PROMS Network of Excellence, which is about intelligent production machines and systems. This article briefly describes the organisation, tasks and goals of the consortium within this five year project.*

### 1 Einleitung

Die Europäische Union hat mit Inkrafttreten des sechsten Rahmenprogramms die so genannten Exzellenznetzwerke als Werkzeug zur effizienten Bündelung von Kompetenzen in Europa ins Leben gerufen. Ein solches Netzwerk soll virtuelle, europäische Institute bilden, um innerhalb bestimmter Kompetenzbereiche Überschneidungen in der Forschung zu minimieren und Synergieeffekte zwischen den einzelnen Projektpartnern zu optimieren. Das Institut für Maschinenwesen ist einer von 30 Partnern aus 14 europäischen Ländern in dem Netzwerkprojekt I\*PROMS. Das Akronym steht für **I**nnovative **P**roduktions**m**aschinen und **S**ysteme. Dieses stellt somit das zur Zeit einzige, von der Europäischen Union geförderte Netzwerk im Bereich der Fertigung und Produktion dar. Im Folgenden soll beschrieben werden, wie das Netzwerk aufgebaut ist, in welchen Bereichen es arbeitet und wie andere Institutionen und Firmen von diesem Netzwerk profitieren können.

### 2 Aufbau und Ziele

Die allgemeine Integrierung entsprechender Forschungsaktivitäten in einem Netzwerk zielt ab auf eine Neuausrichtung und europaweite Zusammenführung der zumeist fragmentierten Forschungsaktivitäten um Synergien zu erzielen und entscheidende Impulse zu geben.

Um Forschungsintegration und -initiierung effizient gestalten und koordinieren zu können, besteht das

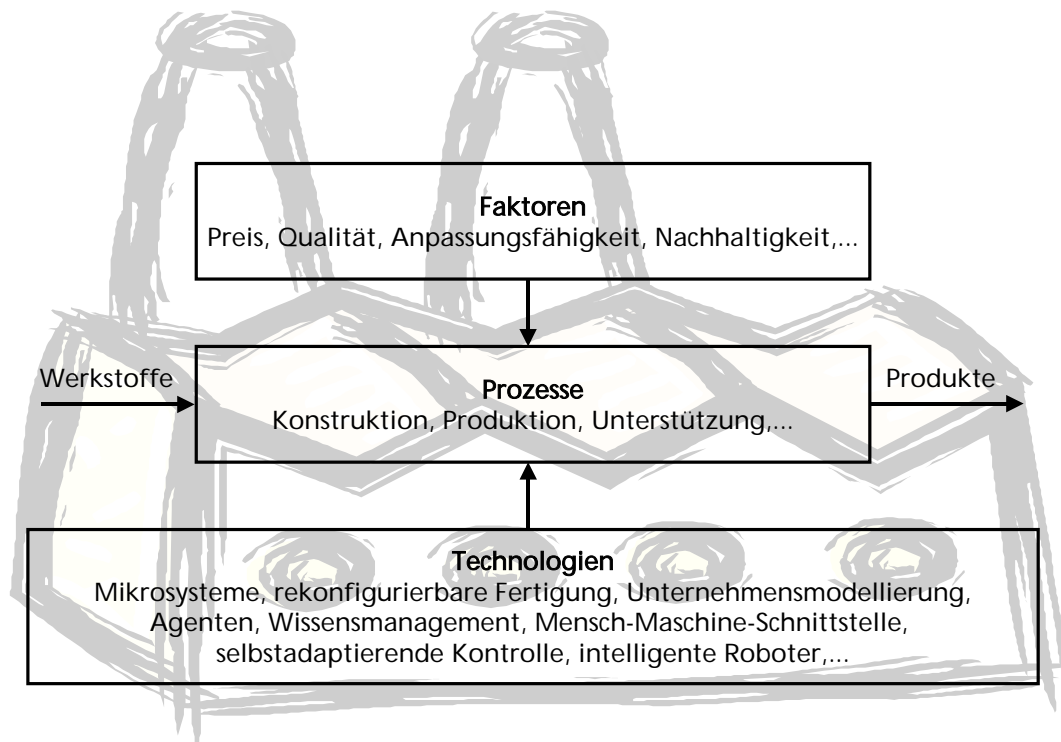
Aufgabenspektrum des Netzwerkes aus vier verschiedenen Aktivitätsbereichen:

1. Integration
2. Gemeinsam durchgeführte Forschung
3. Wissens- und Kompetenzverbreitung
4. Organisation

Das I\*PROMS Netzwerk umfasst das Forschungsgebiet Produktion und Herstellung /1/. Als Vision steht hier die zukünftige wissensbasierte, autonome Fabrik im Jahr 2020 im Blickpunkt. **Bild 1** stellt die Faktoren, Schlüsseltechnologien und Prozesse dar, die für die Definition einer modernen Fabrik relevant sind. Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung von Konzepten, Technologien und Verfahren, die eine Herstellung und Betrieb von intelligenten, benutzerfreundlichen und adaptiven Fertigungs- und Produktionssystemen ermöglichen mit der integrierten Unterstützung von fortschrittlichen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Entsprechende Systeme sollen auf unter anderem auf flexible und sich ändernde Kundenbelange, umweltbedingte Anforderungen, Vorgaben der Konstruktion, Material- /Prozess- / Personalverfügbarkeit reagieren können, um auch zukünftig hochwertige und kosteneffiziente Produkte zu fertigen.

Das Exzellenznetzwerk I\*PROMS hat das Ziel während der zunächst geförderten fünfjährigen Laufzeit zu einem international anerkannten und für die Industrie effektiven Kompetenzzentrum für den Produktionsbereich zu erwachsen. In der ersten Netzwerkphase werden die sechs „Manufacturing Challenges“ für 2020 adressiert, die da lauten Concurrent Manufacturing, Integration von menschlichen und technischen Ressourcen, Wandlung von Information zu Wissen, umweltgerechte Kompatibilität, Neugestaltung von Unternehmen und innovative Herstellungsprozesse und Produkte. Um eine Forschung auf diesen Gebieten verfolgen zu können wurde das Netzwerk in so genannte „Cluster“ aufgeteilt, um die Kompetenzen einzelner Partner/ Partnergruppen zu fokussieren und verstärken zu können sowie eine verbesserte Koordinierung zu ermöglichen.





**Bild 1:** Die autonome, wissensbasierte Fabrik der Zukunft

Detaillierte Forschungsaufgaben und –ziele sowie eine strategische Ausrichtung des Netzwerkes werden in den ersten zwölf Monaten der Projektlaufzeit festgelegt. Die Festlegungen finden basierend auf den Kernkompetenzbereichen der Partner innerhalb der vier Cluster statt. Aus diesen Anforderungen und Herausforderungen werden in dem Netzwerk Programme und Aktivitäten zu gemeinsam durchgeführten Forschungsaktivitäten abgeleitet und initiiert.

Die vier Cluster des I\*PROMS Netzwerkes sind aufgeteilt in:

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

Das Institut für Maschinenwesen ist dabei Partner in den beiden Clustern IDT und POM. Die Aufgabenbereiche der einzelnen Cluster werden im Folgenden näher erläutert.

## 2.1 Fortschrittliche Fertigungsmaschinen

Fortschrittliche Fertigungsmaschinen als Zielaspekt des APM-Clusters stellen die Arbeitskräfte der Fabrik der Zukunft dar. Dies schließt insbesondere Maschinen für die Be- und Verarbeitung neuer,

hoch performanter oder auch inkompatibler Werkstoffe, Rapid Prototyping und Rapid Tooling, Mikrofertigung sowie Fertigungsroboter (stationär und mobil) mit ein. Neben diesen anstehenden Forschungsaspekten, die eher „alleinstehend“ mit den sich entwickelnden Technologien verknüpft sind, beschäftigt sich dieser Cluster aber auch mit zwei wesentlichen, komplexen Technologien mit integrativem und netzwerkartigen Entwicklungscharakter:

- Multifunktionale Maschinen, zum Beispiel zur Be- und Verarbeitung von Bauteilen bestehend aus unterschiedlichen Werkstoffen, als auch bezüglich Akustik, Stabilität oder Verschleiß optimierte Maschinen sowie Mehrprozess- beziehungsweise Integrierte Maschinen, zum Beispiel Rapid Tooling als Bestandteil einer normalen Maschine.
- Konfigurierbare Maschinen sollen ein Höchstmaß an Anpassbarkeit an Anforderungen durch Anwender und Prozesse erfüllen. Dies soll vor allem mit der „Einpflanzung“ einer gewissen wissensbasierten Intelligenz in den Maschinen und derer Steuerung erzielt werden. So ist es zum Beispiel durch geeignete Sensorik und deren Steuerung möglich, dass die Maschine ihre Wartung autonom festlegt und anfordert. Damit soll auch der Konflikt mit den Spezialisierungsanforderungen bezüglich Produktionskosten und Zeitbeschränkung gelöst werden.

## 2.2 Fertigungsautomatisierung und –steuerung

Im Fokus des PAC-Clusters liegt die Fertigungsautomatisierung und –steuerung, die in der Fabrik der Zukunft den Aufgabenbereich der Vorarbeiter mit Beaufsichtigung der Maschinen und Kommunikation mit dem Management übernimmt. Dies schließt zum Beispiel selbstadaptierende Überwachung, adaptive Qualitätssicherung, agentenbasierte verteilte Architekturen, (Maschinen-) Wissensmanagement und die Mensch-Maschine Interaktion mit ein. Dies stellt teilweise eine Überlappung mit dem zuvor beschriebenen APM Cluster dar. Daher ist an dieser Stelle eine enge Kooperation erforderlich um die Maschinen intelligenter und selbständiger machen zu können. Dies ist vor allem für die folgenden Bereiche vorgesehen:

- Agenten-basierte Fertigungsautomatisierung ist der Grundgedanke der autonomen, gemeinschaftlichen Zusammenarbeit von Maschinen zur Fertigung eines Produktes. Dabei können die Maschinen selbstständig agieren und handeln, Arbeits- und Produktionsabläufe miteinander abstimmen, koordinieren und untereinander aushandeln.
- Selbstadaptierende Kontrolle steht in engem Zusammenhang mit der Autonomie von Agenten. Dies bezieht sich speziell auf den Bereich einer selbstständigen Regulierung beziehungsweise Verwaltung der Maschinen. Es schließt die Faktoren Selbstanpassung der Maschinenkontrollfunktionen sowie Selbstüberwachung der Maschinen, wie zum Beispiel Eigenwartung, automatisierte Diagnose, Fehlerüberwachung, mit ein.
- Die Mensch-Maschine Interaktion erlaubt es Menschen, effektiv mit (agenten-basierten) Maschinen zu interagieren. Dies bezieht sich auch auf multimodale/ multimediale und intelligente, benutzerfreundliche Schnittstellen in der Fertigung.

## 2.3 Innovative Konstruktionstechnologien

Die innovativen Konstruktionstechnologien des IDT-Clusters beziehen sich auf die Gestalter der Fabrik und derer Produkte der Zukunft. Die Schaffung bahnbrechender, anpassbarer, wertschöpfender Produkte verbunden mit den für deren Fertigung zu entwickelnden Maschinen und Systemen steht hier im Fokus. Zu diesem Bereich gehört das Produktwissensmanagement, das computergestützte Inno-

vationsmanagement und eine hochentwickelte, computergestützte Fertigung. Um die Schlüsselfaktoren Entwicklungskosten und Zeit bis zur Marktreife optimieren zu können, wird besonders auf die effiziente Einbindung des gesamten Produktlebenszyklus sowie die Fertigung in erweiterten Unternehmen Wert gelegt. Die vorläufigen Entwicklungsschwerpunkte sind hier:

- Das Konzept eines virtuellen Produktes soll höchstmögliche Parallelbearbeitung im Sinne eines Concurrent Engineering ermöglichen. Dies schließt insbesondere im Bereich der Produktentwicklung eine virtuelle, kollaborative Fertigungsumgebung ein, welche das gesamte Produktwissen über den Produktlebenszyklus beinhaltet. In einer solchen Umgebung kann ein Produkt entwickelt und in Bezug auf Vermarktbarkeit, Fertigung, Wartung, etc. „virtuell“ getestet werden. In einer solchen Umgebung werden Werkzeuge für bestimmte Aufgaben und Arbeitsschritte integriert zur Verfügung gestellt. Solche Online-Tools können direktes Feedback an die Entwickler geben, so dass diese schnell und effizient reagieren können.
- Konstruktionskomplexität ist ein Begriff, der in diesem Zusammenhang zwei Bereiche umfasst. Zum einen bezieht er sich auf die Produktkomplexität, zum anderen betrifft dies dann auch die Komplexität des Konstruktionsprozesses. Gerade die Prozesskomplexität verlangt nach einem Höchstmaß an Unterstützung durch den Computer, so dass sich alle Beteiligten in der Produktentwicklung auf ihre Kernaufgaben konzentrieren können. Beispiele in diesem Bereich sind Konstruktionsoptimierungsmethoden und -techniken, Lebenszyklusanalysen oder intelligente Unterstützung (AI, intelligentes CAD) des Konstruktionsprozesses.

## 2.4 Fertigungsorganisation und –management

Der Schwerpunkt des vierten Clusters POM liegt auf der zukünftigen Fertigungsorganisation und deren Management. Dies repräsentiert die Managementebene der Fabrik der Zukunft. Es umschließt die Bereiche Prozesssteuerung, Unternehmenssimulation und (Menschen) Wissensmanagement. Ziel sind strategische, produktbezogene Operationen vom ersten Entwurf bis zur Entsorgung eines Produktes. Die aktuellen Hauptthematiken in diesem Zusammenhang sind:

- Kosteneffiziente und kurzfristige Rekonfigurierung der Fabrik beinhaltet die Entwicklung von Strategien und Plänen zur kurzfristigen, selbstständigen Anpassung der Fabrik an ein sich änderndes Geschäftsfeld oder aktualisierte Kundenanforderungen. Dies muss schnell und effizient zu realisieren sein. Die Integration von geografisch verteilten Produktionsstandorten, die dynamisch zu einer virtuellen, autonomen Fabrik zusammengeschlossen sind, wird hierbei mit einbezogen.
- Die direkte Einbindung von technischen und vor allem menschlichen Ressourcen stellt einen immer bedeutenderen Faktor zur effektiven Kollaboration und Interaktion zwischen Mensch und Maschine dar. Die effiziente Integration von einem strategiegeleiteten Wissensmanagementansatz stellt dabei einen wesentlichen Erfolgsfaktor für die Unternehmen der Zukunft dar.

## 2.5 Allgemeine Netzwerkaktivitäten

Das I\*PROMS Exzellenzzentrum stellt den Knotenpunkt für Kompetenzverbreitung dar. Die wesentliche Zielvorgabe ist, der fertigen Industrie einen konstanten Wissens- und Wertzuwachs in den zuvor genannten Bereichen zu ermöglichen. Das Informations-Portal [www.iproms.org](http://www.iproms.org) /2/ dient dabei als Plattform für Kontakte beziehungsweise Wissensvermittlung und -austausch. Seminare und Workshops dienen als Informationsbörse vor Ort. Es besteht auch die Möglichkeit eines direkten Kontakts der Industrie mit dem Zentrum, um spezielle Veranstaltungen organisieren und durchführen zu lassen. Über die engen Verbindungen des Netzwerkes zu den neuen EU-Mitgliedsstaaten in Osteuropa kann eine Ausweitung in diese Regionen vorgesehen.

Die Organisationsstruktur des I\*PROMS Netzwerkes ist streng hierarchisch in drei Schichten aufgebaut. Das Governing Council (GC) legt Strategien zur Umsetzung und Implementierung fest. Das Executive Board setzt die Strategien des GC in der Praxis um. Für jedes der vorgenannten Cluster gibt es ein so genanntes Executive Committee, welches für das alltägliche Management der einzelnen Cluster zuständig ist. Zusätzlich dazu gibt es zwei beratende Gremien, das Scientific Council und das Industrial Council, welche sich aus renommierten Vertretern aus Forschung und Industrie zusammensetzen. Durch die zentrale Verwaltung mit fest

angestellten Vertretern ist eine effiziente Durchführung des Projektes sichergestellt.

## 3 Ausblick

Das Exzellenznetzwerk I\*PROMS ist generell offen für Institutionen aus allen Bereichen. Neben den 30 Kernpartnern können auch weitere Institutionen diesem Netzwerk beitreten. Dies können Industrieunternehmen, Forschungseinrichtungen, Autoren oder auch Körperschaften sein. Dadurch können diese beigetretenen Partner an neuen Forschungsinitiativen mitwirken, auch initiieren, an I\*PROMS Aktivitäten teilnehmen, Zugriff auf projektbezogene Dokumente und Reporte bekommen und Beziehungen zu Experten aus dem Netzwerk knüpfen. Das Netzwerk stellt somit auch eine Plattform für alle diejenigen dar, die nicht direkt zu den Kernpartnern gehören, sich jedoch der Bedeutung der Thematik bewusst sind und von der Expertise des Netzwerkes profitieren möchten.

## 4 Zusammenfassung

Dieser Artikel hat das Exzellenznetzwerk I\*PROMS, in dem das Institut für Maschinenwesen einer der Kernpartner ist, beschrieben. Der Aufbau und die Ziele des Projektes wurden erläutert. Die Bedeutung des Themas der Fabrik der Zukunft wurde unterstrichen sowie die Möglichkeit, als externer Partner diesem Netzwerk beizutreten und davon zu profitieren.

Das Exzellenznetzwerk I\*PROMS wird von der Europäischen Union im sechsten Rahmenprogramm unter der Vertragsnummer 500273-2 gefördert.

Wir bedanken uns bei unserem langjährigen Partner in Forschung und Entwicklung, dem Manufacturing Engineering Centre der University of Wales, Cardiff, für die Unterstützung.

## 5 Literatur

- /1/ Pham, D.T.; Eldukhri, E. E.; Peat, B.; Setchi, R.; Soroka, A., Packianather, M. S.; Thomas, A.; Dimov, S.: Innovative Production Machines and Systems (I\*PROMS) Network of Excellence: Funded by the EU's Sixth Framework Programme, Proceedings of the IDIN'04 conference, Berlin, 2004
- /2/ I\*PROMS Konsortium: Web-Portal des I\*PROMS Netzwerkes, <http://www.iproms.org>, 2004

## Unterstützung des Produkt-Lebenszyklus in Thailand und Malaysia - Erfolgreiche Kooperation zwischen Europa und Asien

Müller, D.

*EAPSTRA ist ein Kooperationsprojekt von Hochschulen aus Europa und Asien. Neuartige Methoden und Technologien der Domäne PLCS sollen eingeführt und demonstriert werden. Dabei soll das Bewusstsein für den Einsatz solcher Techniken im Bereich der Unterstützung und Wartung eines Produktes über den gesamten Lebenszyklus bei Lehr- und Forschungseinrichtungen und vor allem lokalen KMU in Malaysia und Thailand geschaffen werden. Ein Expertennetzwerk als Kontakt- und Diskussionsforum soll dies auch zukünftig unterstützen.*

*EAPSTRA is a co-operation of universities from Europe and Asia. Advanced methodologies and technologies of the PLCS domain shall be introduced and demonstrated. Thereby increasing the awareness amongst research institutions and primarily local SMEs in Malaysia and Thailand for implementation of such techniques for the support and maintenance of a product during the entire life-cycle. A network of excellence for contacts and discussions should support this also in the future.*

### 1 Einleitung

Das Institut für Maschinenwesen pflegt schon seit vielen Jahren intensive wissenschaftliche Kontakte zu Partnern aus dem ostasiatischen Raum. Nach mehreren Anläufen konnte erfreulicherweise eine neue Initiative, gefördert von der Europäischen Kommission, ins Leben gerufen werden. Das Projekt EAPSTRA – EurAsian Network for Product Lifecycle Support & Training (ASI/B7-301/3152-94/71548) wird im Rahmen der EU Programmkomponente Asia IT&C /1/ seit Beginn des Jahres 2004 unter der Leitung des Instituts für Maschinenwesen durchgeführt. Die Kooperation zwischen den europäischen Hochschulen aus Patras (Griechenland), Cardiff (Wales) und Clausthal (IMW), sowie den asiatischen Hochschulen aus Malaysia (Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru) und Thailand (School of Information Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok) zielt auf den Aufbau eines Netzwerkes für den Wissenstransfer im Bereich der IT-Unterstützung des Produkt-Lebenszyklus bezüglich fortschrittlicher Technologien und Forschungsergebnisse ab.

Im Rahmen des Projektes werden zunächst Techniken aus den Bereichen Künstliche Intelligenz, Intelligente Anleitungen, Computer-basiertes Training sowie Produktdaten / Lebenszyklus Management vorgestellt. Im Vordergrund sollen hier natürlich nicht einzelne Programme und Werkzeuge stehen, sondern die Vermittlung der allgemeinen Methodiken und Anwendungsmöglichkeiten der genannten Technologien.

Zielgruppe, neben den akademischen Institutionen, sind die Klein- und Mittelständischen Unternehmen (KMU) in den asiatischen Partnerländern. Die fortschrittlichen Technologien sollen ihnen näher gebracht werden und die Motivation für deren Einsatz geschaffen werden. Um dies zu erreichen, werden neben dem Aufbau der Informationsportale an den asiatischen Partnerinstituten auch sogenannte Technologie Demonstrations-Center (engl. Technology Demonstration Centre, TDC) installiert. Diese Zentren enthalten die notwendige Hard- und Software um vor Ort nicht nur die selbständige Vermittlung der Theorien einzuführen, sondern zusätzlich eine praktische und anschauliche Anwendung zu ermöglichen. Der Aufbau dieser Zentren wird bis zum Jahresende abgeschlossen sein.

Um die Anschaulichkeit der vorgestellten Anwendungen noch zu verbessern und überzeugender darstellen zu können, werden zusätzlich in Zusammenarbeit mit thailändischen und malaysischen KMU anhand realer Szenarios Pilotprojekte durchgeführt. Durch die Implementierung der Techniken vor Ort unter Einplanung notwendiger Anpassungen an die lokalen, asiatischen Gegebenheiten und Bedürfnisse wird auch ein praktischer Erfahrungstransfer zurück an die europäischen Partner ermöglicht, der eine Optimierung der Kooperation erlauben sollte.

Die Laufzeit des Projektes ist auf zwei Jahre festgelegt. Jedoch soll im Zuge des Netzwerkaufbaus eine Informations- und Kooperationsplattform etabliert werden, die auch über das Projektende hinweg weiter existieren wird, um für zukünftige Partnerschaften zwischen Asien und Europa als Kontaktbörse für einen weitergehenden Informationsaustausch zu dienen.

## 2 Produkt-Lebenszyklus Unterstützung

### 2.1 Definition

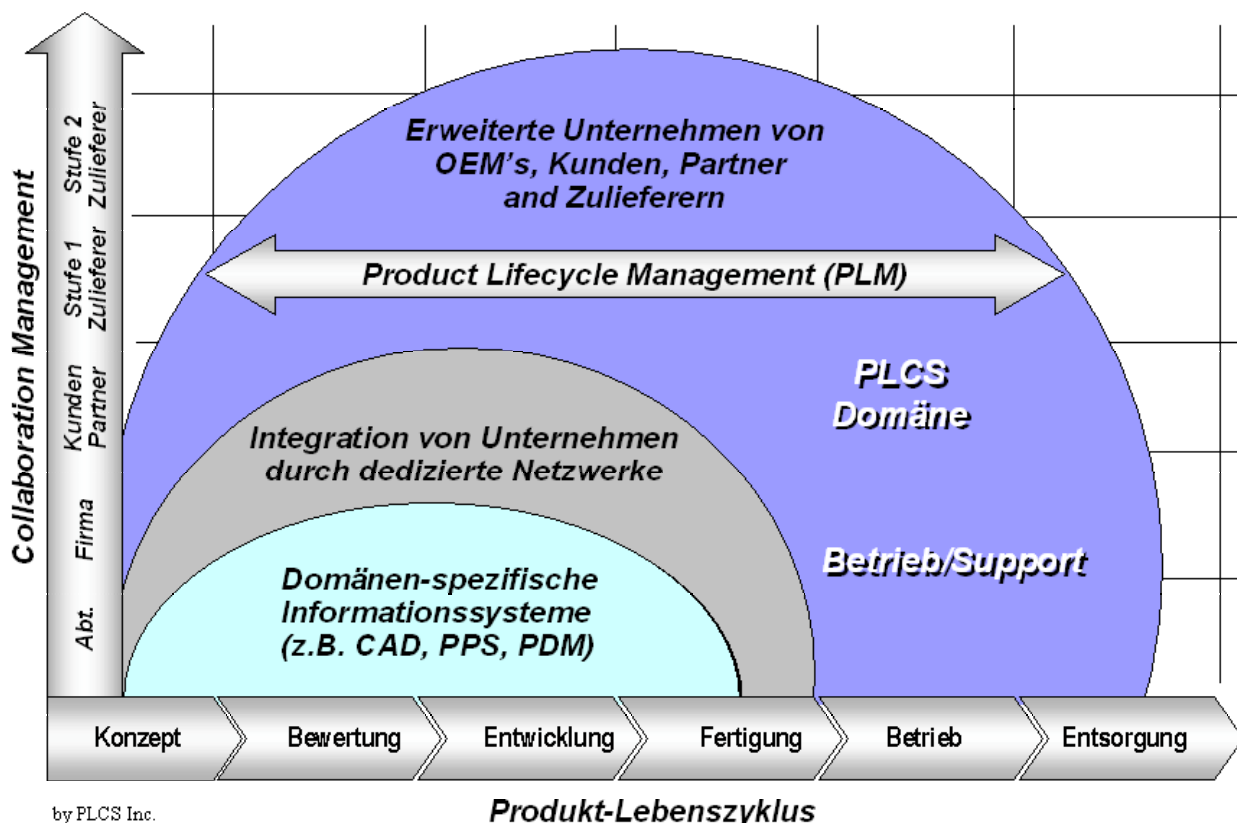
Wie auch schon bei domänen-spezifischen Konzepten und Anwendungen, wie z. B. ERP (engl. Enterprise Resource Planning) oder PDM (engl. Product Data Management), wurde auch für den Ansatz des Managements von Produktdaten und zugeordneter Informationen zur Unterstützung über den gesamten Lebenszyklus des Produktes vom Entwurf bis zur Entsorgung ein feststehender Term geprägt: PLCS (engl. Product Life Cycle Support). Das Konsortium PLCS Inc., das mit dem Ziel der Schaffung eines Datenaustauschstandards initiiert wurde, definiert PLCS entsprechend als „strategic business approach that applies the management of Product and Support Information from Concept to Disposal. PLCS will ensure, support information is aligned to the evolving product definition over the entire lifecycle“ /2/.

Dabei wird PLCS nicht als eine in sich abgeschlossene Anwendung gesehen, sondern als Domäne, die sich aus einzelnen Komponenten und Prozessen des Produkt-Lebenszyklus zusammensetzt, integriert in einem geschlossenen Konzept. **Bild 1** zeigt dabei die Zuordnung der PLCS Domäne über den gesamten Produkt-Lebenszyklus in Verbindung mit der Unterstützung von Internet-basierten Unternehmenskooperationen im Rahmen erweiterter

Unternehmen im Vergleich mit domänen-spezifischen Ansätzen. Würde man dabei den Produkt-Lebenszyklus zeitabhängig aufführen, wäre zu erkennen, dass vor allem die Betriebsphase den weitaus größten Anteil am Produktleben besitzt.

Allgemeine Funktionen, die der PLCS Domäne zugeordnet werden, sind z. B. Konfigurationsmanagement, Ressourcenmanagement, Konstruktion mit Einbeziehung des Supports, Wartung und Rückmeldung. Die internationale Standardisierungsinitiative zielt dabei auf eine Definition eines Austauschformates für die entsprechenden Produkt- und Unterstützungsinformationen des gesamten Produkt-Lebenszyklus ab, um eine standardisierte Möglichkeit der Verknüpfung der vielfältigen Funktionskomponenten und somit eine Realisierung des PLCS Konzeptes zu ermöglichen. Der ISO-Standard befindet sich derzeit in der Endphase seiner Entwicklung unter der Referenz ISO 10303 - STEP AP239 /4/.

Die Vorteile, die aus dieser zu implementierenden Sichtweise erwachsen, sind verbesserte Verfügbarkeit, verbesserte Qualität und Zugriff auf Informationen, verminderte Kosten für Beschaffung, Wartung und Lieferinformationen, Interoperabilität mit konsistenter Kommunikation, effektives Änderungsmanagement bzw. Produktkonfiguration und Flexibilität.



**Bild 1:** Definition PLCS und zugeordnete Bereiche (nach PLCS Inc. /3/)





**Bild 2:** EAPSTRA Kick-off Meeting in Clausthal

## 2.2 Komponenten in EAPSTRA

Da es sich beim PLCS Ansatz um ein umfassendes Geschäftskonzept handelt, das im Ganzen für die asiatischen KMU noch überdimensioniert und fern der Realisierung ist, beschränkt sich die Vorstellung und Einführung im Projekt auf einzelne Technologien aus der Domäne des PLCS.

Eine zentrale und leicht einführbare Komponente stellen dabei die sogenannten Intelligenten Produktanleitungen (engl. Intelligent Product Manuals, IPM) dar. Eine solche Anleitung basiert auf den Merkmalen:

- Elektronisch – Zugriff über PC auf CD-ROM oder Internet,
- Multimedia – Animationen, Video und Audio zur Benutzerunterstützung,
- Wissensbasiert – Expertensysteme zur Fehleranalyse.

IPM integrieren moderne Web- und Multimedia-techniken, um dem Anwender eine leicht verständliche und unterstützende Anleitung bzw. Trainingsmaterial zu dem Produkt an die Hand zu geben, die es ihm ermöglicht Installation, Bedienung und Wartung überwiegend selbständig auszuführen.

Als Beispiel für ein Fehleranalyzesystem wird die Fuzzy Fehler Diagnose (engl. Fuzzy Fault Diagnosis, FFD) angeführt. Ein solches System bietet Möglichkeiten für

- eine Evaluierung von Bedienfehlern des Operators,
- einen Rückschluss auf die Gründe einer Fehlfunktion, und
- eine Kontrolle/ Abgleichung von Bedienaktionen.

Eine Plattform, die auf dem entsprechenden FFD-System basiert, bietet eine neuartige Diagnoseform für Fehler mechanischer/ technischer Systeme, folgt dem vertrauten Diagnoseprozess von Symptom – Ursache – Regel und die Wissensbasis ist formell strukturiert somit einfach zu pflegen.

Um die Sicherung und Verwaltung von Produktdaten schon ab der Entwurfsphase zu realisieren, gehört auch das Produktdaten / -Lebenszyklus Management (PDM / PLM) zur eingebrachten Thematik. Ein solches System basiert auf Daten aus der PLCS Domäne und stellt eine kollaborative Umgebung für Benutzer dar, um die gesamten produktrelevanten Informationen über den kompletten Produkt-Lebenszyklus zu managen, zu verfolgen und zu überwachen.

Entsprechende Funktionen für Dokumentenmanagement, Produktstrukturmanagement, Klassifikation, Projektmanagement und Workflowmanagement u. a. sind in einem solchen System eingebettet.

### 3 Netzwerk

Das Projektkonsortium setzt sich, wie eingangs bereits erwähnt, aus drei europäischen und zwei asiatischen Universitäten zusammen. Die Zusammenarbeit dieser Institutionen hat sich bereits bei dem Vorgängerprojekt APoST /5/ bewährt. Seit dem Kick-off Meeting in Clausthal (**Bild 2**) wurden unter anderem eine Markt- und Produktanalyse durchgeführt, die Programmprioritäten festgelegt und die TDCs installiert. Somit ist das Projekt im Zeitplan und in der Lage, im zweiten Jahr vor Ort in Asien die Workshops und Demonstrationen durchzuführen.

Der Aufbau des Netzwerkes von Experten und Expertise der Domäne PLCS befindet sich derzeit im Aufbau. Bis zum Ende des Jahres sollte das zentrale Informationsportal „eapstra.org“ online sein. Neben dem zentralen Portal betreibt auch jeder asiatische Partner ein lokales Informationsportal (**Bild 3**), zum Teil in Landessprache, um einen direkteren Kontakt zu ermöglichen. Neben der Vermittlung von Know-how soll das Netzwerk als offenes, etabliertes Kontakt- und Diskussionsforum von Forschern und Experten sowohl aus Europa und Asien dienen. Interessierte sind dementsprechend herzlich eingeladen sich auf „eapstra.org“ zu registrieren und das Netzwerk mit Leben zu füllen. Das Institut für Maschinenwesen, vertreten durch den Autor, steht natürlich auch gerne als Kontaktpartner zur Verfügung.

### 4 Zusammenfassung

Das Kooperationsprojekt EAPSTRA zwischen europäischen und asiatischen Hochschulen hat den Wissenstransfer von fortschrittlichen Methoden und Technologien im Bereich der Unterstützung des Produkt-Lebenszyklus zum Ziel.



**Bild 3:** Informationsportale der asiatischen Partner /6,7/

Dabei sollen die asiatischen Hochschulen in die Lage versetzt werden, entsprechendes Know-how selbständig zu vermitteln, vor allem den lokalen KMU vor Ort. Zudem soll ein Netzwerk von Experten als Kontakt- und Diskussionsforum etabliert werden.

### 5 Literatur

- /1/ <http://www.asia-itc.org>; Web-Site des EU Asia IT&C Programms
- /2/ <http://www.plcsinc.org>; Web-Site der Standardisierungs-Initiative PLCS (STEP AP239)
- /3/ PLCS Inc.: Setting the Standard for Product Support, Powerpoint-Präsentation der PLCS Standardisierungs-Initiative, 2002
- /4/ <http://www.tc184-sc4.org>; Web-Site des ISO SC4
- /5/ <http://www.apost-project.org>; Web-Site des APoST Projektes
- /6/ <http://www.fkm.utm.my/~eapstra>; Lokales Informationsportal, Partner UTM, Malaysia
- /7/ <http://www.it.kmutt.ac.th/eapstra/>; Lokales Informationsportal, Partner KMUTT, Thailand

## Wissen anwenden

Müller, D.

*Der vorliegende Artikel diskutiert Sichten und Technologien zur Optimierung der Produktentwicklung. Ausführlicher werden dabei Wissensmanagement und Anforderungswesen betrachtet. Daraus abgeleitet wird eine Entwicklung von wissensbasierten Software-Agenten zur intelligenten Lösungsfindung motiviert.*

*The following article discusses views and technologies for optimisation of the product development. Knowledge Management and Requirement Engineering will be considered in detail. Derived from that the development of knowledge-based software agents for an intelligent solutions-finding is motivated.*

### 1 Die Situation

Nicht zuletzt die Probleme des Automobilherstellers Adam Opel AG, die im Herbst des Jahres 2004 die hiesigen Schlagzeilen beherrschten, haben erneut den anhaltend hohen Kostendruck auf die fertige Industrie aufgezeigt. Der globale Wettbewerb verlangt, sehr allgemein ausgedrückt, nach Qualität zu geringen Kosten und verkürzten Entwicklungs- und Produktionszeiten. Ein Unternehmen, das auf dem Markt bestehen möchte, muss heutzutage effektiv und flexibel agieren. Besonderer Bedeutung kommt dabei der Einbeziehung und Integration von modernen IT-Technologien und Architekturen in die Unternehmenslandschaft und Abläufe zu. Deren Entwicklung beeinflusst auch massiv die neuartigen Strukturen von Unternehmen und der Produktentwicklung. Erweiterte Unternehmen beziehungsweise Virtuelle Unternehmen setzen sich im Verbund aus (allen) an einem Produkt beteiligten Unternehmen und Personen wie z. B. Hersteller, Zulieferer, Service und Kunden zusammen. Sie definieren sich also produktbezogen und sind dynamisch. Das 'Collaborative Engineering' erhält in der verteilten Unternehmensumgebung immer mehr Gewicht. Zulieferer und weitere Entwicklungspartner werden in die Produktentwicklung eingebunden, was Mechanismen zum Austausch und zur Kontrolle von Produkt- und Prozessdaten erfordert. Die Einbeziehung von Unternehmen und Personen über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes von der ersten Idee bis zur Entsorgung verlangt ebenso

nach Methoden und Geschäftsprozessen zur Unterstützung der Haltung und Verfügbarkeit produktbezogener und –unterstützender Daten über entsprechenden Zeitraum und darüber hinaus, zusammengefasst unter den Überbegriffen 'Product Lifecycle Management (PLM)' und 'Product Lifecycle Support (PLCS)'.

Der Kosten- und Zeitdruck auf den Unternehmen sorgt dabei für aufwändige Untersuchungen zur Optimierung und Rationalisierung der Geschäftsprozesse. Die Ursachen- und Lösungsfindung zur Verbesserung der Wertschöpfung wird dabei intensiv und vielfältig betrieben. Gängige Maßnahmen zur Kostenreduzierung finden aber vor allem im Bereich der Produktion, sprich Personalkosten, statt. Langfristig gesehen löst dies aber nicht die eigentlichen Problematiken der Unternehmen. Die Produktion beinhaltet zwar mit bis zu 85% den größten Anteil an den anfallenden Herstellungskosten, aber bis zu 80% der zu zahlenden Gesamtkosten und 50% des Gesamtumsatzes werden in der Entwurfs- und Entwicklungsphase vorgegeben und festgelegt (Quelle: Baxton, Japan). Ein entsprechend der Anforderungen optimiertes Produktdesign birgt dementsprechend ein hohes Potential zur Beeinflussung der Kosten.

Diese Meinung vertritt auch Nicholas Dewhurst, Vize-Präsident von Boothroyd Dewhurst, Inc. in seinem offenen Brief an die U.S. Hersteller /1/. "Need to Cut Costs? Check your Design First" überschreibt er plakativ sein Positionspapier. Hinweisend auf das Jahr 1989, als schon einmal neue Methodiken in der Produktentwicklung mit immensen Einsparungen (bei Ford z. B. mehr als \$1,2 Mrd) in der U.S. Industrie gefördert wurden, vergleicht er diese Zahlen mit geschätzten Einsparungen bei den Personalkosten im Zuge von Ausgliederung der Fertigung in Billiglohnländer. Denn bekanntlich haben Personalkosten einen relativ geringen Einfluss auf die Produktgesamtkosten. Dewhurst folgert, dass im Falle von Einsparungen diese während des Entwurfes initiiert werden müssen. Er betont, dass die Entwicklung eines neuen Produktes Kreativität bedingt. Den Entwicklern sollte dabei ausreichend Zeit zur Lösungsfindung gegeben werden, da heutige Entwurfsprozesse oft zu hastig



und unstrukturiert sind. Zudem ist eine Verbesserung der multidisziplinären Kommunikation und der Austausch von Produktwissen für eine optimierte Produktspezifikation dringend von Nöten.

Dass dabei allein die Verfügbarkeit von Informationen und Wissen über Kommunikationsnetzwerke kein Allheilmittel ist, betont Professor Erik Brynjolfsson vom MIT (Cambridge) in seinem Strategiepapier zur Bewältigung der anfallenden Informationsflut /2/. Computer stellen in der Informationsverarbeitung keinen Ersatz der menschlichen Fähigkeiten dar. Sie dienen lediglich der Unterstützung. Neuartige IT-Konzepte und Architekturen sollten diesen Aspekt unbedingt im Auge behalten, um auch anwendbare Lösungen anbieten zu können. Brynjolfsson favorisiert dabei eine Doppelstrategie von Zentralisierung / Dezentralisierung der Informationen, abhängig von deren Art. Er unterscheidet dabei zwischen leicht integrierbaren Daten in zumeist numerischer Repräsentation, die relativ einfach von Rechnern verarbeitet werden können, und 'weichen' Informationen wie die Art der Kundenbeziehung, die dezentralisiert verbreitet werden. Dies bringt zumeist auch eine Verlagerung der Entscheidungskompetenz auf die Mitarbeiter 'Vor-Ort' mit sich. „Die Idee ist, die Entscheidungsfindung zu dezentralisieren, um die Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung besser zu nutzen – nicht die Kapazitäten der Informationsverarbeitung durch Computer. Ziel ist es, den Mitarbeitern den Kopf für anspruchsvolle Aufgaben frei zu machen.“ Bezieht man dieses auf die Produktentwicklung, könnte man ableiten, dass den Entwicklern feststehende Basisinformationen den Anforderungen entsprechend einfach und übersichtlich zur Verfügung stehen, damit sie genügend Raum für kreative Aufgaben und Ideen haben.

Recht ausgereifte Systeme für die Verwaltung und Organisation von Produktdaten, auch mit serviceorientierten Architekturen, sowie CAD Systeme erweitert mit Wissensmodulen existieren mittlerweile auf dem Markt. Die Flut der anfallenden Dateien bei der Einführung von CAD-Systemen in den 1980er Jahren bedingte die Entwicklung von Verwaltungssystemen. Neben der funktionellen Erweiterung von CAD-Systemen (z. B. Integration von Zeichnungsverwaltungssystemen) war vor allem die Einführung von PDM-Systemen von entscheidender Relevanz. Mit der Zunahme der Produktkomplexität und der Einführung von Engineering Prozessen (z. B. Simultaneous oder Concurrent Engineering) wandelten sich die PDM-Systeme zu Informationssystemen

für ein integriertes Daten- und Prozessmanagement. Bei beiden Systemen ist die Entwicklung in den letzten Jahren aber weiter rasant fortgeschritten. Die CAD-Systeme verwalten nicht mehr nur reine Geometriedaten. Virtuelle Test- und Wissensmodule ersparen erste Prototypenbauten und unterstützen den Konstrukteur in der Entwurfsphase. Die Entwicklungen zur Unterstützung des gesamten Produktlebenszyklus mit der Notwendigkeit entsprechender Datenerfassung und –verfügbarkeit über diesen Zeitraum und Unternehmensnetzwerke hinweg sowie Prozessen und Workflows zur Organisation und Steuerung sorgten für eine funktionelle Erweiterung der PDM-Systeme, dies dann auch unter der neuen Bezeichnung PLM (Product Lifecycle Management). Einige existierende Kopplungen von CAD und PLM Systemen wurden wie bei Catia V5 von Dassault Systèmes und SmarTeam direkt oder über Schnittstellen (Catia V5 und Agile PLM) realisiert.

Die Integration und wirkliche Umsetzung von PLM-Konzepten in den Unternehmen steckt zumeist noch in den Kinderschuhen. Dass der PLM-Ansatz mehr ist als nur der Produktentwurf und nicht nur im Bereich Produktionsgüter Relevanz hat, sondern auch im Bereich von Konsumgütern vielversprechende Unterstützung von Produktentwicklung und Produktion bietet, zeigt Beth Bachelder in ihrem Bericht /3/ auf. So entspricht die Umsetzung bei Karsten Manufacturing Co., einem Hersteller von Golfschlägern, „...taking the design and attaching all the various information related to that product – the market plan, design criteria, product specs, testing data, and other type of info...“. Ein weiteres Beispiel liefert Grimes Industrial Design Co. in Verbindung mit der Herstellung von Schuh-Skates. Im Detail werden hier frühzeitig die Neuentwürfe dem Geschäftsbereich Marketing und Verkauf zur Verfügung gestellt, mit der Möglichkeit des Einflusses und frühzeitiger Entwicklung von Vermarktungsstrategien. Innovation und verkürzte Erreichung der Marktreife liegen hier im Fokus.

## 2 Die Wissensgesellschaft

### 2.1 Innovation und Vision

'Wissen' ist das neue Schlagwort unserer Zeit. Das Kapital der Unternehmen liegt in ihrem Produktwissen. Dabei muss klar unterschieden werden, dass Produktwissen nicht einfach reine Daten oder Informationen sind. Selbst bei der Art des Wissens muss unterschieden werden. Explizites Wissen liegt

in einer formalisierten Form vor. Implizites Wissen beruht auf den Erfahrungen einer Person, zum Teil erweitert aus den kognitiven Fähigkeiten eines Menschen. Damit vor allem das implizite Wissen einem Unternehmen zur Verfügung steht und nicht mehr nur an die Person als Wissensträger gebunden ist, und somit auch nach dem Austritt der Person nicht verloren geht, gibt es vielfältige Untersuchungen und Implementierungen auf dem Gebiet des Wissensmanagements. Viele Anwendungen oder Programmmodule schmücken sich dabei mit dem Beiwort 'Wissen', werden dem aber entsprechend der Definition nicht gerecht. So hat z. B. Parametrisierung wenig mit Wissen gemein. Das Hauptproblem liegt in der Repräsentation des Wissens beziehungsweise wie es in ein formales Format überführt werden kann. Ein Wissensmanagementsystem sollte die Sicherung und Wiedergabe formalisierten Wissens unterstützen, und dies auch in einer verteilten Umgebung.

Neben der IT-technischen Problemstellung Wissen be- und verarbeitbar zu machen, wird aber oft die Frage nach dem 'Wie' das Wissen unterstützend in die Unternehmensprozesse eingebunden werden kann vernachlässigt. Denn z. B. dem Konstrukteur einfach eine Datenbank gefüllt mit Wissen an die Seite zu stellen, erhöht mit Sicherheit nicht allein die Effektivität.

„Was folgt auf 'Best Practices'?“ fragten sich auch die Teilnehmer des ProSTEP iViP Symposiums 2004, zusammengefasst in /4/. Ein Bezug zum Bekannten und Neuen ist nach Uwe Weissflog notwendig für nachhaltigen Erfolg bei der Produktentwicklung – die „Fähigkeit, Bekanntes effizient umzusetzen und Neues kreativ aus dem Unbekannten zu gestalten“. Henning Kagermann spezifiziert in /5/: „Aus der Fähigkeit, produktiv gegen Regeln zu denken und zu handeln, entstehen kreative Ideen. Eine Innovation entsteht dann, wenn sich diese neuen Ideen wirtschaftlich erfolgreich umsetzen lassen“.

Für die Schaffung von Innovationen ist Kreativität notwendig, das ist unbestritten. Bisherige Systeme die sich 'Wissen' auf die Fahne schreiben können dies aber noch nicht leisten. Die Funktionalität entsprechender Systeme beschränkt sich auf die Aufnahme und zur Verfügung Stellung von Wissen und darauf basierender Anwendungen bzw. Algorithmen. Neues Wissen wird nicht generiert.

Kann es überhaupt ein 'kreatives' Wissensmanagementsystem geben? Dieses Problem ist wohl zur Zeit noch nicht lösbar. Die globale Lösung sollte

zunächst auch nicht die Aufgabe sein, es macht wohl viel mehr Sinn sich auf Teildomänen zu konzentrieren, um gezielt 'intelligent' zu unterstützen.

## 2.2 PRIME

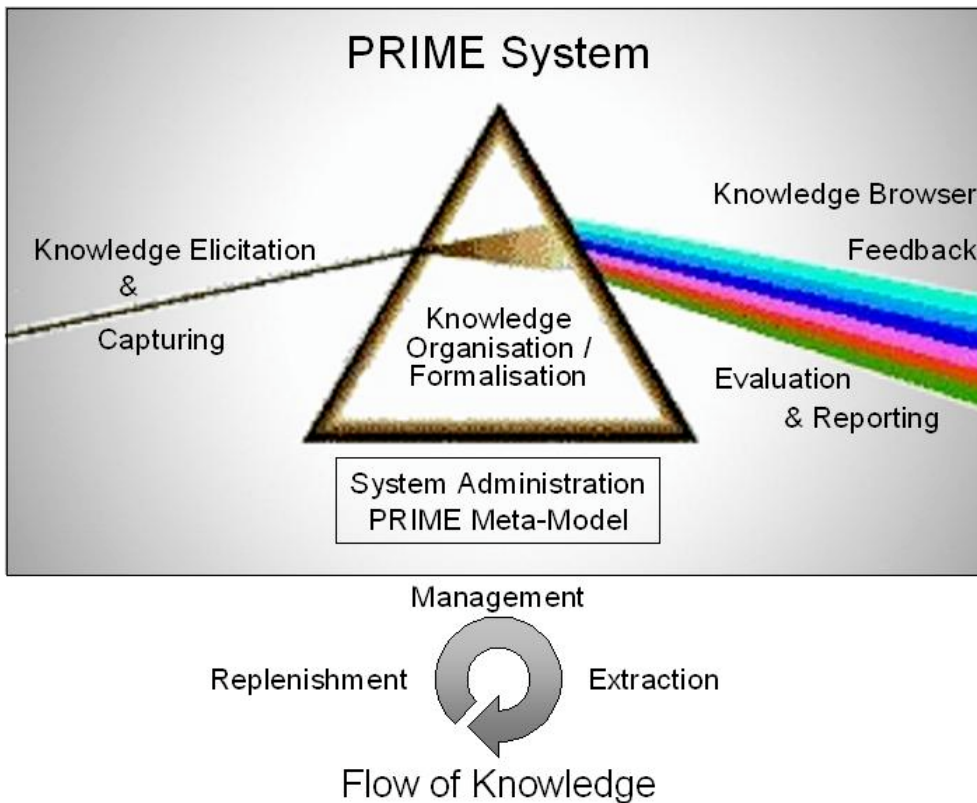
Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes PRIME – Product Integrated Knowledge Management for the Extended Enterprise gefördert von der Europäischen Kommission unter der Programmkomponente Growth (GRD1-2001-40408) hatte das Institut für Maschinenwesen einen maßgeblichen Anteil an der Entwicklung eines praktikablen Produktwissensmanagementansatzes für erweiterte Unternehmen, basierend auf industriellen Anforderungen unter Berücksichtigung der Akzeptanz aller am Produktlebenszyklus beteiligten Personen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf dem produktbezogenen Wissen aus allen Phasen des Produktlebenszyklus welches im Rahmen von erweiterten Unternehmen erfasst und ausgewertet werden kann, und dies halt auch über alle Lebenszyklusphasen von der Idee bis zur Entsorgung. Die Methodik wurde in einem öffentlich verfügbaren 'Workbook' /6/ zusammengefasst, das als Leitfaden für die Einführung des PRIME-Konzeptes angewendet werden kann. Einen Überblick über Aufbau und funktionale Komponenten des PRIME Wissensmanagementansatzes liefert **Bild 1**. Ausführlich wurde dieser Ansatz in der letztjährigen Ausgabe der Institutsmittteilung dargestellt /7/.

Eine prototypische Umsetzung des Konzeptes befindet sich zur Zeit in der Validierung. Generell kann man sagen, dass mit diesem Konzept eine Grundlage für ein verteiltes Wissensmanagement gegeben ist. 'Kreativität' bietet es noch nicht, darf aber als eine Wissensbasis aufgrund der modellbasierten Auslegung für zukünftige Entwicklungen auf dem Gebiet angesehen werden.

## 3 Ausgangspunkt Anforderungen

### 3.1 Anforderungswesen

Wenn ein Konstrukteur ein neues Bauteil entwirft oder eine Änderungskonstruktion durchführt hat er gewisse Vorstellungen von Funktion und Struktur des Endproduktes. Diese resultieren aus den existierenden Anforderungen, die auf Basis des persönlichen Wissens interpretiert werden. Eine strukturierte Vorgehensweise beim Entwickeln und Konstruieren empfiehlt die VDI 2221 /8/. Zum ersten Arbeitsschritt gehört dort das Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung, um z. B. Vorfixierun-



strukturiert. Transformation der Anforderungen (Formalisierung) in eine modellbasierte Repräsentation ermöglicht eine systemtechnische Auswertung und Bearbeitung der Anforderungen. Mit Hilfe eines Wissensmanagementsystems wurden die so aufbereiteten Anforderungen z. B. auf Inkonsistenz oder Vollständigkeit überprüft. Eingesetzt im Kommunikationsprozess zwischen Hersteller und Kunde ermöglicht dieser Ansatz eine schnellere, fehlerfreie Angebotserstellung und optimierte Grundlage für die Produktentwicklung.

**Bild 1:** PRIME Wissensmanagementansatz

gen zu vermeiden und nur die relevanten Vorgaben zu identifizieren. Daraus resultierend entsteht eine Anforderungsliste, die in den weiteren Arbeitsschritten angepasst werden muss. Bei Kundenaufträgen gibt dieser seine erwarteten Spezifikationen zumeist in textueller Form an, ergänzt durch verbale Kommunikation. Die Beschreibung von Anforderungen in einem natürlich sprachlichen Format birgt aber Problematiken, wie u. a. Unvollständigkeit, Fehlinterpretation, Inkonsistenz.

Ein Anforderungsprozess deckt folglich die drei Dimensionen Spezifikation, Repräsentation und Verständigung ab. Dabei wird die allgemeine Behandlung von Anforderungen ohne Bezug zu einer spezifischen Disziplin als Anforderungswesen (engl. Requirement Engineering) bezeichnet.

Untersuchungen auf dem Gebiet des Anforderungswesens gibt es am Institut für Maschinenwesen seit Mitte der 1990er Jahre. Eine Verknüpfung von Wissensmanagement und Anforderungswesen wurde im EU-Projekt KARE – Knowledge Acquisition and sharing for Requirement Engineering (EP 28916) realisiert [9]. Ein methodischer Ansatz und prototypische Umsetzung einer wissensunterstützten Verwaltung / Organisation von Produkthanforderungen für komplexe Produkte wurde in dem Projekt entwickelt. Natürlich sprachliche Einzelanforderungen werden systemtechnisch übernommen und

geboten und optimierte Grundlage für die Produktentwicklung.

### 3.2 Konfigurations- und Änderungswesen

Anforderungen und Produktspezifikation, vor allem bei komplexen Produkten, sind nicht zwangsläufig konstant während der Entwicklungsphase, im Gegenteil Änderungen sind eher unvermeidlich und ein bedeutender Bestandteil der Produktentwicklung. Die Gründe dafür sind vielschichtig: Fehler in Entwicklung oder Planung, veränderte Schnittstellenparameter, aktualisierte Kundenanforderungen, veränderte Marktsituation, veränderte Schnittstellenparameter u. a.

Mit Hilfe des Konfigurationsmanagements besteht die systematische Möglichkeit einer Identifikation der Produktkonfiguration zu einem diskreten Zeitpunkt während des Produktlebenszyklus um Erfüllung, Vollständigkeit und Verfolgbarkeit der aktuellen Konfiguration verifizieren zu können. Auftretende Inkonsistenzen lösen auch die Notwendigkeit einer Änderung aus.

Schon kleine Änderungen können immense Auswirkungen im Entwicklungs- und Fertigungsprozess bewirken. Das Änderungswesen (engl. Engineering Change Management, ECM) regelt, organisiert und dokumentiert den Änderungsdurchlauf. Nach Hirsch

und Trautheim ist ein Änderungsdurchlauf allgemein in fünf Phasen gegliedert (siehe **Bild 2**). Besonders der Kommunikationsprozess zur Verhandlung von Änderungsantrag (engl. Engineering Change Request) und Änderungsauftrag (engl. Engineering Change Order) bedingt eine eindeutige Strukturierung, Steuerung und Synchronisation. Die standardisierte Durchführung entsprechender Prozesse zur Beurteilung von Anträgen und zur Bearbeitung von Änderungsaufträgen lässt sich durch Workflowsysteme steuern und unterstützen.

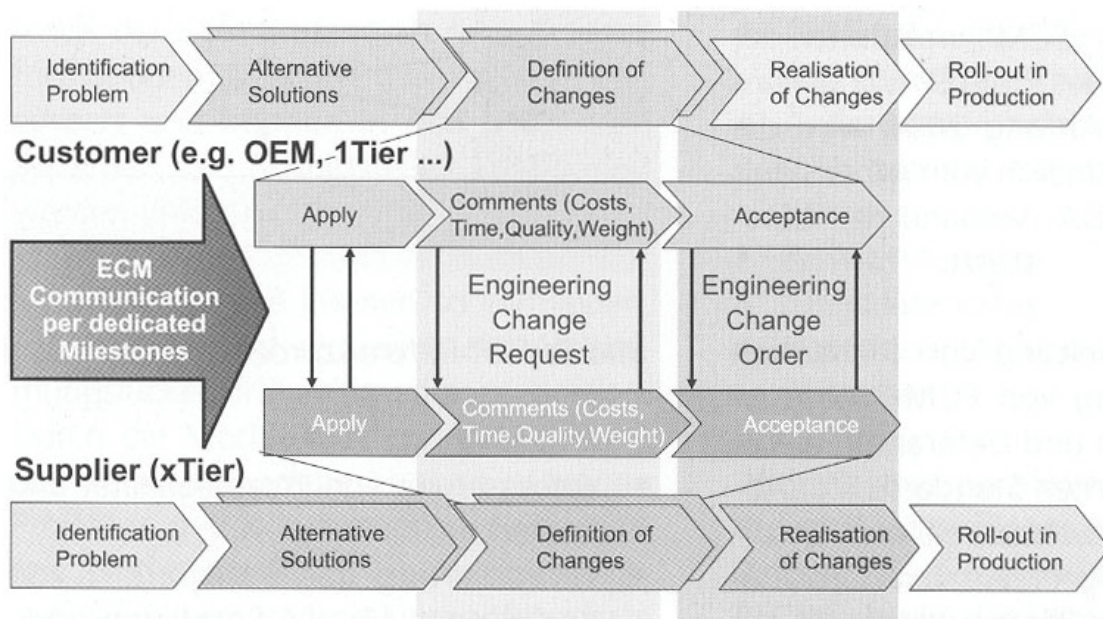
Der allgemeine Prozess des Änderungswesens weist eine Verwandtschaft zum Ablauf des Anforderungswesens auf, kann u. U. auch als eingebetteter Anforderungsprozess angesehen werden, da letztendlich auch hier ein Abgleich mit Anforderungen durchgeführt wird.

#### 4 Intelligente Lösungsfindung

In der Diskussion der Thematiken und Problematiken der vorangegangenen Abschnitte konnte immer wieder ein Bezug zu den Anforderungen eines Produktes und deren konstruktive Umsetzung aufgezeigt werden. Ein kritischer Abschnitt im Bereich des Anforderungswesens ist die Identifikation und Verifizierung von Anforderungen z. B. im Rahmen der Bestimmung und Durchführung von Tests und Testroutinen für die Validierung unterschiedlicher Anforderungen in bezug auf deren Umsetzung. Dies ist ein höchst wissensintensiver Prozess. Dieser Prozess erfordert ein detailliertes Verständnis von Schlüsselfunktionen und -eigenschaften des

neuen Produktes, das durch die Anforderungen spezifiziert wird, der verfügbaren Fertigungstechnologien, Prüftechnologien sowie Produktionsanlagen und Einrichtungen u. a. Ein Abgleich des Entwurfes mit den vorgegebenen und definierten Anforderungen in bezug auf Konsistenz und Erfüllung wird derzeit IT-technisch eher stiefmütterlich unterstützt. Konsequenterweise besteht auf diesem Gebiet der Bedarf einer Entwicklung von Methoden und Anwendungen, die einen strukturierten, wissensgetriebenen Ansatz zur Testspezifikation, Überprüfung und Auswertung von Anforderungen erlauben. Mit der unterstützten Spezifizierung und Durchführung von Testszenarien können z. B. relevante Konstruktions- und Schnittstellenparameter identifiziert und synchronisiert werden, schon während der Entwicklung Simulationen oder Konfigurationsanalysen durchgeführt werden und frühzeitig notwendige Änderungen initiiert werden. Dies verspricht erhebliche Kostenreduzierungen durch eine optimierte, ausgereifte Produktspezifikation in verkürzter Entwicklungszeit.

Einen Schritt weiter gedacht könnte sich ein entsprechender Ansatz nicht nur auf einen 'statischen' Soll-Ist-Abgleich beschränken, sondern den Konstrukteur bei der Lösungsfindung im Entwurfsprozess aktiv (wissensbasiert) unterstützen und leiten. Wie zuvor beschrieben beschränken sich derzeitige Wissens- und Anforderungssysteme eigentlich auf die Aufnahme und Verwaltung entsprechender Objekte. Integrierte Expertensysteme, zumeist regelbasiert, reproduzieren mehr oder weniger scharf Systemzusammenhänge auf Basis des konzeptu-



**Bild 2:** Allgemeine Phasen des ECM und Kommunikation /10/

ellen, qualitativen Verständnisses des Programmierers. Wissen wird in dem Sinne nur abgebildet jedoch nicht angewendet und erweitert. Eine gewisse Autonomie in ihrem Verhalten besitzen die 'Intelligenten Software-Agenten', so genannte Rechnerprogramme innerhalb einer definierten Software-Umgebung mit dem Ziel der Unterstützung von Benutzern bei bestimmten Aufgabenstellungen. Software-Agenten haben die grundsätzliche Eigenschaft einer Orientierung am menschlichen Verhalten. Sie ermöglichen eine natürliche Interaktion, besitzen also eine gewisse Intelligenz, und sollen sich wie ein persönlicher Assistent verhalten und formulierte Aufträge selbstständig abarbeiten. Vor allem in den letzten Jahren hat sich das Anwendungsgebiet der Software-Agenten beträchtlich ausgeweitet /11/.

Modellbasierte Anforderungs- und Wissensrepräsentationen, wie sie in den zuvor genannten Forschungsprojekten KARE und PRIME definiert wurden, könnten für speziell zu entwickelnde Intelligente Software-Agenten die Informationsbasis repräsentieren, um darauf z. B. Lösungssuchen, Analysen und Bewertungen durchzuführen. Ein mögliches Anwendungsszenario wäre eine autonome Anforderungsanalyse zur Ableitung von Rahmenbedingungen und Entwurfsansätzen, um dem Konstrukteur exakt das notwendige Wissen für seine Entwurfstätigkeit zur Verfügung zu stellen. Der Konstrukteur erhält mehr Raum für seine kreative Arbeit. Weiterhin wäre auch eine interaktive, entwurfsbegleitende Konsistenzanalyse während des Entwurfsprozesses in bezug auf die vorgegebenen Anforderungen denkbar. Somit könnten frühzeitig Fehlentwicklungen aufgedeckt oder vermieden werden, aber auch Entwicklungsrichtungen vorgeschlagen werden.

Ein entsprechendes Agenten-System wäre in den allgemeinen Konstruktionsprozess zu integrieren und auch in verteilten Umgebungen einsetzbar. Wie kreativ so ein System bei einer Lösungsfindung wirklich sein kann ist offen. Es besitzt aber auf jeden Fall das Potenzial um den Konstrukteur von administrativen Aufgaben zu befreien und ihn wissensbasiert im Konstruktionsprozess zu unterstützen und zu lenken.

## 5 Zusammenfassung

In der fertigen Industrie wird stetig nach Einsparpotentialen gesucht. Die Produktentwicklung ist dabei maßgeblich für die Festlegung der Herstell-

ungskosten verantwortlich. Der vorliegende Artikel diskutierte verschiedene Sichten und Technologien zur Optimierung des Produktentwicklungsprozesses.

Der Ansatz eines wissensbasierten Anforderungswesens, wobei Intelligente Software-Agenten auf Basis modellbasierter Wissens- und Anforderungsrepräsentationen zur Suche, Analyse und Bewertung eingesetzt werden, verspricht dabei ein hohes Potential zur intelligenten Unterstützung des Konstrukteurs bei der Lösungsfindung und Produktdefinition.

## 6 Literatur

- /1/ Dewhurst, N.: Need to Cut Costs? Check Your Design First, Offener Brief an die U.S. Hersteller, September 2004
- /2/ Brynjolfsson, E.; Den Kopf frei für anspruchsvolle Aufgaben, Strategiepapier, <http://www.sapinfo.de/public/en/articlelist.php4/Author-1727740b6098533234>, Juni 2004
- /3/ Bacheldor, B.: Deeper Than Designs, <http://www.informationweek.com/story/showArticle.jhtml?articleID=26806195>, Information Week, August 2004
- /4/ Weissflog, U.: Was folgt auf „Best Practices“?, ProduktDaten Journal Nr.2, November 2004
- /5/ Kagermann, H.: Editorial SAP INFO 119, August 2004
- /6/ PRIME Konsortium: PRIME Workbook, PRIME download area: <http://www.prime-project.org/deliverables.html>, 2003
- /7/ Düsing, C.; Müller, D.: A Knowledge Management approach for the Extended Enterprise, Institutsmitteilung Nr. 28, IMW Clausthal, 2003
- /8/ VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, VDI Verlag, Düsseldorf, 1993
- /9/ KARE Konsortium: KARE Website, <http://www.imw.tu-clausthal.de/kare>
- /10/ Hirsch, H.; Trautheim, A.: Engineering Change Management – abgestimmte, partnerübergreifende Prozesse, ProduktDaten Journal Nr.2, November 2004
- /11/ Keller, H.: Maschinelle Intelligenz – Grundlagen, Lernverfahren, Bausteine intelligenter Systeme, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 2000



## Erweiterung der Fertigungsmethoden für Systeme aus topologisch selbstverzahnten Elementen

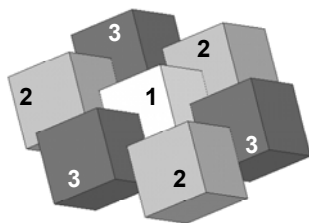
Söver, A.

Das Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik entwickelt unter der Leitung von Prof. Dr. rer. nat. habil. Juri Estrin sogenannte „topologisch selbstverzahnte Elemente“. Dies sind Körper mit einer spezifischen Form und Struktur, welche, in einer bestimmten Weise angeordnet, eine steife Struktur bilden, die besondere Eigenschaften besitzt. Das IMW untersucht in Zusammenarbeit mit dem IWW, wie die Fertigungsmethode der Elemente und ganzer topologisch verzahnter Systeme verbessert werden kann.

The Institute for Material Science and Technology headed by Prof. Dr. rer. nat. habil. Juri Estrin develops "Interlocked Elements". The interlocked elements are small elements with a certain shape and structure which, in a specific arrangement, build a stable structure. The IMW in cooperation with IWW looks into new ways to design and manufacture these interlocking structures.

### 1 Einleitung

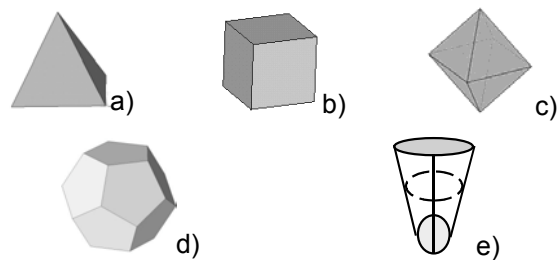
Seit ca. vier Jahren werden am IWW topologisch selbstverzahnte Strukturen untersucht. Das Prinzip dieser Verzahnung besteht darin, dass Körper allein auf Grund des Formschlusses, ohne weitere Verbindungsmittel, zusammen halten. Jedes Einzelelement einer solchen selbstverzahnten Struktur wird von seinen Nachbarelementen gehalten **Bild 1**. Die lose aneinander liegenden Randelemente werden durch einen Rahmen gehalten, der die Gesamtstruktur gezielt beeinflussen kann **Bild 3**.



**Bild 1:** Anordnung der Würfelemente  
1 - Zentralelement  
2,3 - Nachbarn

Wie man in **Bild 1** sehen kann, wird das Zentralelement (1) von seinen Nachbarn (2 und 3) in allen drei Richtungen festgehalten. Die Elemente für die selbstverzahnten Strukturen können verschiedene

Geometrien haben, wie z.B.: Tetraeder (a), Würfel (b), Oktaeder (c), Dodekaeder (d), rohrförmige Körper (e) u.s.w. **Bild 2**.

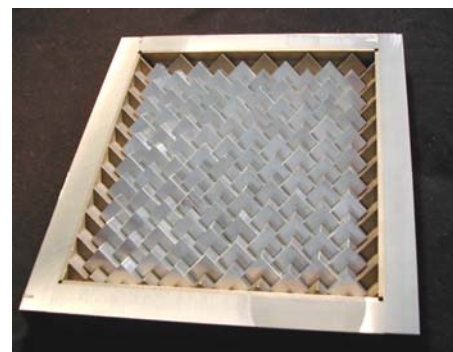


**Bild 2:** Geometrie der Elemente

Durch die Wahl der Geometrie kann man die Komplexität und die Eigenschaften der Struktur variieren. Einige Elemente lassen sich einfach zusammenbauen, andere brauchen eine spezielle Grundplatte. Ein Rahmen, der die Struktur zusammenhält, wird immer benötigt. Da die Elemente in den verzahnten Strukturen nicht mechanisch miteinander verbunden werden, können sie ihre zugehörigen Freiheitsgrade bei der Bewegung eines Festkörpers behalten. Dies führt zu einer besonderen Elastizität der Struktur.

### 2 Topologisch selbstverzahnte Struktur aus Würfelementen

In **Bild 3** ist eine topologisch selbstverzahnte Struktur aus Würfelementen dargestellt. Der Rahmen der Struktur soll die letzte Reihe der Elemente in alle Richtungen festhalten.



**Bild 3:** Struktur aus Würfelementen

Zur Herstellung einer Verbundlage aus Würfelementen wird eine bestimmte Grundplatte (Muster) benötigt, in die man die Elemente einsetzt und mit dem Rahmen einspannt.

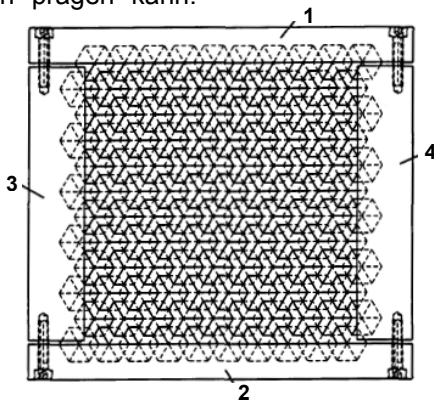
Die Rahmenteile der Struktur sind sehr wichtige Bauteile, da sie alle Elemente zusammen halten und durch ihre einspannende Wirkung die ganze Struktur beeinflussen. Wegen der Anordnung der Elemente müssen die Rahmenteile so eine Form haben, dass sie mit der letzten Reihe der Elemente zusammenpassen. Dies führt zu einer komplizierten Geometrie des Rahmens. **Bild 4** zeigt eine Grundplatte und die zugehörigen Rahmenelemente.



**Bild 4:** Grundplatte und Rahmen der Würfelstruktur  
Bis jetzt ist das Rapid Prototyping die einfachste und schnellste Methode, diese komplexen Elemente (Grundplatte und Rahmen **Bild 4**) herzustellen. Durch das schichtweise generierende Lasersintern der Strukturelemente ist es möglich, die am Computer entwickelten Bauteile unmittelbar in reale Elemente umzusetzen.

### 3 Fertigung durch Elektroerosionsverfahren

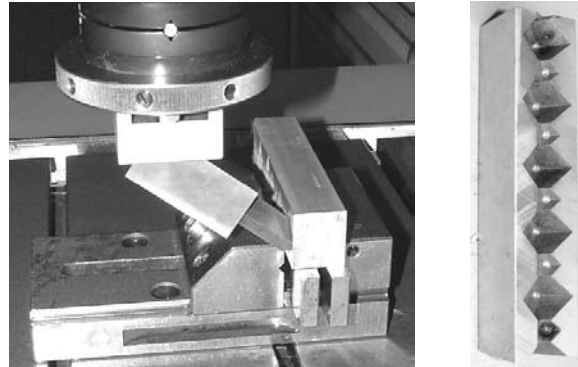
Ausgehend davon, dass die Elemente (hier Würfel) eine einfache Geometrie haben, wurden am IMW andere Herstellungsmöglichkeiten untersucht. Dabei geht es um Verfahren, die jeder Firma zur Verfügung stehen und die auch günstiger sind. Eine solche Fertigungsmethode kann das Funkenerosionsverfahren sein, welches durch eine Elektrode die Würfelgeometrie kopieren und in den Rahmen "prägen" kann.



**Bild 5:** Struktur aus Würfелеlementen - Skizze

In **Bild 5** ist eine 2D-Zeichnung der Würfelstruktur dargestellt. Erkennbar ist, dass Rahmenteile 1 und

2 symmetrisch sind, genau wie Rahmenteile 3 und 4. In **Bild 6** kann man den Funkenerosionsprozess sehen, welcher mit einer Elektrode arbeitet, die das gleiche Profil und die Abmessungen wie ein Würfel der Struktur hat.



**Bild 6:** Erodieren des Rahmens (Links); Gefertigtes Element des Rahmens (Rechts)

In **Bild 6** rechts ist ein am IMW angefertigtes Rahmenteil 3 (vgl. **Bild 5**) dargestellt. Es kann die gleiche Elektrode für alle vier Rahmenteile benutzt werden, was viel Arbeit, Zeit und Kosten spart.



**Bild 7:** Zusammenbau der Würfelstruktur

Die Würfelemente lassen sich nun ohne Hilfe einer Grundplatte in den Rahmen einsetzen. **Bild 7**

### 4 Zusammenfassung

Die am IMW untersuchte Fertigungsmethode für die Rahmenteile durch Funkenerosion zeigt besondere Vorteile bei der Herstellung der topologisch selbstverzahnten Strukturen. Sie stellt einen anderen, günstigen Weg zur Herstellung der Strukturen dar. Durch die Benutzung des gleichen Werkzeugs und das Umgehen einer Grundplatte ist das Elektroerosionsverfahren eine hervorragende Fertigungsmethode. Die Zusammenarbeit zwischen IMW und IWW hat sich als sehr fruchtbar erwiesen und wird weiter vertieft.

### 5 Literatur

- /1/ Estrin, J.: Bauen ohne Mörtel. Materialarchitektur eröffnet neue Werkstoffpaarungen und -eigenschaften, TU-Contact Nr. 9, TU-Clausthal, 2001

# Konzeption und Bau eines Prüfstandes zur Ermittlung des Körperschallübertragungsverhaltens von Wälz- und Gleitlagern

Backhaus, S.

*Im Rahmen eines Forschungsprojekts der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA), gefördert von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) wurde am Institut für Maschinenwesen ein Prüfstand zur messtechnischen Ermittlung der Körperschallübertragungseigenschaften von Wälz- und Gleitlagern entwickelt und gebaut.*

*Within the scope of a research project of the Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) funded by the Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) the Institut für Maschinenwesen developed a test bed to identify the transfer functions of journal and rolling element bearings.*

## 1 Problemstellung

In der heutigen Zeit müssen viele Produkte unter dem Aspekt des Lärm- und Geräuschverhaltens optimiert werden. Das Maschinengeräusch kann aber erst in sehr späten Phasen der Produktentstehung lokalisiert und quantifiziert werden. Daher werden in vielen Firmen Simulationsprogramme zur Abschätzung bzw. Berechnung der Schallpegel angewendet, um möglichst frühzeitig und damit kostengünstig eine Ermittlung des Gesamtschallverhaltens vorzunehmen. Aufgrund von oft komplexen Systemzusammenhängen wie beispielsweise in Wälz- und Gleitlagern lassen sich diese Elemente

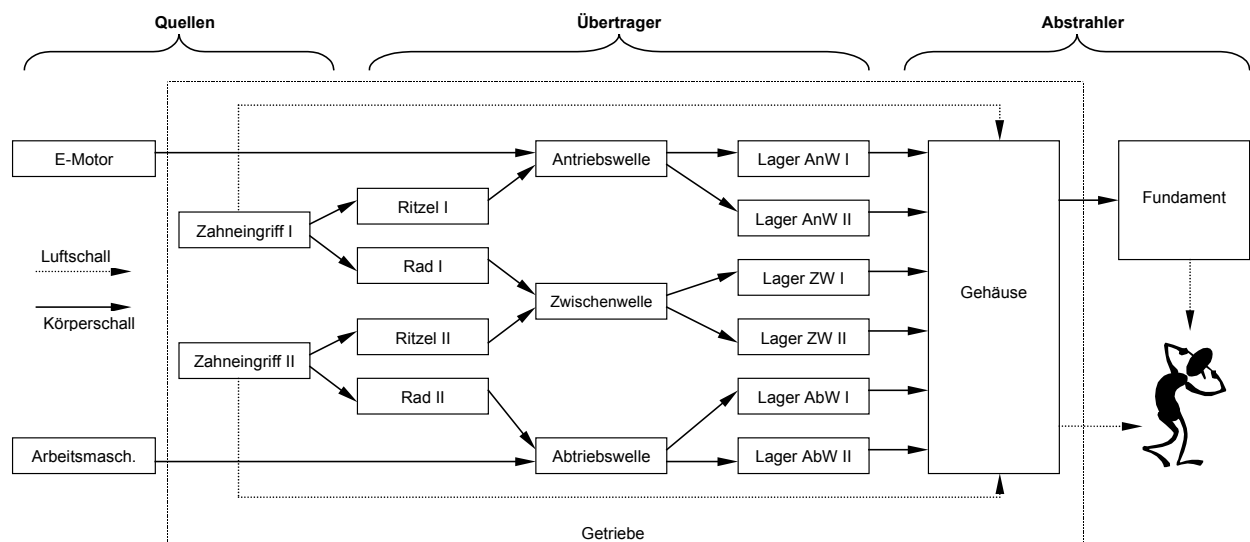
nicht einfach simulieren, sondern müssen durch Übertragungsparameter ersetzt werden.

Die genaue Kenntnis der Übertragungsfunktion der Lager ist von großer Bedeutung, weil diese im direkten Schallfluss von der Quelle (Zahneingriff) zur abstrahlenden Fläche (Gehäuse) liegen. Damit ist ihr Schallübertragungsverhalten maßgeblich für das Gesamtschallverhalten.

## 2 Zielsetzung

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Erweiterung des Stands der Technik im Bereich der Körperschallübertragung von Getriebelagern. Durch die experimentelle Ermittlung der Übertragungsfunktion von der Welle über das Lager in das Gehäuse soll das Gesamtschallverhalten von Antriebskomponenten wie Getrieben besser abgeschätzt und einer Modellrechnung zugeführt werden können.

Das Vorhaben sieht Untersuchungen an unterschiedlichen Wälz- und Gleitlagerbauarten unter verschiedenen Randbedingungen vor. Ausgehend von den theoretischen Grundlagen soll nach parameterorientierten Versuchen und anschließender Auswertung eine umfassende Zusammenstellung dieser Übertragungsfunktionen für verschiedene Lagertypen und Betriebsparameter vorliegen. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der experimentellen Erfassung der Übertragungsfunktionen nach



**Bild 1:** Schallflussdiagramm eines zweistufigen Getriebes mit An- und Abtrieb



der Vierpolsystematik. Damit ist es messtechnisch möglich, Übertragungsmatrizen für Kraft und Schnelle zu ermitteln, die alle Einflussgrößen wie zum Beispiel Drehzahl, Vorlast, Schmierung, Einspannsteifigkeit etc. erfassen.

### 3 Prüfstandskonzept

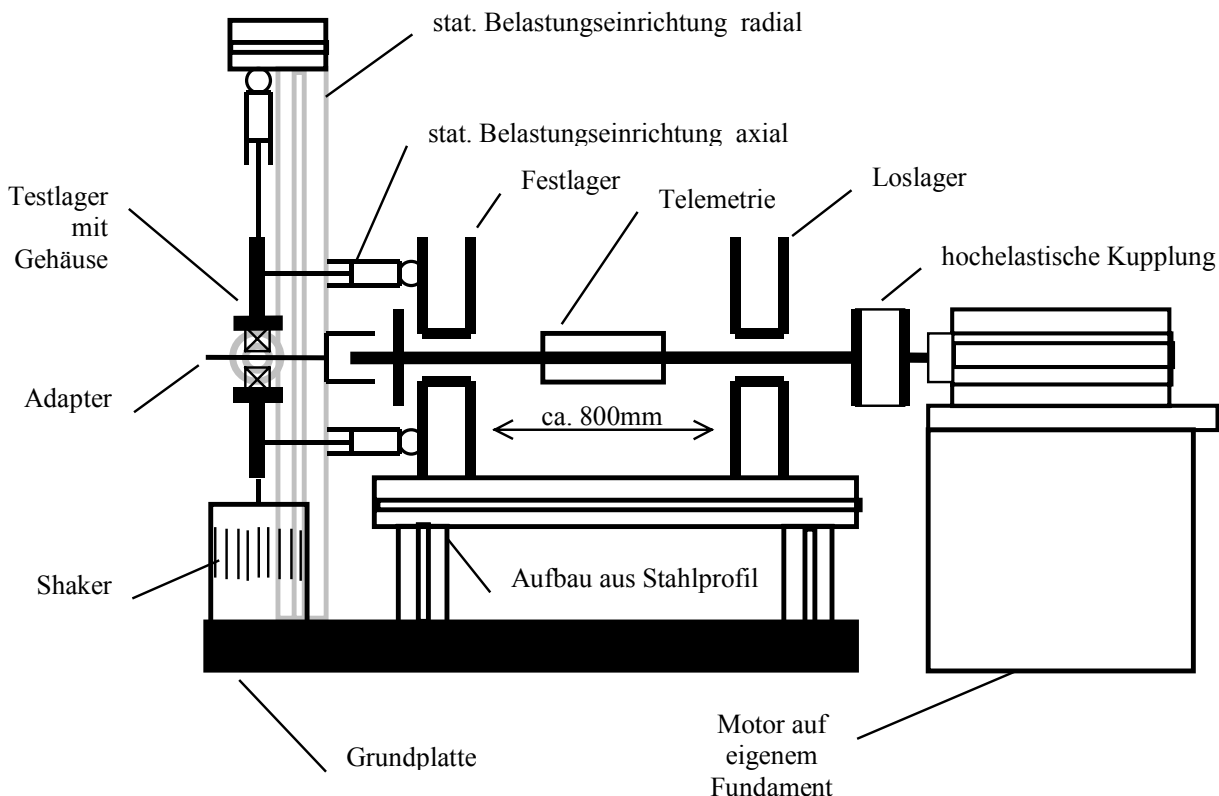
Um einen guten Überblick über die Körperschallübertragungseigenschaften von Lagern zu bekommen, muss es möglich sein, verschiedene Arten und Größen von sowohl Wälz- als auch Gleitlagern untersuchen zu können. Aus diesem Grund wurde der Versuchsstand so konzipiert, dass die zu untersuchenden Lager auf einem auswechselbaren Wellenadapter montiert werden, der wiederum überkragend an der Hauptwelle des Prüfstandes angebracht wird. So wird eine gute Zugänglichkeit zu den Lagern gewährleistet und sichergestellt, dass sie schnell und sicher ausgewechselt werden können, vergleiche **Bild 2**. Darüber hinaus ist man durch die Austauschbarkeit des überkragenden Wellenadapters flexibel bei der Lagerauswahl. Je nach Bedarf können verschiedene Wellenadapter für verschiedene Lager eingesetzt werden.

Um die Wälz- und Gleitlager bei betriebsnahen Bedingungen untersuchen zu können, ist es wichtig, ein weites Spektrum möglicher Betriebszustände zu realisieren. Aus diesem Grund wurde der Prüfstand

so konzipiert, dass die Lager mit bis zu 80 kN radial und mit bis zu 40 kN axial statisch belastet werden können. Die Drehzahl der Prüflager sollte in einem Bereich zwischen 50 und 6000  $\text{min}^{-1}$  stufenlos verstellbar sein.

Um einen möglichst anregungsarmen und damit eigengeräuscharmen Lauf des Prüfstandes zu gewährleisten, wurden die Hauptlager als hydrodynamische Gleitlager mit hydrostatischer Unterstützung ausgelegt. So wird das gesamte zu untersuchende Drehzahlband bei maximaler Belastung der Prüflager gewährleistet. Das ist notwendig, um die von der Betriebslast und der Drehzahl abhängigen Lagergeräusche des Testmusters ohne Störungen aus der Umgebung zu erfassen.

Zur Einkoppelung der Körperschallanregung wurden mehrere Möglichkeiten diskutiert. Eine direkte Erregung der Welle mit einem Shaker würde der Realität am nächsten kommen, da das dem natürlichen Schallflussweg entspricht, siehe **Bild 1**, bei dem der Schall von der Welle durch die Lager auf das Getriebegehäuse geleitet wird. Es erwies sich jedoch als zu aufwändig ein drittes Gleitlager auf der Prüfstandshauptwelle zu montieren, das die Anregung des stationären Shakers an die Welle ankoppelt. Zusätzlich steht dem eine prinzipielle Beschränkung durch die Mechanik zugrunde: die hohe



**Bild 2:** Konzeptskizze des Prüfstandes

Masse, die dieses Gleitlager aufgrund des großen Wellendurchmessers haben müsste, wirkt als Impedanzsprung und reduziert mit der entstehenden Tiefpasseigenschaft die Kraftamplitude für hohe Frequenzen. Zusätzlich würde der Fluidfilm eine weitere unerwünschte Dämpfung der Erregung hervorrufen.

Aus diesem Grund wird der umgekehrte Weg, unter Zugrundelegung linearen Übertragungsverhaltens der Prüflager in beiden Richtungen, also vom Innenring zum Außenring und umgekehrt, eingeschlagen. Trifft diese Bedingung zu, ist es möglich, das Gehäuse (hier die Lagerplatte) anzuregen, in dem das Testlager befestigt ist, und die Übertragungsfunktion als inversen Quotienten aus der Gehäuseantwort zur Wellenanregung zu berechnen.

#### 4 Realisation

Um einen besonders "fremd"-schwingungsarmen Betrieb während der Messung der Übertragungseigenschaften der zu untersuchenden Lager zu gewährleisten wurde der Prüfstand als stehende Konstruktion auf zwei getrennt voneinander elastisch

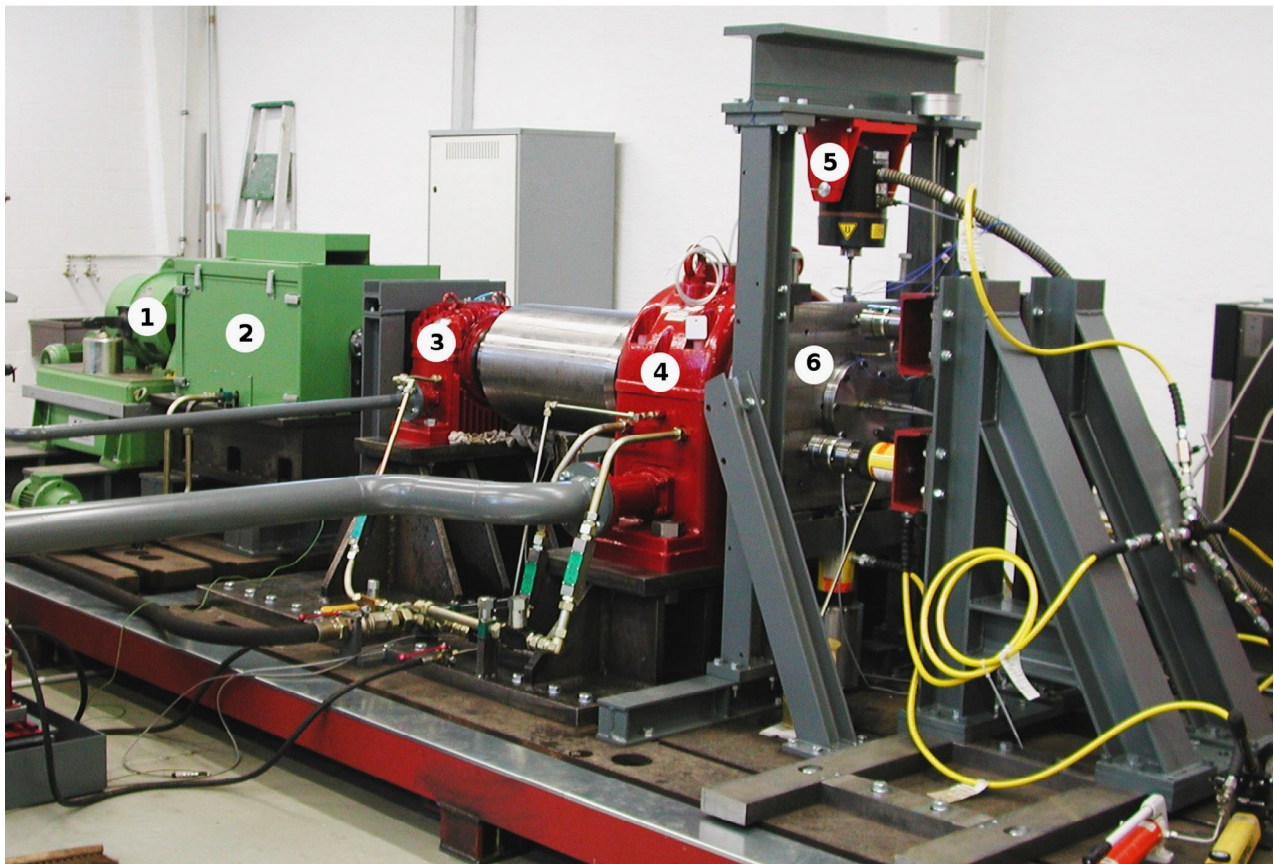
gelagerten Fundamentplatten aus Stahlguss aufgebaut.

Zur Entkopplung von antriebsseitigen Schwingungen stehen Motor (**Bild 3, 1**) und Untersetzungsgetriebe (**Bild 3, 2**) auf einer der Fundamentplatten und sind nur über eine Ausgleichkupplung mit der Prüfstandshauptwelle verbunden.

Als Antriebsaggregat wird ein stufenlos drehzahlsteuerbarer Elektromotor in 250 Hz Ausführung eingesetzt, der Drehzahlen zwischen 0 und 15000  $\text{min}^{-1}$  bei einer maximaler Leistung von 75 kW realisieren kann. Zur Reduzierung der Wellendrehzahl auf maximal 50 bis 6000  $\text{min}^{-1}$  und zur Erhöhung des an der Prüfstandshauptwelle anliegenden Drehmomentes wird ein schaltbares Untersetzungsgetriebe eingesetzt.

Auf der zweiten Fundamentplatte befindet sich die Prüfstandshauptlagerung bestehend aus einer Radial- (**Bild 3, 3**) und einer Radial-Axial-Gleitlager-einheit (**Bild 3, 4**).

Die Ölversorgung der Gleitlager ist getrennt vom eigentlichen Prüfstand aufgebaut. Sie besteht aus



**Bild 3:** Prüfstand zur messtechnischen Ermittlung der Körperschallübertragungsfunktionen von Wälz- und Gleitlagern. 1 Hauptantrieb, 2 Untersetzungsgetriebe, 3 und 4 Prüfstandshauptlagerung (3 Radialgleitlager, 4 Radial-Axial-Gleitlager), 5 elektrodynamischer Schwingerreger, 6 Lagerplatte, 7 Radial-, 8 Axialbelastungsgestell

einer Niederdruck- sowie einer Hochdruckversorgung und einem Kühlaggregat. Aufgrund ihrer Auslegung erlaubt die Prüfstandshauptlagerung Wellendrehzahlen zwischen 50 und 6000 min<sup>-1</sup> bei einer maximalen radialen Belastung der Prüflager von 80kN sowie einer axialen Belastung von 40kN.

Um einen außerordentlich ruhigen, torsionsschwingungsarmen Lauf der Prüfstandshauptwelle zu realisieren, wurde diese besonders massiv ausgeführt.

Neben der Prüfstandshauptlagerung und der Prüfstandshauptwelle besteht der eigentliche Prüfaufbau aus der Lagerplatte und den Radial- und Axialbelastungseinheiten sowie der Körperschallanregung und der Auswertesensorik ebenfalls auf der zweiten Fundamentplatte.

Die zu untersuchenden Prüflager sind über einen austauschbaren Wellenadapter, der als auskragendes Element vor dem Radial-Axial-Gleitlager (**Bild 3, 4**) läuft, mit der Prüfstandshauptwelle verbunden.

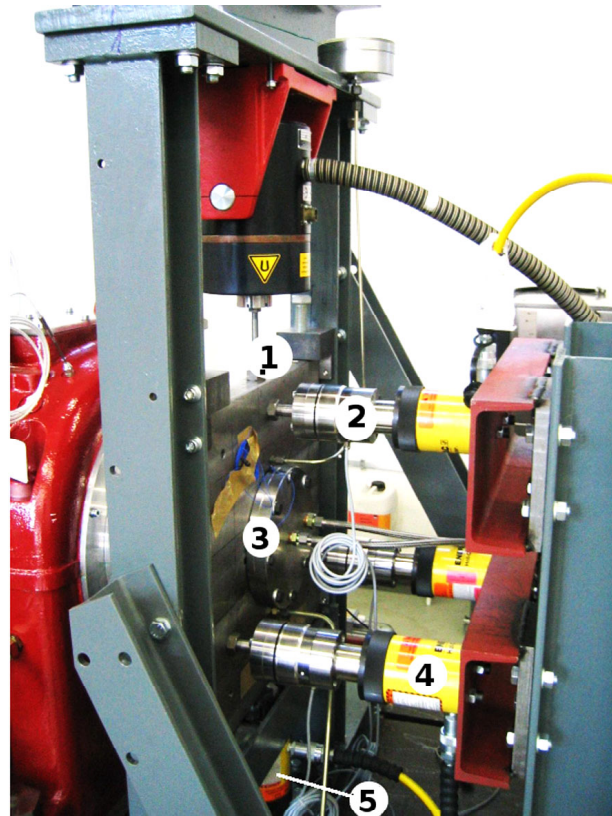
Eingebaut werden die Lager in eine massive Lagerplatte (**Bild 3, 6**), die als Ersatz für den Gehäuseausschnitt, beispielsweise eines Getriebes, dient.

Mit Hilfe eines elektrodynamischen Schwingerregers (**Bild 3, 5**) wird die Lagerplatte frequenzselektiv dynamisch erregt.

Über die Lagerplatte können die Prüflager statisch radial mittels eines Hydraulikzylinders (**Bild 4, 5**) mit bis zu 80kN sowie axial über drei einzeln ansteuerbare Hydraulikzylinder (**Bild 4, 4**) mit bis zu 40kN belastet werden. Während der Versuche werden die statischen Belastungen mit Hilfe von Kraftmessdosen (**Bild 4, 2**) überwacht.

Um sicher zu stellen, dass die maximale Schiefstellung zwischen Innen- und Außenring des Lagers nicht mehr als eine Winkelminute beträgt, wird die Lagerplatte nach dem Austausch eines Lagers genau zur Welle ausgerichtet. Darüber hinaus wird die Position der Platte während der Versuche permanent kontrolliert.

Das jeweilige Prüflager wird während der Tests mit einem definierten Ölvolumenstrom versorgt. Da die Lager und die verwendeten Schmieröle auch unter verschiedenen Temperaturen getestet werden, verfügt der Lagerdeckel (**Bild 4, 3**) über einen integrierten Wärmetauscher, der die Umgebung der Wälzlager auf eine festgelegte Temperatur einstellt. Bei den Gleitlagerversuchen wird der eingesetzte Schmierstoff auf eine zuvor festgelegte Temperatur geregelt.



**Bild 4:** Blick auf den eigentlichen Prüfaufbau. 1 Ankopplung des elektrodynamischen Schwingerregers an die Lagerplatte, 2 Kraftmessdose, 3 Wärmetauscher, 4 Hydraulikzylinder axial, 5 Hydraulikzylinder radial

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes "Dynamisches Übertragungsverhalten von Lagern im akustisch relevanten Frequenzbereich" der FVA, gefördert durch die AiF wurde am Institut für Maschinenwesen ein Prüfstand zur messtechnischen Ermittlung der Körperschallübertragungsfunktionen von Wälz- und Gleitlagern gebaut. Der Prüfstand erlaubt es verschiedenste Arten und Größen von Wälz- und Gleitlagern unter einem weiten Bereich betriebsnaher Randbedingungen auf Ihre Körperschallübertragungsfunktionen hin zu untersuchen.

## 6 Literatur

- /1/ Dietz, P.; Backhaus, S.: Dynamisches Übertragungsverhalten von Lagern im akustisch relevanten Frequenzbereich, Forschungsvorhaben 404, Körperschallübertragung Wälzlager / Gleitlager, Informationstagung des Wissenschaftlichen Beirats der FVA, Würzburg, 2004;

## Berührbare akustische Benutzerschnittstellen

Düsing, C., Rolshofen, W.

*Seit Beginn des Jahres ist das Institut für Maschinenwesen Partner in einem europäischen Forschungsprojekt zur Entwicklung von berührbaren Benutzerschnittstellen auf der Basis akustischer Signale. Unterschiedliche Methoden und Techniken werden in diesem Ansatz erprobt und evaluiert. Dieser Artikel beschreibt Zielsetzungen und Lösungsansätze des Projektes.*

*The Institute for Mechanical Engineering of Clausthal University of Technology is one of the partners of an EU funded project concerning the development of tangible acoustic interfaces. Different methods and techniques are tested and evaluated within this context. This article briefly describes the goals and approaches of the project.*

### 1 Einführung

Mensch-Maschine Schnittstellen lassen sich generell in zwei Arten unterteilen, berührbare oder nicht berührbare Schnittstellen. Die weitaus größte Anzahl von Schnittstellen zählt zu der Art der berührbaren wie zum Beispiel Maus, Tastatur oder touchpad. Das Hauptproblem dieser Schnittstellen ist jedoch zumeist, dass sie die Mobilität des Benutzers einschränken, so dass man sich während der Interaktion in der Regel an bestimmten Orten in der Nähe des Computers aufhalten muss.

Neben reiner Spracherkennung, die zu Anwendungen der nicht berührbaren Schnittstellen gehört, stellen Sensortechnologien auf der Basis akustischer Signale einen vielversprechenden Ansatz zur Entwicklung neuartiger Schnittstellen dar. Das EU-Forschungsprojekt TAI-CHI (**T**angible **A**coustic **I**nterfaces for **C**omputer **H**uman **I**nteraction), in dem das Institut für Maschinenwesen einer der Forschungspartner ist, befasst sich exakt mit dieser Aufgabenstellung. Weiterführende Informationen zu diesem Projekt wird in /1/ und /2/ gegeben. Wie können physikalische Objekte, egal ob flach wie ein Tisch oder dreidimensional und komplex wie ein Igel, als natürliche, unbeschränkte Berührungsschnittstellen funktionieren. Das Ziel muss es sein, durch eine entsprechende Sensorik und die Auswertung der Signale die Brücke zwischen der virtuellen und physikalischen Welt zu schließen.

Das akustische Signal kann auf zwei Arten untersucht werden. In der aktiven Methode wird das Objekt durch Klopfen, Schlagen oder Kratzen in Schwingung versetzt, die durch Sensoren aufgezeichnet wird. Im Gegensatz zur passiven Methode, wo das Untersuchungsobjekt künstlich zu Schwingungen im Ultraschallbereich angeregt wird. Bei Berührung der Objektoberfläche wird die „Dämpfung“ des Anregungssignals an den Sensoren gemessen. Gelingt die Entwicklung einer entsprechenden Methodik, einschließlich Sensorik und der Algorithmen, in diesem Projekt, so ist es prinzipiell möglich, jedes physikalische Objekt als Schnittstelle zu benutzen. Dies könnte der Tisch in einem Restaurant sein, um das Essen zu bestellen, oder der Boden einer Lagerhalle, um dem Logistiksystem zu sagen, wo etwas gelagert worden ist, oder die Mittelkonsole des Autos, um das Radio blind zu steuern. Die Möglichkeiten scheinen relativ unbegrenzt, ebenso wie die industriellen Anwendungsfälle. Das Projekt befasst sich im Detail mit den weiteren Forschungsbereichen des akustischen Verhaltens verschiedener Medien, der Entwicklung neuartiger und günstiger Sensoren, der Erforschung und Neuentwicklung von akustischen Signalbearbeitungsalgorithmen und der Entwicklung intelligenter, berührbarer Schnittstellen.

### 2 Methoden

In diesem Projekt werden vier prinzipiell unterschiedliche akustische Verfahren und Methoden untersucht. Aus den oben veranschaulichten, möglichen Anwendungsfällen ergeben sich für den Betrachter eine Vielzahl verschiedener Randbedingungen, welche von Fall zu Fall variieren. Sicherlich mag es möglich sein, sich für den Fall flacher und homogener Objekte auf eine Methode beschränken zu können, jedoch stößt man bei der Variation allein dieser beiden Parameter schnell an die Grenzen einzelner Methoden. Daher werden hier vier unterschiedliche Methoden untersucht und analysiert, um ein möglichst breites Anwendungsfeld abdecken zu können. Diese Methoden werden im Folgenden kurz beschrieben und erläutert, ebenso wie der Aspekt der Entwicklung von Senso-



ren und entsprechender Hardware für die Endbenutzer.

Das Laboratoire Ondes et Acoustique (LOA) in Frankreich untersucht die akustische Signalanalyse auf Basis der time-reversal Methode. Der Ansatz, welcher hier benutzt wird, bezieht sich auf die Eindeutigkeit der Impulsantwort in einer chaotischen Senke. Daher wäre es prinzipiell möglich, eine solche Senke mit nur einem Sensor zu erfassen. Aus Gründen der Exaktheit werden in der Regel jedoch mindestens zwei Sensoren eingesetzt. Die Hauptforschungsschwerpunkte liegen hier in der Entwicklung eines mathematischen Modells, basierend auf den Eigenmoden, welches den Anforderungen, die aus dem Projekt erwachsen, genügen. Zusätzlich dazu soll eine praktikable 2D/3D Modellierung helfen, die akustische Wellenausbreitung zu charakterisieren.

Die Universität Politecnico Milano (PoliMi) untersucht, inwieweit die Auswertung von Laufzeitdifferenzen an verschiedenen Empfängern dazu benutzt werden kann, um die Signalquelle zu bestimmen. Dieses Verfahren ist unter Seismologen weitestgehend bekannt und wird zur Lokalisierung von Erdbeben seit Jahrzehnten angewandt. Nun gilt es, dies auf andere Randbedingungen anzupassen und die Parameter in den Algorithmen entsprechend zu modifizieren, so dass es auch auf kleinere Objekte effizient angewendet werden kann.

An der Universität Birmingham (UNI BHAM) wird das Verfahren der akustischen Holographie in Luft untersucht. Dabei werden akustische Quellen in der Luft mit sogenannten Mikrofonarrays aufgezeichnet. Ähnlich der bekannten optischen Holographie ist es möglich, durch bestimmte Algorithmen ein dreidimensionales Bild parallel zur Aufnahmeebene zurückzuprojizieren. Im akustischen Bereich gibt dies Aufschluss über die Verteilung der akustischen Signale im dreidimensionalen, luftgefüllten Raum. Die Hauptforschungsaufgabe liegt darin, ein mathematisches Modell zu entwickeln, welches detailliert genug ist, um die Quelle relativ exakt im dreidimensionalen Raum zu bestimmen ohne jedoch zu komplex für eine Implementierung in ein Echtzeitsystem zu sein.

Am Institut für Maschinenwesen (IMW) wird das Verfahren der akustischen Holographie für die Schallausbreitung in festen Medien untersucht. Im Gegensatz zu dem zuvor beschriebenen Verfahren, ist dies bislang recht wenig erforscht und findet nur wenig Anwendung. Hauptaugenmerk der Untersuchungen liegt in der Betrachtung der Veränderung

von Geschwindigkeiten und Frequenzen in festen Medien sowie dem Einfluss verschiedener Objekteigenschaften. Verschiedene Sensoranordnungen für die unterschiedlichen Anwendungsfälle werden untersucht. Dies soll sowohl für aktive und passive Verfahren ermöglicht werden. Der folgende Abschnitt 3 wird dies detaillierter beschreiben.

In der University of Wales, Cardiff (UWC), werden Sensoren für die Aufnahme akustischer Signale in festen und gasförmigen Medien für die entsprechenden Anwendungsfälle entwickelt. Für dreidimensionale Objekte sollen Sensoren auf Basis polarisierter fluoropolymerer, polyvinylidener Fluoride entwickelt werden. Diese können als flexible, dünne und leichte Schichten ähnlich einem Klebestreifen gefertigt und verwendet werden. Dadurch werden die mechanischen Eigenschaften der Objekte beim Aufbringen nicht beeinflusst. Eine Herstellung in großen Mengen ermöglicht einen relativ kostengünstigen Einsatz. Für den Einsatz im luftgefüllten Raum sollen entsprechende Sonararrays entwickelt werden, die es ermöglichen, in breiten Frequenzbereichen zu messen.

Das Center for Engineering and Technology Transfer (CeTT) in der Schweiz entwickelt in dem Projekt ein Multikanal DSP Hardware Modul zur Signalverarbeitung. Die verschiedenen, zuvor beschriebenen Verfahren sowie die entsprechenden Algorithmen, sollen direkt in dieses Modul integriert werden. Die Auswertung gemessener Signale soll in Echtzeit erfolgen und über Standardschnittstellen (audio, video, usb, firewire) ausgegeben werden. Dieses DSP Modul soll die Grundlage für die industrielle Anwendung der Untersuchungsergebnisse darstellen und wird im Anschluss an das Projekt verfügbar sein.

### 3 Akustische Holographie

Die Grundidee der optischen Holographie formulierte Gabor [3] schon im Jahre 1948. Es bedurfte aber erst weiterer Erfindungen, wie z.B. des Lasers, bis das Prinzip umgesetzt werden konnte. Notwendig für eine holographische Abbildung sind die Aufnahme eines Hologramms und die Bildrekonstruktion (Bild 1).

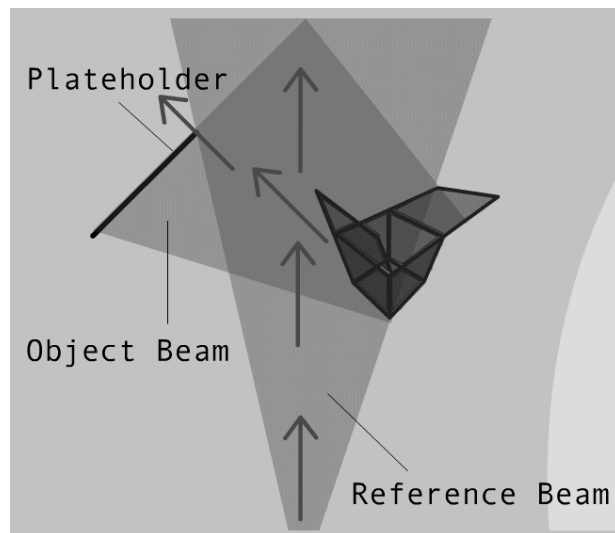


Bild 1: Überlagerung von Objekt- und Referenzstrahl auf einer Fotoplatte /4/.

Fällt in einen Objektpunkt ein ebene Wellenfront ein, so wird in diesem Punkt eine gebeugte Kugelwelle erzeugt. Diese wird, im Gegensatz zur ursprünglichen Referenzwelle als Objektwelle bezeichnet. Durch die Überlagerung der beiden Wellen lässt sich die Amplituden- und Phasenverteilung mittels einer Fotoplatte aufzeichnen. Der große Vorteil von Holographie liegt in dem hohen Informationsgehalt der Hologramme, denn aus der zweidimensionalen Oberfläche der Fotoplatte kann das dreidimensionale Wellenfeld rekonstruiert werden. Ursache dafür ist die gespeicherte Phaseninformation /5/.

In der Nahfeld Akustischen Holographie (NAH) wird stattdessen das zweidimensionale Schalldruckfeld aufgezeichnet und dazu verwendet, dass z.B. das dreidimensionale Schalldruckfeld sowie das Feld der Teilchengeschwindigkeit, die Oberflächengeschwindigkeit und die Intensität einer vibrierenden Schallquelle bestimmt werden kann /6/.

Verallgemeinert besteht Holographie aus der Messung eines Wellenfeldes auf einer geeigneten Oberfläche und deren Anwendung zur Bestimmung des Wellenfeldes in einer dreidimensionalen Region. Diese Beschreibung entspricht der Dirichlet Randwert-Bedingung auf einer Oberfläche mit bekannter Greenscher Funktion. In diesem Fall ist die holographische Rekonstruktion einfach die Konvolution (bzw. Dekonvolution) der gemessenen Grenzwerte mit der Greenschen Funktion.

Die Grundannahme ist, dass die Schallquelle ein Wellenfeld  $\Psi(\mathbf{r}, t)$  erzeugt, welche der folgenden Wellengleichung genügt.

$$\nabla^2 \Psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0$$

Dabei entspricht  $\nabla^2$  dem Laplace-Operator und  $c$  einer konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit. Außerdem sind weitere Annahmen notwendig, wie die Existenz einer unendlich ausgedehnten Oberfläche, die das dreidimensionale Zielgebiet umschließt, und dass bei bekannter Greenscher Funktion die homogene Helmholtz-Gleichung mit der Wellenzahl  $k = \omega/c$  erfüllt ist.

$$\nabla^2 \tilde{\Psi}(\mathbf{r}, \omega) + k^2 \tilde{\Psi}(\mathbf{r}, \omega) = 0$$

Man erhält das komplexe Wellenfeld  $\Psi(\mathbf{r}, \omega)$ , dessen Amplitude und Phase vom Quellabstand  $\mathbf{r}$  abhängt, indem eine Fourier-Transformation des Feldes  $\Psi(\mathbf{r}, t)$  durchgeführt wurde. Für die räumliche Analyse wird ein fester Frequenzwert  $\omega$  verwendet, um ein Wellenfeld zu finden, welches der Helmholtz-Gleichung genügt.

Bei zunehmendem Abstand zwischen Quelle und Aufzeichnungsebene werden unterschiedliche Näherungen gültig, die nach den Regionen ihrer Gültigkeit benannt werden. Die in diesem Projekt eingesetzte Näherung heißt Rayleigh-Sommerfeld, welche sich auf die Rayleigh-Integrale und die Sommerfeld-Abstrahl Bedingung beziehen. Sie ist am allgemeinsten und im gesamten Raum gültig.

Ein mathematisches Modell des Huygens-Fresnel-Prinzips lässt sich aus der Rayleigh-Sommerfeld Beugungsformel herleiten, da diese dem Faltungintegral entspricht. Wegen des Faltungssatzes ist die Faltung im Fourierraum eine Multiplikation. Durch die analytische Berechnung der Transferfunktion (Greensche Funktion) lässt sich nun die Wellenausbreitung zwischen unterschiedlichen Ebenen wie folgt berechnen /7/, /8/.

$$\tilde{\Psi}(x_B, z_B) = F^{-1} \left\{ F[\tilde{\Psi}(x_H, z_H)] \cdot e^{ikz\sqrt{1-\lambda^2(\gamma^2+\delta^2)}} \right\}$$

Hierbei stehen die Indizes „B“ und „H“ für die Bild- bzw. Quell- und Hologrammebene. Die verwendete Wellenlänge ist  $\lambda$  und  $\gamma$  sowie  $\delta$  beschreiben die zugehörigen Ortsfrequenzen /5/.

#### 4 Experiment und Ausblick

In unterschiedlichen Versuchsreihen wurde die Theorie und der Algorithmus aus Abschnitt 3 Akustische Holographie angewendet. Die Untersu-

chungsobjekte waren eine Stahl-, Holz- und Glas-keramikplatte mit verschiedenen Abmaßen, auf denen mit einem Impulshammer bzw. durch Klopfen mit einem Finger ein Messsignal erzeugt wurde (s. Bild 2). Die eingesetzten Sensoren waren ICP Beschleunigungsaufnehmer der Firma PCB und die Signalaufzeichnung erfolgte mit dem OROS Analyser. Abschließend wurden die Messdaten mit dem Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus unter MATLAB ausgewertet.

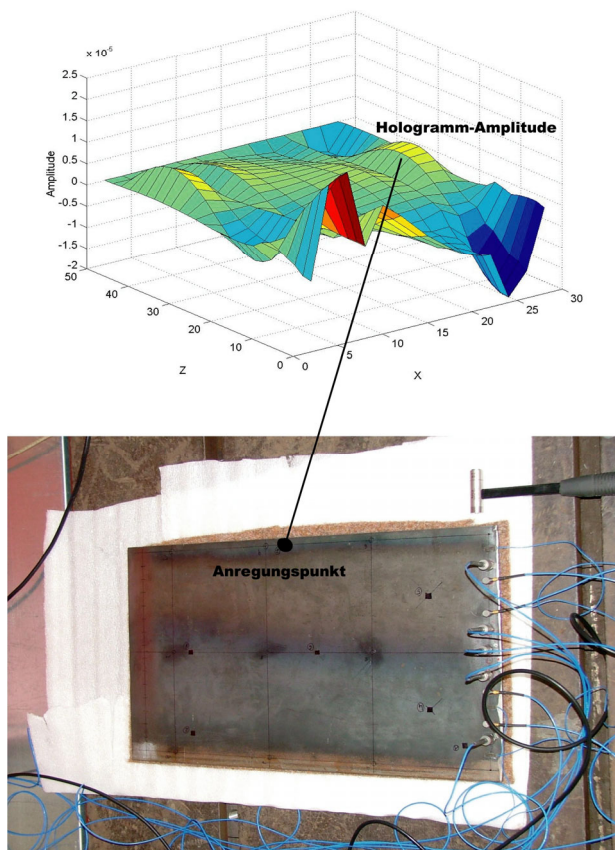


Bild 2: Messaufbau Stahlplatte und zugehöriges Messergebnis der Amplitudenverteilung

An dem Plattenrand, wo die Sensoren angeordnet sind, kommt es zu großen Störeffekten, deren Ursache noch nicht eindeutig geklärt ist. Ein Grund könnte der Aufbau, die Anordnung und die Lage der Sensoren während dieser Untersuchung sein.

Aufgrund dessen müssen weitere Experimente durchgeführt werden, damit die Lokalisierung des Anregungspunktes bzw. der Quelle genauer ist!

Der in MATLAB programmierte Code des Auswertalgorithmus wird in die Programmierumgebung EyesWeb übertragen, welche von den Projektpartnern der Universität Genua stammt.

## 5 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde die Zielsetzung des europäischen Forschungsprojektes TAI-CHI beschrieben. Die unterschiedlichen akustischen Analysemethoden, die von den Partnern erforscht werden, wurden kurz erläutert, ebenso wie die Hardwareentwicklung von Sensoren und einem industriell anwendbaren DSP Modul. Die ersten Untersuchungen des Instituts für Maschinenwesen wurden in Abschnitt 4 vorgestellt.

Das TAI-CHI Projekt wird von der Europäischen Union im sechsten Rahmenprogramm als Specific Targeted REsearch Project (STREP) unter der Vertragsnummer 507882 gefördert.

## 6 Literatur

- /1/ TAI-CHI Konsortium: Technical Annex of the Project, Vertragsdokument, 2004
- /2/ TAI-CHI Konsortium: Project Website; <http://www.mec.cf.ac.uk/research/pubs/taichi.html>, 2004
- /3/ Gabor, D., 1948: A new microscopic principle. Nature, 161, 777-778.
- /4/ MIT Museum's Holography: eye on holography <http://www.mit.edu/~sdh/holography/eoh/index.html>
- /5/ Roye, W., 1987: Beitrag zur Weiterentwicklung der akustischen Holografie beim Einsatz in der Materialprüfung. VDI-Verlag, Reihe 5: Grund- und Werkstoffe, Nr. 117.
- /6/ Maynard, J., Williams, E. und Lee, Y., 1985: Nearfield acoustic holography: I. Theory of generalized holography and the development of NAH. J. Acoust. Soc. Am., 78, 4, 1395-1413.
- /7/ Goodman, J., 1996: Introduction to Fourier Optics. The McGraw-Hill Companies, 2<sup>nd</sup> edition.
- /8/ Williams, E., 1999: Fourier Acoustics- Sound Radiation and Nearfield Acoustic Holography. Academic Press.

# Messungen an einem hydraulischen System

Schäfer, G.

Die Antriebstechnik ist am IMW nicht alleine auf Welle-Nabe-Verbindungen beschränkt, sondern bietet mit der vorhandenen messtechnischen Ausstattung auch die Möglichkeit kombinierte hydraulisch-mechanische Antriebe zu untersuchen. Der Artikel zeigt dies am Beispiel eines Stellantriebes.

*Mechanical engineering at the IMW is not only shaft-hub-connection. Available metrology enables also research in hydraulic-mechanical powertrain systems, e.g. hydraulic actuator.*

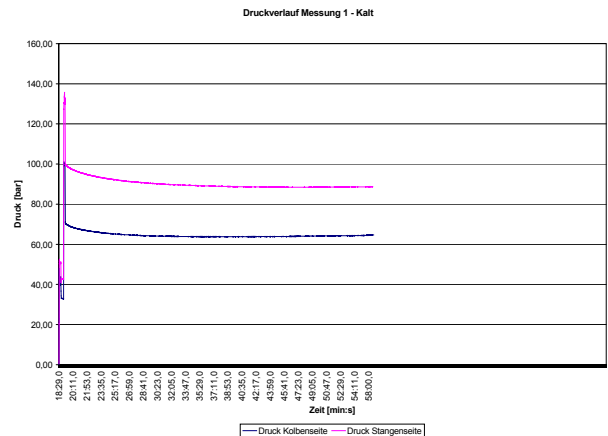
## 1 Einleitung

Im folgenden Artikel wird über Untersuchungen an einem hydraulischen Schwenk-Stellantrieb mit Linearzylinder berichtet. Der Stellantrieb besteht aus dem Zylinder und einem elektrischen Kompakthydraulikaggregat mit integriertem Druckbegrenzungsventil und 4/3-Wegeschieberventil. Da der Stellantrieb auch bei äußeren Lasten zuverlässig positionieren und bei Systemstillstand die Position über lange Zeit halten soll, wurden zusätzlich ein Senkbremsventil (SBV) und ein Zwillings-Rückschlagventil (ZRV) eingebaut. Das SBV erlaubt ein kontrolliertes Bewegen von Lasten unter Verhinderung eines Vorseilens der Last vor dem Zulaufstrom (z.B. bei Lastrichtungswechsel) sowie sicheres Halten der Last in jeglicher Position bei Systemstillstand (Wegeventil in Mittelstellung oder ganz abgeschaltetes System). Die entsperrbaren ZRV gehören zur Gruppe der Sperrventile, sie bestehen aus zwei Rückschlagventilen für zwei getrennte Durchflüsse, deren selbsttätige Sperrung durch den Zuflußdruck wechselseitig aufgehoben wird (DIN ISO 1219-1) Sie dienen hauptsächlich zur Sperrung der Arbeitsstellungen oder zum Fixieren der Ruhestellung doppelwirkender, leckmengenfreier Verbraucher in Verbindung mit leckölbehafteten Wegeschieber-Steuerungen. Aus Umweltschutzgründen wird die Anlage mit einem Bioöl betrieben. Es handelt sich dabei um eine umweltschonende, biologisch schnell abbaubare, nicht wassergefährdende Hydraulikflüssigkeit auf Basis synthetischer Ester, Typ HEES gemäß VDMA-Einheitsblatt 24568 mit ISO-Viskositätsklasse ISO-VG 22, thermischer Volumenausdehnungskoeffizient  $\beta_T = 0,75 \times 10^{-3}$  pro Kelvin,  $\Delta V = V \times \beta_T \times \Delta T$

## 2 Aufgabenstellung

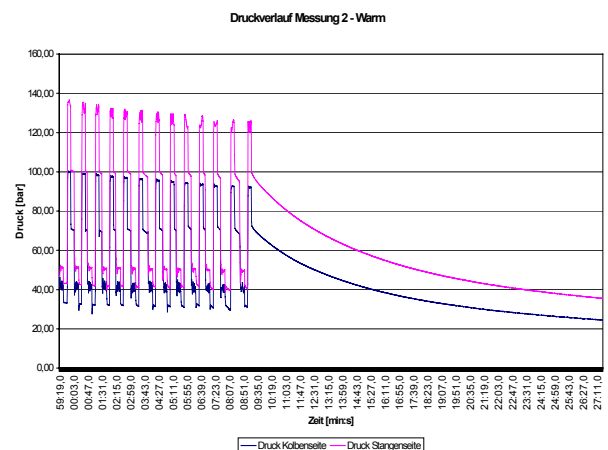
Der genannte Stellantrieb verursacht durch selbsttätige Positionsabweichungen im ausgeschalteten Zustand unregelmäßige Störmeldungen die durch den damit erzwungenen Anlagenstillstand einen erheblichen Schadensumfang nach sich ziehen.

Bei einer ersten „vor Ort-Messung“ konnte das in den **Bildern 1** und **2** dargestellte Druckverhalten am Zylinder festgestellt werden. Die beiden Kurven in Bild 1 stellen den boden- und stangenseitigen Druck des Zylinders dar. Es wurde zunächst einmal positioniert und dann der Druckverlauf aufgenommen. Die Umgebungstemperatur betrug ca. 15°C



**Bild 1:** Zylinderdruck im kalten Zustand

In Bild 2 wurde zunächst durch mehrmaliges Positionieren eine Öltemperatur von ca. 70°C erreicht, bevor letztmalig positioniert wurde und der anschließende Druckverlauf aufgenommen wurde. Deutlich zu erkennen ist jetzt der rapide Druckabfall und damit der Verlust der Positionstreu.



**Bild 2:** Zylinderdruck nach Erwärmung durch mehrmaliges Positionieren



### 3 Theoretische Analyse

Im Vorlauf und weiterhin parallel zu den experimentellen Messungen wurde die hydraulische Antriebseinheit auf Ursachen und mögliche Abhilfemaßnahmen hin analysiert.

Der grundsätzliche Aufbau der hydraulischen Antriebseinheit entspricht dem Stand der Technik wie er für die Ansteuerung eines Hubzylinders üblich ist. Darüber hinaus sind die beiden bereits beschriebenen Komponenten Zwillingsrückschlagventil (ZRV) und Senkbremsventil (SBV) im Schaltplan **Bild 3** zu sehen. Die Aufgabe der Abdichtung des Sekundärkreises gegen die abgeschaltete Ölversorgung inklusive des leckölbehafteten Wegeventils erfüllt das ZRV.

#### 3.1 Fallbetrachtungen

In den folgenden Kapiteln werden verschiedene theoretische Fälle als Grenzwertbetrachtungen durchgeführt um das Systemverhalten zu beschreiben und mögliche Verbesserungen zu bewerten. Die Kompressibilität des Öls kann dabei im relevanten Druckbereich zwischen 0 bar und 200 bar und bei den herrschenden Temperaturen bis 70°C nach den Unterlagen des Öllieferanten vernachlässigt werden. Die Fallbetrachtungen beziehen sich daher auf den Einfluss der Dichte des Öls bei wechselnden Temperaturen und den Einfluss von möglichen Leckströmen. Messtechnisch konnten diese zwar nicht festgestellt werden, es wurden lediglich Druckverluste festgestellt, aber über der Nutzungszeit können solche Leckströme nicht ausgeschlossen werden und wurden daher mitbetrachtet.

##### 3.1.1 Leckströme

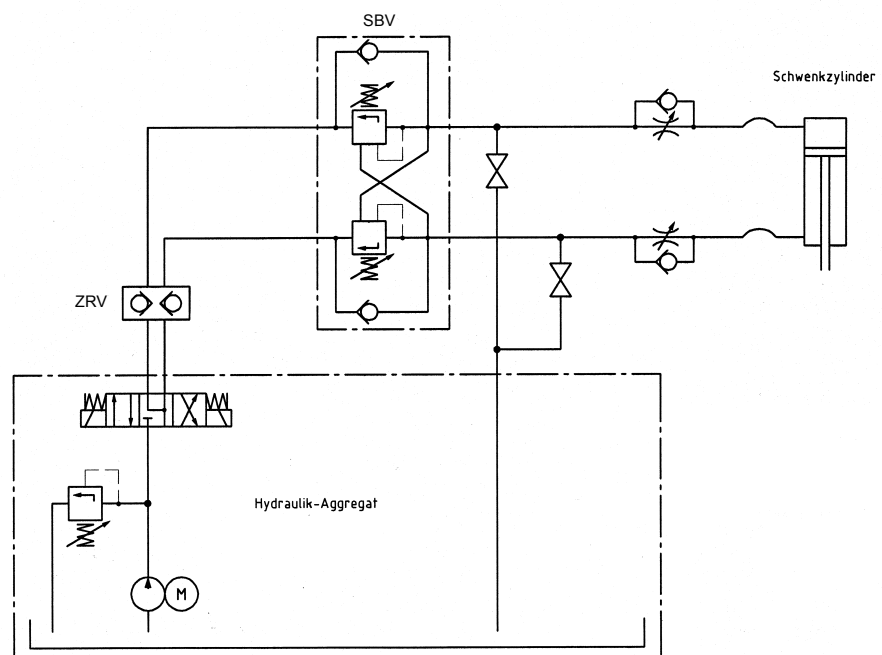
Unterstellt man einen Leckstrom durch das Senkbremsventil, wie er in dem Datenblatt des Herstellers erwähnt wird, so kann zwischen Kolbenbodenseite und Kolbenstangenseite ein Medien-austausch und ein Druckausgleich in endlicher Zeit stattfinden. Durch das Verhältnis von Kolbenboden- zu Kolbenstangenfläche von 1,26 werden bei der Kolbenbewegung entsprechend unterschiedliche Volumen verdrängt/gefüllt. Eine herauswandernde Kolbenstange würde in Verbindung mit dem Leck-

strom schließlich zu einem Absinken des Zylinderdrucks auf den Wert des Umgebungsdrucks führen. Dieser Zustand stellt den stabilen Gleichgewichtszustand für den Zylinder dar, falls keine äußere Kraft angreift. Äußere dynamischen Lasten könnten den Zylinder Stück für Stück ausfahren. Ein Einfahren dagegen ist nahezu ausgeschlossen.

##### 3.1.2 Temperatureinfluss

Bei der Untersuchung des Temperatureinflusses auf die Lageveränderung des Kolbens wird die Abhängigkeit der Dichte des Öls von der Temperatur betrachtet. Die aus Stahl gefertigten Zylinderbauteile erfahren unter Temperaturwechseln zwar grundsätzlich auch Längen- und Volumenänderungen, da diese aber lediglich ca. 5% der Änderungen des Öls sind werden Sie hier für die Betrachtungen in erster Näherung vernachlässigt. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Stahl ist  $0,036 \times 10^{-3}/K$ , der von Esteröl  $0,75 \times 10^{-3}/K$ .

Ein Fall ist die kolbenbodenseitige Befüllung des Zylinders mit 70°C warmem Öl. Für den ungünstigen Fall des Winterbetriebs wird eine Abkühlung auf -20°C angenommen. Wäre der Zylinder dabei voll ausgefahren, so würden sich ca. 4,3 l abkühlen. Die Volumenabnahme des Esteröles beträgt dafür ca. 290 cm<sup>3</sup>. Dieses Fehlvolumen könnte durch einen Leckstrom innerhalb des Zylinders mit selbsttätigem Einfahren um 147 mm ausgeglichen werden, was bei einer mech. Hebelübersetzung von 1:40 in der Anlage 5,88 m entspricht. In Anbetracht der minimalen Leckrate des Senkbremsventils ist eine zweite Möglichkeit zum Fehlvolumenausgleich



**Bild 3:** Hydraulikschaltplan

wahrscheinlicher. Bei der zweiten denkbaren Möglichkeit sinkt der Zylinderdruck sowohl stangen- als auch bodenseitig unter den Umgebungsdruck und in beide Zylinderkammern wird in nicht genau bestimmbareren Anteilen Öl aus dem Tank über das Zwillingrückschlagventil nachgezogen.

### 3.2 Optimierungsmöglichkeiten

Die aufgezeigten Probleme von Fehl- und Überschussvolumina sowie der Druckverlust und -anstieg, die auch messtechnisch bestätigt wurden, lassen den ergänzenden Einsatz von Elementen mit flacher Kennlinie  $\text{Druck} = f(\text{Volumen})$  sinnvoll erscheinen. Blasenspeicher können durch Ihren Vorspannungsdruck in der Gasblase ein gewünschtes hydraulisches Druckniveau über längere Zeiten konstant halten. Im vorliegenden Sekundärkreis sind zwei durch den Kolben gekoppelte Drücke konstant zu halten. Zu diesem Zweck könnten zwei Blasenspeicher an den beiden Zylinderanschlüssen zum Einsatz kommen. Alternativ könnte mit einem Blasenspeicher gearbeitet werden, der über die Kopplung des Kolbens einen entsprechenden Gegendruck stabilisiert.

#### 3.2.1 Zwei Blasenspeicher

Der Einsatz von zwei Blasenspeichern sichert den Gleichgewichtszustand bei lastfreier Kolbenstange über einen langen Stillstandszeitraum. Die Druckniveaus der beiden Blasenspeicher sind über das Kolbenflächenverhältnis (1,26) geometrisch eingepreßt. Treten bei diesem Aufbau dynamische Kolbenstangenkräfte auf, so reagiert die hydraulische Einspannung entlang der flachen Blasenspeicher-Kennlinie. Dies bedeutet, der Stellantrieb wird zwar grundsätzlich in die Ausgangslage zurückkehren, aber bereits kleine äußere Kräfte führen zu deutlichen Abweichungen.

#### 3.2.2 Ein Blasenspeicher

Reduziert man die Anzahl der Blasenspeicher auf einen pro Zylinder, so stellt sich zunächst die Frage an welchem Anschluss der Speicher anzubringen ist.

- a) Wird der Blasenspeicher an der Kolbenbodenseite des Zylinders angeschlossen, so ist in der eingeschobenen Stellung (I) das ungepufferte Volumen auf der Stangenseite erheblich größer als das ungepufferte Ölvolumen auf der Bodenseite bei Anschlussvariante b). Die thermische Empfindlichkeit beträgt bei dieser Speicheranordnung in der Stellung (I) 1,32 cm/K. In der 2/3 ausgefahrenen Position ergibt sich für

diesen Anschlussfall eine kleinere thermische Empfindlichkeit von 0,45 cm/K.

- b) Schließt man den Blasenspeicher stangenseitig an, so wird durch ihn das hohe Druckniveau der Stangenseite und entsprechend der Kolbenbodendruck über lange Zeiten konstant gehalten. Wird der Stellantrieb durch dynamische Lasten an der Kolbenstange beansprucht, so reagiert der Zylinder durch die einseitige „in-kompressible“ Ölbeaufschlagung steif  $\triangleq$  positionstreu. Befindet sich der Zylinder in einer 2/3 ausgefahrenen Position so ergibt sich bei dieser Anschlussvariante ein thermischer Einfluss des bodenseitigen Ölvolumens von 0,915 cm/K am Ende des 1:40 Hebels. Je weiter eingefahren der Zylinder ist, desto geringer wird der Temperatureinfluss, da das Kolbenbodenölvolumen entsprechend geringer ist. In der Stellung (I) ist bei ca. 10 mm Kolbenhub mit einer thermischen Empfindlichkeit von 0,03 cm/K Hebelauslenkung zu rechnen.

Dieses Verhalten ist deutlich günstiger für den Anwendungsfall, so dass abschließend folgende Handlungspräferenzen genannt werden können.

## 4 Experimentelle Messungen

### 4.1 Messungen Istzustand

#### 4.1.1 Lagestabilität

Im ersten Versuch wurde das statische Haltevermögen des Antriebs untersucht. Der Zylinder wurde an den Hallenkran des Instituts gehängt und eine ca. 300 kg schwere Masse an der Kolbenstange axial ziehend befestigt. Der Zylinder wurde zweimal ca. 60% seines Fahrweges bewegt und dann aus der einfahrenden Bewegung heraus im Endanschlag angehalten. In diesem Zustand wurde der Aufbau über 34h hängen gelassen. Die gemessene Kolbenverschiebung betrug nach diesen 34 h  $+3/100$  mm. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1:40 bedeutet dies 0,0012 m Auslenkung. Als Variation dieses statischen Versuchs wurde eine weitere Halteposition aus der Ausfahrbewegung heraus angefahren. Die Kolbenstange war nun 74,8 mm ausgefahren. Innerhalb von 14 h stellte sich eine Kolbenverschiebung von  $-2,5/100$  mm ein. Beide Versuchsdurchführungen wurden ohne nennenswerte Erhöhung der Öltemperatur gefahren und fanden in der Versuchshalle des Instituts bei üblichen Raumtemperaturen von ca. 22°C statt.



**Bild 4:** Anordnung der Druckaufnehmer im Aufbau

#### 4.1.2 Druckhaltefähigkeit

Ähnlich der Anordnung bei der vor Ort (**Bild 4**) durchgeführten Messung waren die Druckaufnehmer in den Anschlussleitungen zum Zylinder montiert. Die gemessenen Drücke lagen während des Bewegungsvorganges des Zylinders auf der Kolbenbodenseite bei 35 bar und auf der Stangenseite bei 44 bar. Dies entspricht dem Geometrieverhältnis von 1,26 und bedeutet eine äußere Stangenkraft von 0 N. Erst im Endanschlag des Zylinders baut sich der normale Betriebsdruck von ca. 70 bar auf. Ursächlich für die Diskrepanz zu den Bewegungsdrücken der vor Ort Messung ist die lastfreie Bewegung der Versuchsanordnung im Institut. Als Ergebnis der begleitenden theoretischen Untersuchungen wurde eine Erhöhung des Betriebsdrucks empfohlen. Die Druckhaltefähigkeit wurde in zwei charakteristischen Kolbenstellungen untersucht:

##### 4.1.2.1 Kolben ganz eingefahren

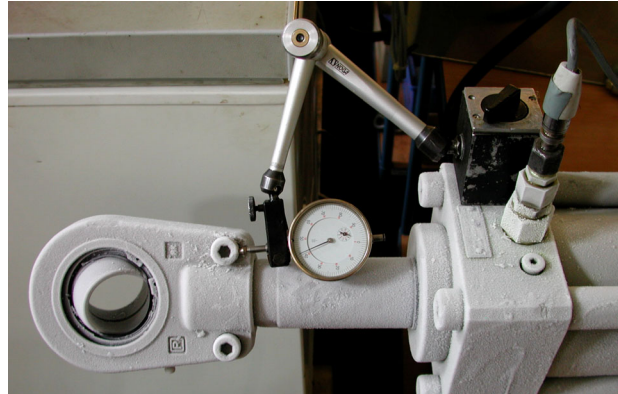
Der Kolben wurde in diesem Versuch aus einer Mittelstellung in die eingefahrene Endlage gefahren und die Hydraulik abgestellt. Auf der Stangenseite waren zu diesem Zeitpunkt 71 bar, auf der Kolbenbodenseite wurde 1 bar gemessen. Nach 45 min ist der Druck auf die Hälfte abgefallen und nach 10 h war das System drucklos.

##### 4.1.2.2 Kolben in Mittelstellung

Die zweite Versuchsposition wurde aus der eingefahrenen Endlage heraus angefahren und befand sich ungefähr in der Mitte des Kolbenhubweges. Der Druckabfall verlief wesentlich schneller als in der Endlage. Bereits nach 11 min war der Druck beidseitig unter 3 bar abgefallen.

##### 4.1.2.3 Temperatureinfluss

Zur Untersuchung des Temperatureinflusses wurde der Zylinder nach dem Verfahren bei Raumtemperatur auf ca. 80 mm Auslenkung in eine Kühlkammer gelegt. Die anschließende Kolbenverschiebung wurde mit einer Messuhr abgelesen, **Bild 5**.



**Bild 5:** Kolbenverfahrwegmessung bei  $-20^{\circ}\text{C}$

#### 4.2 Messung nach Umbau

##### 4.2.1 Ein Speicher auf der Stangenseite

Der Betriebsdruck wurde von 70 bar auf 120 bar erhöht. Stangenseitig wurde ein Speicher mit 4 l Ausgleichsvolumen angeschlossen, der mit 95 bar vorgespannt war. Direkt nach dem Verfahren wurden folgende Drücke abgelesen: 106,3 bar stangenseitig und 83,5 bar kolbenbodenseitig. Nach 19,5 h waren die Drücke lediglich um weniger als 1 % auf 105,3 bar und 81,9 bar abgefallen. Die Kolbenstange hat dabei einen Weg in Einfahrriichtung von nur -20/100 mm zurückgelegt.

##### 4.2.2 Prüfung vor Ort

Da es primär um die Lagefixierung geht wurden über die Druckhaltemessungen im Institut hinaus noch Versuche an einer Musteranlage gemacht.

Der Einbau entsprach dem Messaufbau im Institut. Die dabei festgestellten möglichen Auslenkungen am Hebelende setzten sich aus der elastischen Verformung des Hebels (Hauptanteil) und den Spielen in den Lagerstellen zusammen. Die Auslenkung betrug bei ca. 1000 N Verschiebekraft am Ende etwa +30 mm.

#### 5 Zusammenfassung

Für die Verbesserung der Lagefixierung an den hydraulischen Stellantrieben wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Integration eines Blasenspeichers in den stangenseitigen Anschluss des Zylinders. Der Blasenspeicher wurde mit ca. 95 bar vorgespannt.
- Erhöhung des Speisedrucks auf mindestens 120 bar bei gleichzeitiger Justierung der Ausströmdrosseln speziell auf der Kolbenbodenseite, um eine ausreichende hydraulische Verspannung ( $>106$  bar) und Aufladung des Speichers beim Verfahrensbetrieb sicher zu stellen.

# Untersuchung des dynamischen Verhaltens eines Lagerprüfstandes mittels FEM

Nsenga, E.B.

*Die Kenntnis des dynamischen Verhalten eines Prüfstandes zur Untersuchung der Übertragung von Körperschall in Lagern ist von großer Bedeutung, damit Einflüsse auftretender Eigenschwingungen abgeschätzt werden können.*

*It is important to know the dynamic behavior of a built test rig for the investigation of the vibration transfer through bearing so that the effects of eigenfrequencies can be evaluated.*

## 1 Einleitung

Die Ermittlung der Geräuschübertragungsfunktion durch Lager ist von großer Bedeutung für die Geräuschuntersuchung von Antriebskomponenten wie Getrieben. Da sich die Lager in solchen Komponenten direkt in dem Körperschallübertragungsweg befinden, beeinflussen sie das Gesamtgeräuschverhalten. Am Institut für Maschinenwesen wird zur experimentellen Untersuchung der Geräuschübertragung in Lagern ein Prüfstand entwickelt, dessen dynamische Eigenschaften mit der FEM untersucht und hier erläutert wird.

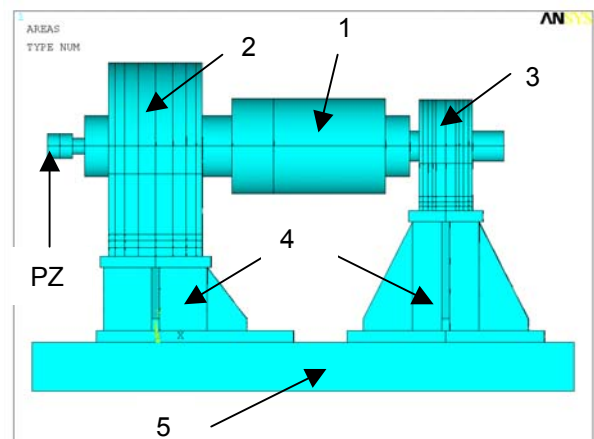
## 2 Beschreibung des Prüfstandes

Zu dem Lagerprüfstand gehören drei große Baueinheiten:

- eine Prüflagereinrichtung,
- eine Gesamteinheit aus Welle, Stützlager, Lagerböcken und Fundament,
- eine Antriebseinheit aus einem elektrischen Motor, einem Übersetzungsgetriebe und einer elastischen Kupplung.

Als wichtige Baueinheit ist die Gesamtheit „Welle-Stützlager-Böcke und Fundament“ zu nennen, die hier untersucht wird, **Bild 1**. Das aus Guss bestehende Fundament mißt 4 m Länge, 2 m Breite und 0,20 m Dicke und ist verrippt. Die zwei auf das Fundament eingeschraubten Lagerböcke sind Schweißkonstruktionen. Die zwei je auf einem Lagerbock eingeschraubten Gleitlager nehmen die Welle auf und haben folgende Eigenschaften: für das Festlager (Renk-Gleitstehlager EGXYA 28 , D/B von 200 mm/168,5 mm,  $\psi = 1,9 ‰$ ) und für

das Loslager (Renk-Gleitstehlager ERXQ 14, D/B von 125 mm/104,5 mm,  $\psi = 1,312 ‰$ ). Der Lagerabstand beträgt 1178 mm. Die Welle, die ca 830 kg schwer ist, hat eine Gesamtlänge von ca 2000 mm, einen größten Durchmesser von 390 mm und kann mit einer Drehzahl bis  $6000 \text{ min}^{-1}$  betrieben werden. Diese Welle besteht aus einer Hauptwelle des Prüfstandes und einer Prüfwelle, die über einen Adapter an die Hauptwelle angeschraubt ist.



**Bild 1:** Gesamtheit aus (1)Welle; (2)Festlager; (3)Loslager; (4)Böcke; (5)Fundament des Prüfstandes

Im Folgenden werden zur Kennzeichnung von Komponenten Kurzbezeichnungen eingeführt:

- PZ: Prüfpfosten (Zapfen des zu prüfenden Lagers)
- FL, FLG: Festlager bzw. Festlagergehäuse;
- FLGB: Gesamtheit aus Festlagergehäuse und Bock;
- LL, LLG: Loslager bzw. Loslagergehäuse;
- LLGB: Gesamtheit aus Loslagergehäuse und Bock.

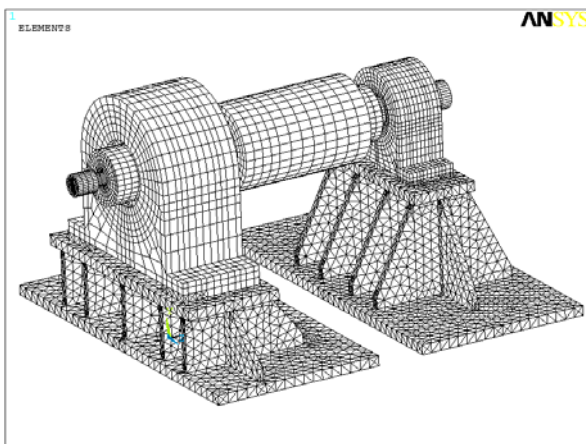
## 3 Simulation

### 3.1 FE-Modell

Um rechnerisch die dynamischen Eigenschaften (Eigenfrequenzen und Schwingungsformen sowie Amplituden der erzwungenen Schwingungen) ermitteln zu können, ist eine FE-Modellierung durch-

zuführen. In diesem Modell wird jedes Lager (Ölfilmigenschaften) mit einer angegebenen linearisierten (4x4)-Steifigkeits- und -dämpfungsmatrix abgebildet (ANSYS Matrix 27 element type). Die Form des Lagergehäuses wird mit einem vereinfachten 3D-FE-Modell (solid-45 Element Type) modelliert /1/. Ebenfalls werden die Welle und die Lagerböcke mit 3D-Volumen-Elementen diskretisiert. Das Fundament wird als starr vorausgesetzt. Die Fügstellen Gehäuseunterteil, Lagerschale und Gehäuseoberteil werden für die Strukturvernetzung als homogene Materialübergänge aufgefaßt. Die Befestigung des Lagergehäuses auf dem Lagerbock mittels vorgespannter Schrauben wird durch Festlegung der Bewegungsfreiheitsgrade der an den Gehäusefußflächen befindlichen Knoten und denen an der oberen Fläche des Bockes realisiert. Auf die gleiche Weise wird die Aufspannung des Bockes durch Elimination der Knotenfreiheitsgrade an seiner unteren Fläche dargestellt.

Die Einflüsse des Antriebs werden in dieser Untersuchung zunächst vernachlässigt. Die Untersuchung wird für den Fall einer Drehzahl von 3000  $\text{min}^{-1}$  und einer statischen Last von 125 kN auf das Festlager bzw. 25 kN auf das Loslager durchgeführt. **Bild 2** zeigt das für die Simulation verwendete FE-Modell der betrachteten Baueinheit.



**Bild 2:** FE-Modell der betrachteten Baueinheit

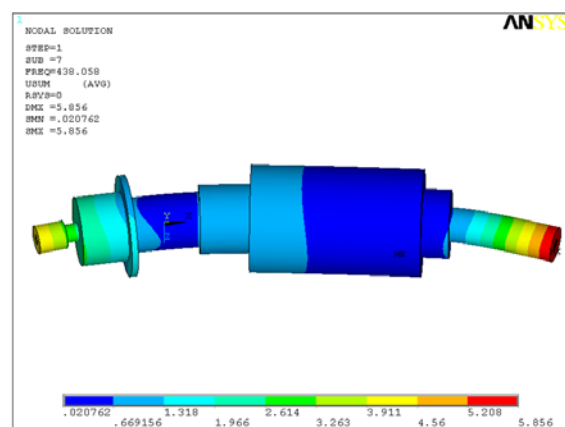
### 3.2 Modalanalyse

Um das Eigenschwingungsverhalten der betrachteten Prüfstandseinheit zu bestimmen, wird mit unterschiedlichen Randbedingungen (Fesselung frei-frei oder eingespannt) eine Modalanalyse (unge-dämpft) für die einzelnen Untereinheiten Welle, FLGB, LLGB und für die Gesamteinheit durchgeführt. Das Ergebnis für die Welle der sieben ersten Eigenmoden und der entsprechenden Eigenfrequenzen wird in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Nr	Welle					
	frei-frei		Elastische Lagerung			
			Starre LGB		Elast. LGB	
	Freq. [Hz]	Mode	Freq. [Hz]	Mode	Freq. [Hz]	Mode
1	438,06	Bieg.	125,74	Bieg.	116,12	Bieg.
2	633,77	Bieg.	197,95	Bieg.	180,02	Bieg.
3	984,46	Tors.	246,68	Bieg.	213,15	Bieg.
4	1162,5	Bieg.	349,08	Läng.	343,19	Bieg.
5	1665,60	Bieg.	454,25	Bieg.	383,15	Bieg.
6	1755,20	Läng.	491,26	Bieg.	466,33	Bieg.
7	2002,00	Tors.	643,49	Bieg.	547,72	Bieg.

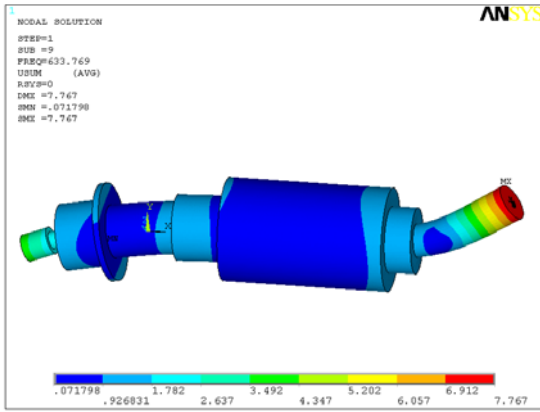
**Tabelle 1:** Eigenfrequenzen und –moden der Welle

Da hier die Schwingung der Welle gegenüber des Gehäuses von großem Interesse ist, wird besonders die Welle beobachtet. Im Frequenzbereich bis 2000 Hz werden für die Welle bei freier Lagerung insgesamt sieben Eigenschwingungsformen beobachtet. Bei elastischer Lagerung der Welle in der elastischen Struktur Gehäuse-Böcke nehmen die Eigenfrequenzen ab. Die dritte Biegemode zeigt, dass die Prüfwellen bei der Frequenz 1162,50 Hz eine größere Schwingamplitude aufweist. **Bild 3.1** und **3.2** zeigen einige der ersten Biegemoden der Welle bei freier Lagerung.



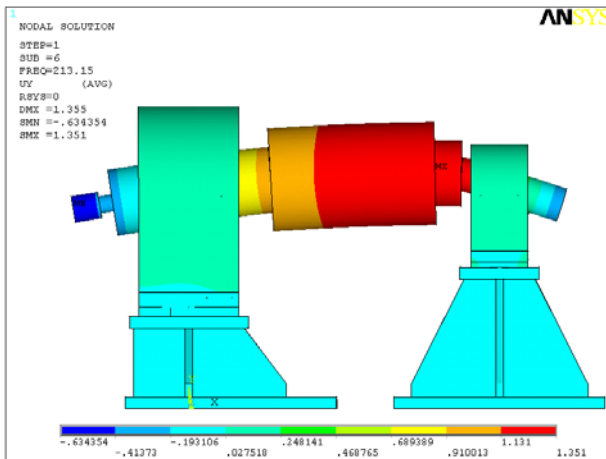
**Bild 3.1:** Mode bei 438,06 Hz, erste Biegemode in der Querebene



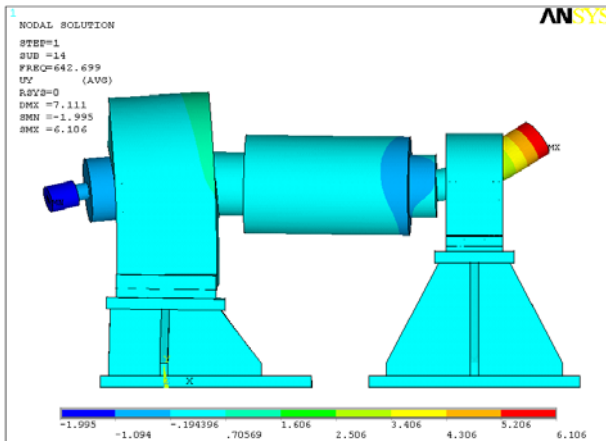


**Bild 3.2:** Mode bei 633,77 Hz, zweite Biegemode in der Querebene

Die **Bilder 4.1** und **4.2** zeigen bei der Frequenz von 213,15 Hz bzw. 642,70 Hz die Eigenformen der Gesamtheit Welle-Lager-Böcke, wobei sich die Welle in der Ebene quer zur Wellenachse biegt.



**Bild 4.1:** Mode bei der Frequenz 213,15 HZ

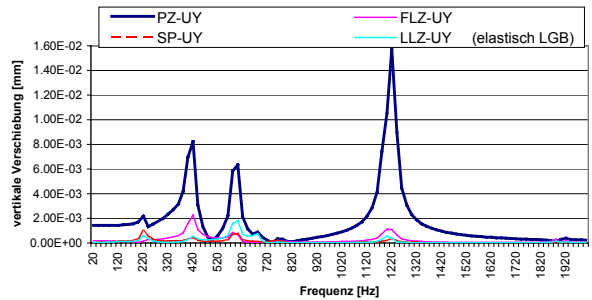


**Bild 4.2:** Mode bei der Frequenz 642,70 HZ

### 3.3 Harmonische Antwort des Systems

Auf Basis der durchgeführten Modalanalyse soll mit einer harmonischen Anregung der Welle an der Stelle des Prüflagerzapfens die Antwort des Systems analysiert werden. Die Anregungskraft wird in vertikaler Richtung eingeprägt und ihre Amplitude beträgt 200 N. Diese Analyse simuliert das dynamische Verhalten des Prüfstandes bei unterschiedlichen Anregungsfrequenzen, die hier als gleichmäßig verteilt angenommen werden. Um die Einflüsse der Elastizität der Gehäuse und Böcke analysieren zu können, wird auch eine Berechnung für den Fall einer nur durch die elastische Federung und Dämpfung des Lagerölfilms gelagerten Welle durchgeführt, d.h mit starren Gehäusen und Böcken.

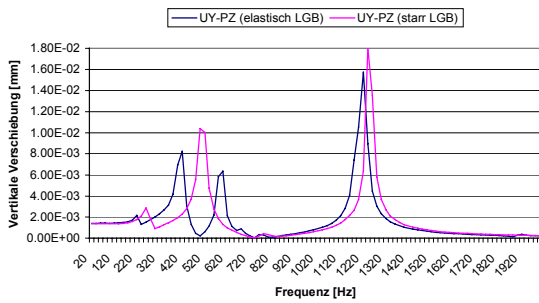
**Bild 5** zeigt an der Stelle PZ, FLZ, SP und LLZ die Frequenzantwortspektren des betrachteten Gesamtsystems, wobei die Schwingamplitude des Prüfzapfens bei der Frequenz 1220 Hz am größten ist. An anderen Stellen ist sie deutlich kleiner. Die bemerkbaren Spitzen liegen bei den Frequenzen von ca. 220, 420, 600, 780 und 1220 Hz. Da die Prüfwellen einen kleineren Durchmesser als der Rest der Welle besitzt, ist sie biegeweicher. Dort tritt eine größere Biegeschwingung auf. Man beobachtet einen ähnlichen Verlauf in der z-Richtung.



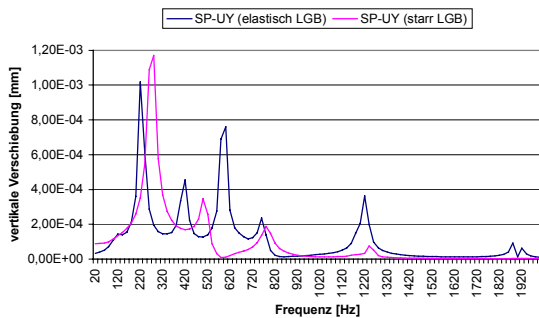
**Bild 5:** Harmonische Antwortspektren an den Stellen SP, FLZ, SP, LLZ.

Die **Bilder 6.1** und **6.2** zeigen einen Vergleich zwischen der Schwingamplitude der Welle mit und ohne Berücksichtigung der Elastizität von Lagergehäusen und Lagerböcken. Man erkennt, dass die Lagergehäuse und -böcke andere Eigenfrequenzen in dem Gesamtsystem auftreten lassen.



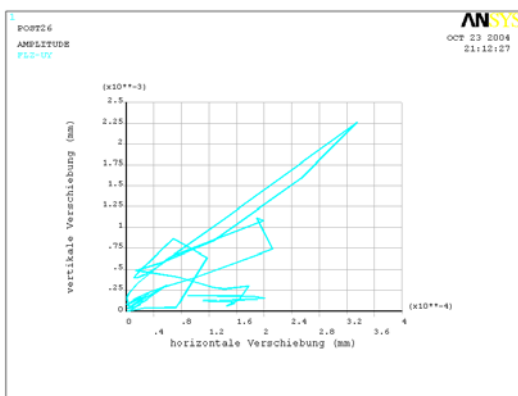


**Bild 6.1:** Schwingamplitude in vertikaler Richtung am Prüfzapfen mit und ohne Berücksichtigung der LGB-Elastizität.

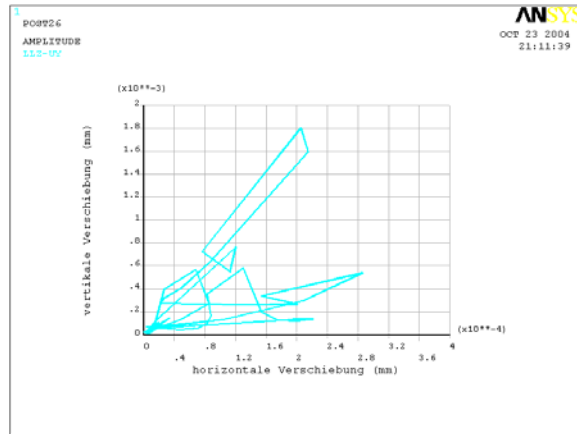


**Bild 6.2:** Schwingamplitude in vertikaler Richtung am Wellenschwerpunkt mit und ohne Berücksichtigung der LGB-Elastizität

In der zur Wellenachse senkrechten Ebene sind in **Bild 7.1** bzw. **Bild 7.2** die dynamische Verlagerung des Mittelpunktes des Fest- bzw. Loslagerzapfens dargestellt, die den maximalen Schwingweg darstellen. Diese dynamische Verlagerungen zusätzlich zu den statischen Verlagerungen beeinflussen die Betriebssicherheit des Prüfstandes. In dem betrachteten Fall liegt die maximale Amplitude des Zapfenschwings bei ca.  $2,3 \mu\text{m}$  für das Festlager und  $1,8 \mu\text{m}$  für das Loslager.



**Bild 7.1:** Amplitude der dynamischen Verlagerung des Festlagerzapfens.



**Bild 7.2:** Amplitude der dynamischen Verlagerung des Loslagerzapfens

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

An der Baueinheit aus Welle-Stützlager-Böcke eines Lagerprüfstandes wird mittels der Finiten Elemente Methode dessen dynamisches Verhalten untersucht. Der Prüflagerzapfen weist eine größere Schwingamplitude auf, deshalb sollte die Prüfwelle so gestaltet werden, dass sie so biegesteif wie möglich ist. Die Hauptwelle selbst, deren Schwingung an der Stelle des Fest- bzw. Loslagerzapfens und des Wellenschwerpunktes beobachtet wurde, weist eine kleinere Schwingamplitude im Vergleich zu der des Prüflagerzapfens auf und somit erscheint die Hauptwelle einschließlich ihrer Lagerung als steif genug gegenüber der Prüfwelle.

Zur Überprüfung dieser Ergebnisse sollte eine experimentelle Untersuchung durchgeführt werden, damit die Einflüsse der Fügstellen und der anderen Vereinfachungen abgeschätzt werden können.

#### 5 Literatur

- /1/ Rosenkranz, J.: Die Gleitlagergehäusesteifigkeit als modaler Parameter für Rotorsysteme. Dissertation, TH Aachen, 1989
- /2/ Sellgren, U.: Finite Element Modeling and Simulation of the Transport Behavior of a Tunneling Rig. Technical Report, Machine Elements, Departement of Machine Design, Royal Institut of Technology (KTH), S-100 44 Stockholm, Sweden, 2000
- /3/ Stelzmann, U.; Groth, C.; Müller, G.: FEM für Praktiker- Band 2. Strukturtechnik, 2. Auflage 2001

## Aufbau und Betrieb eines Prüfstandes zur Verschleißfestigkeitsprüfung von Zahnwellen-Verbindungen

Hua, Q.; Ring, C.

*Eine der am häufigsten eingesetzten formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen ist die Zahnwellen-Verbindung mit Evolventenprofil. Sie dient hauptsächlich der reinen Drehmomentübertragung. Die vorwiegenden Ausfallursachen dieses Maschinenelements sind der Dauerbruch und der Verschleiß. Um die Einflüsse von unterschiedlichen Schmierstoffen (Fett, Öl) sowie einer Beschichtung der Zahnflanken auf die Verschleißfestigkeit von Zahnwellen-Verbindungen zu untersuchen, wurde am IMW ein Verspannungsprüfstand aufgebaut. Die an diesem Prüfstand zu prüfenden Zahnwellen-Verbindungen sind mit einer konstanten Lastkombination von Drehmoment und Querkraft belastet.*

*The connection with involuted spline is one of the mostly used form-locking machine elements to transmit torque primary. Fatigue and wear are the main damage forms of this kind of connection. A testing bay was constructed at IMW to study the influence of different lubricants (grease and lube) on the wear resistance of the spline. The tested connections are under a constant combination of the lasts from torque and radial force.*

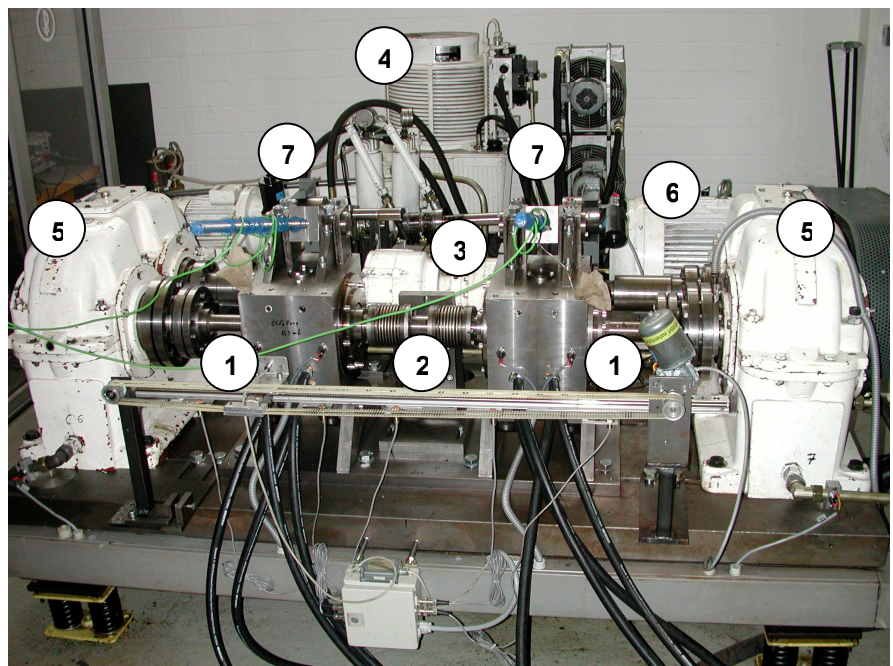
### 1 Prüfstandsaufbau

Der Prüfstand ist als Verspannungsprüfstand ausgeführt, wie er gewöhnlicherweise zur Untersuchung von Zahnrädern und Elementen der Drehmomentübertragung verwendet wird. Dazu gehören die zwei Wellenstränge, der Prüfwellenstrang und der Verdrillstrang, **Bild 1**. Im Prüfwellenstrang sind zwei zu untersuchende Zahnwellen-Verbindungen (1) eingespannt. Diese sind über zwei Lagerblöcke und zwei drehsteife Kupplungen (2), die einen während des Betriebes auftretenden radialen und axialen Versatz ausgleichen können, miteinander verbunden. Der

Prüfwellenstrang stellt in diesem Falle eine Drehmomentkopplung zwischen den Prüfverbindungen her. Durch die aufwändige Gestaltung mit zwei Lagerblöcken können die beiden Prüfverbindungen, die gleichzeitig im Prüfstand laufen, mit unterschiedlichen Querkraftbelastungen gefahren werden und beeinflussen sich so gegenseitig nicht.

Im Verdrillstrang befindet sich ein hydraulischer Verspannmotor (3), dessen Aufgabe darin besteht, ein gleichbleibendes Drehmoment von 560 Nm zur Verfügung zu stellen. Über ein Druckregelventil am Hydraulikaggregat (4) wird der Öldruck im Verspannmotor und damit das Torsionsmoment während der Versuchsdauer konstant gehalten. Die beiden Wellenstränge sind über zwei einstufige Stirnradgetriebe (5) miteinander gekoppelt und bilden somit einen geschlossenen Torsionsverspannkreis. Das zum Rotieren des gesamten Verspannkreis benötigte Antriebsmoment wird von einem Elektromotor (6) über einen Riementrieb zur Verfügung gestellt. Durch den Riementrieb wird eine Übersetzung realisiert, so dass die zu untersuchenden Verbindungen mit einer Drehzahl von  $1441 \text{ min}^{-1}$  rotieren.

Die Querkraftaufbringung erfolgt, wie bereits in den FVA-Vorgängervorhaben, durch Spindelhubgetrie-

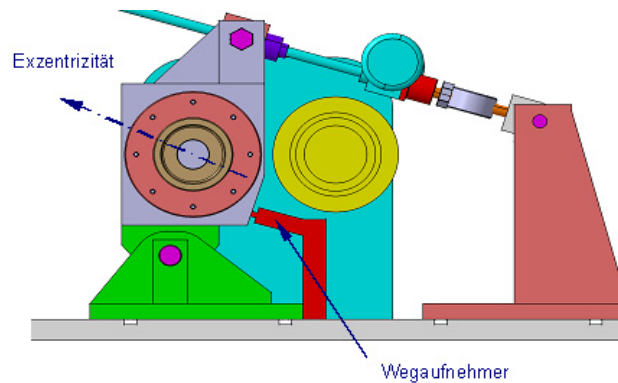


**Bild 1:** Prüfstand zur Verschleißprüfung an Zahnwellen

be (7). Mit den Spindelhubgetriebe verbundene Kraft-messdosen erlauben die permanente Erfassung der Querkräfte, sowie deren Regelung über eine SPS und die Protokollierung mit Hilfe eines Messwerterfassungsrechners. Die eingebrachte Querkraft auf die Prüfverbindungen wird auf einen konstanten Wert  $Q = 5600 \text{ N}$  gehalten.

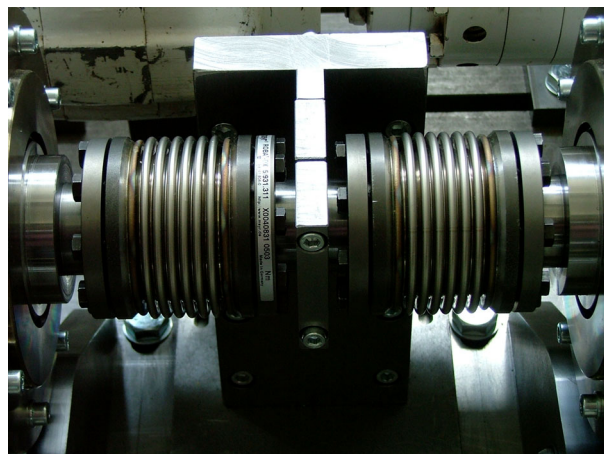
An den beiden Lagerblöcken wurde eine umlaufende Flüssigkeitskühlung realisiert, die die Verlustleistung der schnell drehenden Wälzlager von den darin laufenden Zahnwellen-Verbindungen abzieht. Die Kühlung wurde konstruktiv so ausgeführt, dass sie die an den Lagerstellen entstehende Wärme am Aussenring der Lager abführt. Erste Versuche ohne Kühlung hatten Oberflächentemperaturen an den beiden Lagerblöcken von über  $80^\circ\text{C}$  ergeben. Solche Temperaturbereiche hätten die Untersuchungen der Schmierstoffe in den Zahnwellen-Verbindungen signifikant beeinflusst und mussten daher zu Gunsten einer möglichst konstanten Temperaturführung ausgeschlossen werden. Der berührungslose Temperatursensor erfasst bei der axialen Vorbeifahrt neben den sicherheitsrelevanten Lagertemperaturen auch die für die Versuchsauswertung interessante Wellenkörpertemperatur der Zahnwellen-Verbindung.

Bei der Rotation der Prüflinge tritt eine durch die Querkraft verursachte Relativbewegung zwischen den Flankenpaaren der Welle und der Nabe auf, die Abriebverschleiß an den Zahnflanken der Verbindungen verursacht. Als Folge des Verschleißabtrages der Zahnflanken wird das Spiel zwischen den Zahnflanken vergrößert, wodurch die Exzentrizität zwischen Welle und Nabe anwächst. Die Exzentrizität als Maß für die Länge der Relativbewegung pro Umdrehung wird jeweils pro Verbindung über einen Wegaufnehmer erfasst, **Bild 2**. Die Erfassung der Exzentrizität ist Grundlage für die Auswertung von Verschleißintensitäten, die Grundlage für eine Verschleißabschätzung [2] sind. Die Richtung der Exzentrizität ist im Prüfaufbau durch die Schwenkbewegung entlang der Hubspindel um den Fußlagerpunkt festgelegt. Parallel dazu sind die Wegaufnehmer ausgerichtet.



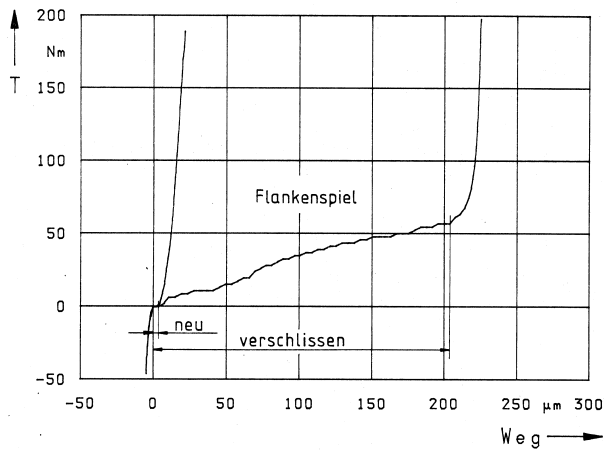
**Bild 2:** Exzentrizitätsmessung

Im Stillstand können über inkrementale Drehwinkelnehmer die Verdrehspiele der beiden Prüfverbindungen gemessen werden. Zu diesem Zweck wird der Prüfwellenstrang in der Mitte zwischen den beiden Verbindungen gegen Verdrehen fixiert, **Bild 3**. Zuvor müssen die Prüfnaben-Lagerblöcke in Nullstellung zurückgeschwenkt werden, so dass keine radiale Verlagerung mehr zwischen den Wellen- und Nabenachsen besteht.



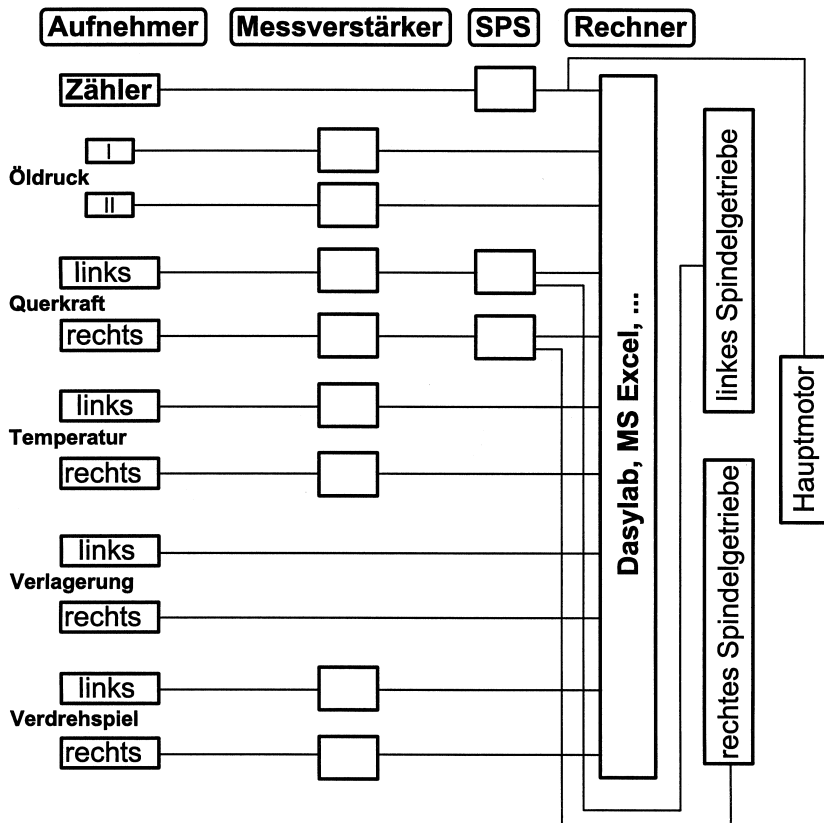
**Bild 3:** Fixierung des Prüfwellenstrangs in der Mitte für die Verdrehspielmessung

In diesem Referenzzustand wird mittels des hydraulischen Verspannmotors ein Drehmomentwechsel von  $-560 \text{ Nm}$  bis  $+560 \text{ Nm}$  durchfahren und gleichzeitig die Verdrehwinkel an den Verzahnungen aufgenommen. Das Spiel ergibt sich dabei aus dem bei annähernd konstantem minimalen Drehmoment zurückgelegten Weg am Teilkreis. Die graphische Auftragung im Koordinatensystem und rechnerische Auswertung ermöglicht die Bestimmung des Verdrehspiels und der Verdrehsteifigkeit. Die Messungen des Flankenspiels werden nicht kontinuierlich, sondern jeweils nach einem Zeitintervall durchgeführt, **Bild 4**.



**Bild 4:** Bestimmung des Flankenspiels /1/

Über einen induktiven Zähler werden die Umdrehungen des Prüfstranges erfasst und in der SPS abgespeichert. Die Aufzeichnung der Umlaufanzahl dient der späteren Darstellung von „Zahndickenabnahme pro Umdrehung“ und „Radialverlagerung = f(Lastwechselzahl)“ etc. im Rahmen der Auswertung.



**Bild 5:** Prinzipieller Aufbau der Messtechnik des Prüfstandes

Die Temperaturmessung der Prüfverbindungen wird kontinuierlich mit dem berührungslosen Temperaturstrahlungsmessgerät durchgeführt. Die Messdaten werden über eine Messwerterfassungskarte in einem PC verarbeitet und dokumentiert.

**Bild 5** zeigt den Aufbau des gesamten Mess- und Steuerungssystems des Prüfstandes.

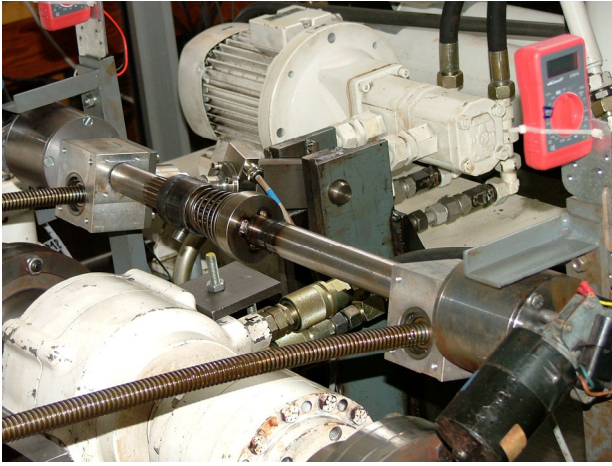
## 2 Inbetriebnahme

Konstruktive Maßnahmen erlauben eine einfache Montage und ein erleichtertes Wechseln der Prüfverbindungen. Die Naben sind je mit sechs M8-Schrauben an der Nabhöhse verschraubt. Da die Verbindung mit Schiebesitz ausgeführt ist, (Passung 9H/8f) sind die Prüfwellen ohne großen axialen Kraftaufwand zu montieren. Vor der Montage werden die beiden Lagerblöcke durch die Spindelhubgetriebe vom Prüfstand weggeschwenkt (siehe **Bild 7**), so dass der notwendige Raum für den axialen Welleneinbau gewährleistet ist. Die Antriebsmotoren der beiden Spindelhubgetriebe können für diesen Vorgang durch eine Zahnwellen-Verbindung synchronisiert werden, damit die beiden drehsteifen Kupplungen bei der Schwenkung der Lagerblöcke keinen unzulässig großen Radialversatz erfahren und so beschädigt werden, **Bild 6**.

Wenn die beiden Prüflinge, die gleichzeitig im Betrieb laufen, mit verschiedenen Schmierstoffen gefahren werden, kann ein unterschiedlicher Verschleiß an den Flankenpaaren auftreten. Dadurch würde sich eine Differenz bei den Radialverlagerungen der beiden Prüfverbindungen einstellen. Da die zwei drehsteifen Kupplungen im Prüfwellenstrang einen maximalen Radialversatz von 4,6 mm nicht überschreiten dürfen, muß dieser extreme Fall durch ein Abschaltkriterium berücksichtigt werden. Eine mögliche Maßnahme ist die Installation von zwei Endschaltern seitlich an den Lagerblöcken, die im Gefahrenfall die Antriebe des Prüfstandes ausschalten. Dabei ist nicht zu erwarten, dass selbst die durch maximalen Verschleiß an den Zahnflanken bis zum Ende der jeweiligen Prüfdauer verursachte Schwenkung eines Lagerblockes

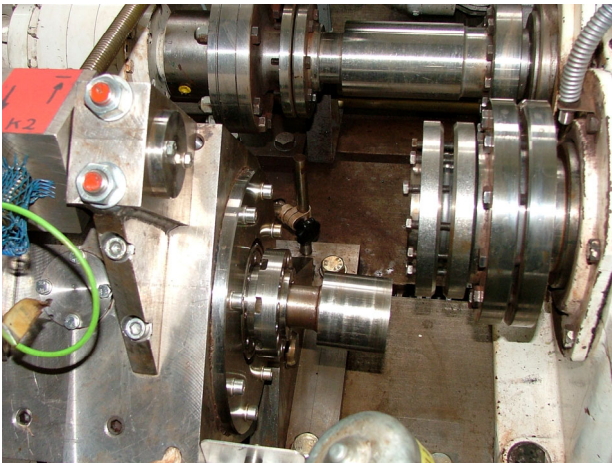
den obigen Schwenkbereich von 4,6 mm überschreitet.





**Bild 6:** Synchronisierung der Spindelhubgetriebe mittels Zahnwellen-Verbindung

Ein Zurückschwenken der beiden Lagerblöcke erfolgt durch die Spindelhubgetriebe. Die Nullstellung der Lagerblöcke wird durch die Wegaufnehmer erfasst. In Nullstellung können die beiden Prüfwellen aus den Nabhülsen kraftfrei ausgeschoben und mit den Spanscheiben an den Getriebewellen eingespannt werden, Bild 7.



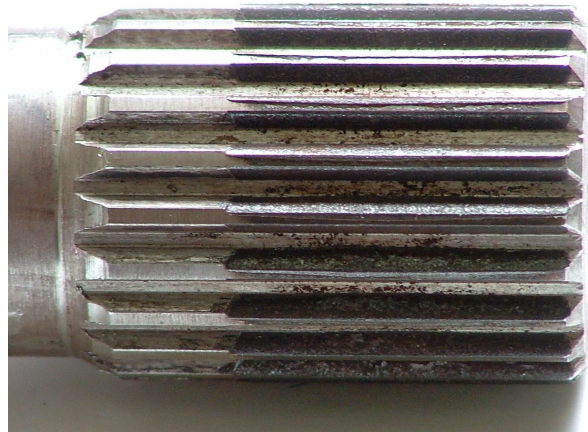
**Bild 7:** Montage der Prüflinge

### 3 Exemplarisches Ergebnis der Untersuchungen

Eine der geprüften Zahnwellen-Verbindungen im Rahmen der Untersuchungen zur Verschleißfestigkeitsprüfung unter Verwendung von Schmiermitteln ist in **Bild 8** zu sehen. Auf den Zahnflanken sind die dunklen Abriebpartikel in Form von Reibrost deutlich zu erkennen. Da die Verbindungen durch eine Lastkombination mit einem ideellen Radius von  $R_f = 100 \text{ mm}$  belastet wurde, ist ein Umschlagen der Lastflanken ausgeschlossen und es kommt zu einem praxisnahen Verschleißbild, das zunächst durch Reiboxidation und am Ende der Lebensdauer durch Flankenmaterial-Ermüdungsschäden gekennzeichnet ist. Die in **Bild 8** und **Bild 9** darge-

stellte Welle bzw. Nabe wurde als Referenzverschleißfall ohne Verwendung eines Schmierstoffes eingesetzt.

Durch den Einsatz von Schmierstoffen sowie Oberflächenbeschichtungen kann das Verschleißverhalten an den Prüflingen deutlich beeinflusst werden. Ein Beispiel dafür ist die Verschleißminderung durch die Ölschmierung /1, 2/. Im Rahmen der aktuell laufenden Untersuchungen für die Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA), werden die aktuellen Möglichkeiten zur Verschleißreduzierung an diesem Prüfstand weiter untersucht.



**Bild 8:** Ungeschmiert untersuchte Welle



**Bild 9:** Ungeschmiert geprüfte Nabe

### 4 Literatur

- /1/ Zapf, R.: Betriebs und Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellen-Verbindungen mit Schiebeseitz. Dissertation, TU Clausthal 1986
- /2/ Schäfer, G.: Der Einfluß von Oberflächenbehandlungen auf das Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellen-Verbindungen mit Schiebeseitz. Dissertation, TU Clausthal 1995

## Leistungspunktesystem - ein Werkzeug im Rahmen der Studienreformen innerhalb des Bologna - Prozesses

Wächter, M.

*Ein Ziel innerhalb des Bologna-Prozesses ist die Flexibilisierung der studentischen Ausbildungswege innerhalb der Heimathochschule sowie national und international hochschulübergreifend. Die Modularisierung von Studienangeboten und die Akkumulierung dieser Studienleistungen zu einem allgemein anerkannten Hochschulabschluss machen den Einsatz eines Leistungspunktesystems mit Transfer- und Akkumulierungskomponente, konform dem European Credit Transfer System, zwingend erforderlich.*

*A goal within the Bologna-process is an increase of flexibility of the student's path of education within the home university as well as encompassing these ideas nationally and internationally. The modularisation of offered studies and the accumulation of the student's achievements towards a generally acknowledged degree make the use of an achievement point system with a transfer- and accumulation component, conforming with the European Credit Transfer System, imperatively necessary.*

### 1 Hintergrund

Die Hochschulen befinden sich zur Zeit in einer tiefgreifenden Umstrukturierung, die durch die Bologna - Erklärung zur Schaffung eines kompatiblen europäischen Hochschulraums eingeleitet ist. Diese Veränderungen gehen in den Ingenieurwissenschaften einher mit der Abkehr von einzügigen Diplomstudiengängen und Neuorientierung auf eine gestufte Studienstruktur mit Bachelor- und Masterabschluss. Mit der Einführung eines zweizügigen Bildungsgefüges sind sowohl organisatorische als auch inhaltliche Reformen der Studiengänge verbunden. Neben der beruflichen Erstausbildung spielt die Weiterqualifikation oder Umorientierung in Form des lebenslangen Lernens eine entscheidende Rolle. Durch die gestuften Studiengänge soll sich eine stärkere Internationalisierung der Hochschullandschaft in Form von gesteigerter Attraktivität der deutschen Hochschulen einstellen sowie eine Zunahme der Studierendenmobilität national und international.

Im Projekt "Entwicklung und Erprobung eines integrierten Leistungspunktesystems in der Weiterentwicklung modularisierter Studienangebote am Beispiel der Ingenieurwissenschaften", gefördert durch die Bund-Länder-Kommission /1/ wurden Eckpunkte für den Einsatz eines Leistungspunktesystems mit Transfer- und Akkumulierungskomponente erarbeitet.

### 2 Komponenten eines Leistungspunktesystems

Die Anwendung eines Kredit- oder Leistungspunktesystems auf Basis der Arbeitsbelastung der Studierenden ist Voraussetzung zur Realisierung der Umstrukturierung innerhalb der Hochschullandschaft. Die gegenwärtige Praxis von Kenntnisprüfungen bzw. Einzelgesprächen bei der Anerkennung von Studienleistungen, die an anderen Hochschulen - national oder international - erbracht werden, bietet den Studierenden keine Planungssicherheit. Es muss im Vorfeld eines Hochschulwechsels feststehen, ob oder in wie weit Studienleistungen anderer Hochschulen für den angestrebten Abschluss anerkannt werden.

Die erworbenen Kompetenzen sind ein wichtiges Kriterium für die Profilausbildung zum einen des Studiengangs aber auch einer jeden Hochschule /2/. In Umfragen wurden Absolventen, Arbeitgeber und Lehrende befragt, welche Kompetenzen aus deren Sicht zu einem berufsbefähigenden Studium führen. Ferner wurde eine Einschätzung vorgenommen, welche Kompetenzen in welchem Umfang in den einzelnen Modulen/Lehrangeboten vermittelt werden.

Ein allgemein anerkanntes Leistungspunktesystem zu entwickeln, das den Arbeitsaufwand bis zum erfolgreichen Abschluss der Studienleistung und die erworbene Kompetenz sowie die entsprechende Wissenstiefe berücksichtigt und als "Währungseinheit" im Rahmen der Anerkennung und Akkumulation von Studienleistungen Anwendung findet, ist eine anspruchsvolle Aufgabenstellung.



## 2.1 Workload

Zur Bestimmung der Workload wurde ein Programmsystem entwickelt. Mit Hilfe dieses internetbasierten Tools wurden Informationen zum Aufwand für einzelne Module oder einzelner Studienabschnitte, ob in Präsenz- oder Selbststudium oder zu Zeiten für die Studiumsorganisation, um nur einige Beispiele zu nennen, eingeholt. In einer Pilotphase wurden diese Informationen in einer "Paper and Pencil" Umfrage erhoben. Die Teilnehmerquote an diesen Workloaderhebungen erfüllte nicht die erhofften Erwartungen. Es entstand der Eindruck, dass von Seiten der Studierenden das Interesse zur Mitwirkung an einer solchen Untersuchung sehr gering ist. Zum anderen drängte sich die Annahme auf, dass das Werkzeug zu komplex und zu aufwendig ist und sich daraus die geringe Resonanz erklären lässt. Die rudimentären Ergebnisse bei der Workloadanalyse erlaubten die Entwicklung eines Leistungspunktesystems auf Basis der Arbeitsbelastung nicht, so dass Alternativlösungen gesucht werden mussten.

## 2.2 Kompetenz und Lernziel

Ein zweites Standbein innerhalb des zu entwickelnden Leistungspunktesystems wurde in den erworbenen Kompetenzen und Lernzielen der Module gesehen. Für den Studiengang Maschinenbau wurde der verbale Text zur Beschreibung der Lernziele in eine Matrix überführt, die die Wissenstiefe jedes Lernzieles abbildet. Ausgehend von dieser Matrix wurden Mindestlernziele herausgearbeitet, die als unabdingbare Kernfächer für den Studiengang Maschinenbau anzusehen sind. Für das Grundstudium ließ sich zwischen den beteiligten Hochschulen eine große Übereinstimmung an Kernfächern feststellen, dagegen ist die Schnittmenge der Module im Hauptstudium gering. Dies macht deutlich, dass aufgrund der jeweiligen Hochschulprofile nur wenige Gemeinsamkeiten anzutreffen sind. So bilden einige Hochschulen den Spezialisten mit einer großen Wissenstiefe und andere den Generalisten mit einer großen Wissensbreite aus.

Das Profil der Hochschule und des Studiengangs ist über die prozentualen Anteile an Fachkompetenz, Methodenkompetenz, Systemkompetenz und Sozialkompetenz /3, 4/ definierbar und hilfreich beim Transfer und der Akkumulierung von Studienleistungen.

## 3 Zuordnung der Leistungspunkte zu den Modulen

In einem ersten Ansatz wurde eine Formel entwickelt, die die Leistungspunkte für ein Modul in Abhängigkeit von der Kompetenz, vom Lernziel und vom Umfang in Semesterwochenstunden ermittelt. Bei der Entwicklung der Workloadformel wird die Annahme getroffen, dass die Kompetenz und das Lernziel einen gleichwertigen Einfluss auf die Kreditpunkte haben sollten. Das Anspruchsniveau steht in direktem Zusammenhang mit dem Lernziel. Die Kompetenz wird als Wissensbreite angesehen und das Lernziel als Wissenstiefe. Der Arbeitsaufwand, der Grundlage für die Kreditpunkte sein soll, ist abhängig davon, wie breit bzw. wie tief der Wissenszugewinn innerhalb eines Moduls ist und wird in Relation zum Umfang in Semesterwochenstunden gesetzt. Diese Workloadformel wurde allen Projektpartnern als Werkzeug zur Verfügung gestellt, mit der Bitte diese Formel auf ihre Anwendbarkeit in der eigenen Hochschule zu testen und mit den Ergebnissen der Workloaderhebung in Beziehung zu setzen. An der TU Ilmenau wurde dieses Werkzeug zur Vergabe der Kreditpunkte eingesetzt, die Ergebnisse sind in deren Abschlussbericht dargelegt /2/.

An der TU Clausthal wurden für das Maschinenbaustudium die Kreditpunkte für die einzelnen Lehrveranstaltungen basierend auf unterschiedlichen Daten gegenübergestellt. Als Information diente die Wordloaderfassung mit Fragebogen im Sommersemester 2002, die internetbasierte Umfrage im Sommersemester 2003, die Bestimmung mit Hilfe der Workloadformel und die Einschätzung des Aufwandes aus Sicht der Lehrenden. Es zeigte sich, dass die Kreditpunkte der einzelnen Module in Abhängigkeit vom angewandten Verfahren unterschiedliche Werte annahm, dabei war keine einheitliche Tendenz festzustellen, sondern eine Variation von Modul zu Modul. Zum einen sind die Studierenden der Ansicht, dass der Arbeitsaufwand höher ist, zum anderen erwarten die Lehrenden mehr Einsatz oder die Formel bestimmt in Abhängigkeit von Kompetenzzugewinn und Wissenstiefe einen höheren Aufwand.

Eine Absicherung der Ergebnisse erfolgte an der TU Ilmenau und der TU Clausthal im Rahmen der semestermäßigen Lehrevaluation. Die Zusatzfragen zum Arbeitsaufwand in den einzelnen Lehrveranstaltungen zeigten für die TU Clausthal, dass die Arbeitsbelastung pro Woche nach Fachsemestern

zwischen 37 Stunden und 50,5 Stunden schwankt. An der TU Ilmenau bestätigten die Evaluationsergebnisse diese Tendenz. Die Wahrnehmung der Angebote an Präsenzveranstaltungen schwankte je nach Modul sehr stark, es gibt Module, die im Mittel zu weniger als 50 % besucht werden, und Module mit einer 90% bis 100%-igen Präsenz.

Eine weitere Einschätzung des Arbeitsaufwandes erfolgte im Rahmen eines Absolventeninterviews im Studiengang Maschinenbau an der TU Clausthal. In Anlehnung an den Modellstudienplan erfolgte eine Einschätzung des Arbeitsaufwandes für Präsenzzeiten, Vor- und Nachbereitungszeiten sowie Prüfungsvorbereitungszeiten für die einzelnen Module, dabei wurde auch berücksichtigt, dass die Vorlesungen und Übungen nicht immer regelmäßig besucht werden, sondern in einigen Fällen der Stoff anhand von Literatur oder Mitschriften von Kommilitonen erarbeitet wird.

Die Kreditpunkte für einzelne Module nach der Workloadformel, dem Absolventeninterview und der Lehrevaluation werden verglichen, es liefern jeweils zwei Verfahren identische Kreditpunkte, wobei die Verfahren je nach Modul variieren. Zur Lehrevaluation muss angemerkt werden, dass die Umfrage zu einem Zeitpunkt stattfand, zu dem die Prüfungen zum Modul noch nicht abgeschlossen waren, so dass die Aussage zum Aufwand für die Prüfungsvorbereitung als Schätzwert angesehen werden muss.

Eine Folge dieser Ergebnisse ist die Erkenntnis, dass die Zuordnung der workloadbasierten Kreditpunkte zu den Modulen in regelmäßigen Abständen evaluiert werden muss. Zum einen wechseln im Laufe der Zeit die Dozenten der Module oder eine Umstrukturierung einzelner Module schafft unterschiedliche Vorkenntnisse für andere Module und somit einen höheren oder niedrigeren Aufwand für einen erfolgreichen Abschluss.

#### **4 Auswirkungen innerhalb der Hochschule**

Die Einführung eines Leistungspunktesystems mit Transfer- und Akkumulierungskomponente kann nur durch die Hochschulgremien geschehen. Im Rahmen eines Projektes kann ein solches Kreditpunktesystem zwar entwickelt werden, aber letztendlich entscheiden die Hochschulgremien über den Erfolg eines solches Systems. Der Studiengang Maschinenbau wird in Clausthal nicht nur vom Fachbereich Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Chemie bedient, sondern partizipiert an Lehrleis-

tungen anderer Fachbereiche, somit hat die pilotmäßige Einführung eines Leistungspunktesystems, das über das gegenwärtig angewandte ECTS-System hinaus geht, Auswirkungen auf die gesamte Hochschule.

Als erste Reaktion auf die Einführung eines Leistungspunktesystems mit Transfer- und Akkumulationsparametern erfolgte eine Angleichung der Semesterlängen, in der Vergangenheit wies das Wintersemester eine Vorlesungsperiode von 16 Wochen und das Sommersemester von 12 Wochen auf.

Es ist zu beobachten, dass die Studienreformen nach dem Bologna-Prozess mit den Themenstellungen Kreditpunkt, Leistungspunktesystem, Modularisierung, gestufte Abschlüsse, Lernziel, Lernergebnis, Learning Outcomes oder Kompetenz langsam Einzug in die Hochschulgremien hält.

Im Rahmen dieser Studienreform werden an der TU Clausthal diverse modularisierte und mit Leistungspunkten bewertete Bachelor- und Masterstudiengänge eingeführt. Für die derzeit sich in der Akkreditierungsphase befindlichen Bachelor- und Masterstudiengänge wird das ECTS-System angewandt, wobei die Zuordnung der Kreditpunkte zu den Modulen nicht auf der Basis der realen studentischen Arbeitsbelastung erfolgt, sondern in Abhängigkeit von den Semesterwochenstunden. Nur in wenigen Fällen wird eine aufwandsabhängige Zuordnung der Kreditpunkte zu den Modulen vorgenommen. In einer Zielvereinbarung zwischen dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur und der Technischen Hochschule Clausthal wird bis Ende 2007 die Umsetzung der Bachelor-Master-Struktur für Studiengänge mit 2/3 aller Studienanfängerplätzen vereinbart, alle Studiengänge sollen bis Ende 2010 umstrukturiert sein.

#### **5 Leistungspunkte unter internationalen Gesichtspunkten**

Im Rahmen einer kleinen Umfrage wurden unter internationalen Gesichtspunkten Absolventen der Hochschule in Kinshasa (Kongo), Kairo (Ägypten), Baku (Aserbaidschan), Panamericana (Mexiko), Liaoning (China) und Baia Mare (Rumänien) zum Einsatz von Leistungspunktesystemen und der studentischen Arbeitsbelastung befragt. Die Umfrage zeigte, dass lediglich in zwei der acht befragten Hochschulen Kreditpunkte vergeben werden, wobei z. B. 194 Kreditpunkte während eines achtsemest-

rigen Studiums mit einem Arbeitsaufwand von etwas über 8000 Stunden in China und 472 Kreditpunkte für ein zehensemestriges Studium mit einem Aufwand von über 13000 h in Mexiko zu erwerben sind. Die Untersuchung zeigte weiter, dass der Arbeitsaufwand pro Jahr je nach Hochschule zwischen 1100 Stunden (AinShams, Kairo) und 2680 Stunden (Panamericana, Mexiko) variiert. Bei einem Studienjahr mit 46 Wochen und einer Studienwoche mit 5 Tagen und 12 Stunden lässt sich ein maximal möglicher Zeitaufwand zu 2760 Stunden ermitteln. Die Studiendauer an diesen Hochschulen bis zum ersten berufsqualifizierenden Abschluss variiert zwischen 8 und 12 Semestern. An dieser Stelle soll angemerkt werden, dass es sich bei diesen Aussagen um Einschätzungen von Einzelpersonen handelt und daraus kein allgemein gültiger Trend abzuleiten ist.

Für den Studiengang Maschinenbau an der AGH Krakau (Polen) und der Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (Spanien) wurden die Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen im Modulbeschreibungsvordruck erfasst. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Kompetenzeinschätzung und die Lernziele gelegt. Die prozentualen Anteile der vier Kompetenzen (Fach-, Methoden-, System- und Sozialkompetenz), wie sie sich im Studiengang an der AGH Krakau widerspiegeln, decken sich im wesentlichen mit denen der TU Clausthal, für den Studiengang Maschinenbau in Gijón ergibt sich ein erheblich höherer Anteil an Fachkompetenz als an den bisher betrachteten Hochschulen und damit einhergehend eine erheblich geringere Ausbildung in den Bereichen der Methoden- und Systemkompetenz, wogegen der Sozialkompetenzanteil kaum abweicht. Dieses Ergebnis konnte aufgrund der umfangreichen Grundlagenausbildung an der spanischen Hochschule erwarten werden und wurde durch diese Auswertung bestätigt. Die Informationen dienten ferner als Input für die Kreditformel und wurden mit den derzeit zugeordneten Leistungspunkten verglichen.

## 6 Fazit

Der Einsatz eines Leistungspunktesystems zum Transfer und Akkumulierung von Studienleistungen schafft eine wichtige Voraussetzung um den Anforderungen nach einer zeitgerechten Ausbildung an den Hochschulen Rechnung zu tragen. Die Globalisierung fordert eine internationalere Ausbildung der Studierenden in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen, sei es um neue Kompetenzen zu

erwerben oder eine Vertiefung in einem bestimmten Bereich zu erhalten, oder einfach Land und Leute oder die Sprache kennen zu lernen. Die Verbreitung und Akzeptanz von Leistungspunkten machen eine individuelle Gestaltung des Studiums unter Beachtung des Erwerbs von Mindestkompetenzen für das jeweilige Ausbildungsziel möglich.

Resümierend kann festgehalten werden, dass die Entwicklung eines Leistungspunktesystems mit Transfer- und Akkumulierungskomponenten, welches auf der realen Arbeitsbelastung der Studierenden basiert, nicht im verschlossenen Kämmerlein möglich ist. Die Mitarbeit und Einbeziehung der gesamten Hochschule in Form von Studierenden, Lehrenden und Hochschulgremien ist unerlässlich, ferner ist eine aktive Beteiligung der Industrie als spätere Arbeitgeber des Hochschulproduktes "Absolvent" notwendig. Die Ausbildungsziele des jeweiligen Studienganges und der jeweiligen Hochschule sind durch die Fachkompetenz, Methodenkompetenz, Systemkompetenz und Sozialkompetenz zu definieren, darauf aufbauend sind die entsprechenden Ausbildungsmodule mit Leistungspunkten zu versehen um daraus einen transparenten Hochschulabschluss gestalten zu können.

## 7 Literatur

- /1/ BLK-Projekt: Leistungspunkte, Abschlußbericht AP4 - Internationalisierung, 2004  
[http://www.alt.tu-ilmenau.de/lps/clausthal/Abschlussbericht\\_Clausthal.pdf](http://www.alt.tu-ilmenau.de/lps/clausthal/Abschlussbericht_Clausthal.pdf)
- /2/ Wächter, M.: Kompetenzen, Lernziele, Wissenstiefe und Workload - Bausteine im Leistungspunktesystem? IMW - Institutsmitteilung 28, 2003
- /3/ BLK-Projekt: Leistungspunkte, Abschlußbericht AP8 - Komponenten einer virtuellen Hochschule im Leistungspunktesystem, 2004  
[http://www.alt.tu-ilmenau.de/lps/ilmenau/Abschlussbericht\\_Ilmenau.pdf](http://www.alt.tu-ilmenau.de/lps/ilmenau/Abschlussbericht_Ilmenau.pdf)
- /4/ Dietz, P.; Wächter, M.: Modularisierung von Studiengängen, IMW - Institutsmitteilung 23, 1998
- /5/ BLK-Projekt: Leistungspunkte, Zwischenbericht AP4 - Internationalisierung, 2003  
[http://www.alt.tu-ilmenau.de/lps/clausthal/ZwBerichtM5\\_Clausthal.pdf](http://www.alt.tu-ilmenau.de/lps/clausthal/ZwBerichtM5_Clausthal.pdf)

## Neugestaltung der CAD - Lehre am Institut für Maschinenwesen unter Verwendung von Pro/ENGINEER Wildfire®

Guthmann, A.

*Zum Wintersemester 2004/2005 erfolgte eine Umstrukturierung der CAD-Lehre am Institut für Maschinenwesen (IMW). Im Folgenden wird ein kurzer Einblick in die Ausbildung der Studenten gegeben, welche unter Verwendung der neuesten Version des 3D-CAD-Systems Pro/ENGINEER® „Wildfire 2.0“, den Umgang mit einem modernen CAD-System erlernen.*

*Beginning with the winter term 2004/2005 the education on CAD-systems at the Institut für Maschinenwesen was restructured. Below a short insight into the new structure will be given. The students will learn how to use a modern CAD-system, „Wildfire 2.0“, the latest Version of the 3D-CAD-system Pro/ENGINEER®.*

### 1 Pro/ENGINEER®

#### 1.1 Einleitung

Das 3D-CAD-System Pro/ENGINEER® der Firma Parametric Technology Corporation (PTC) ist im Maschinenbau weit verbreitet. Das wichtigste Merkmal des Systems ist die vollständige Parametrisierung der Modelle, wodurch die Durchgängigkeit des Systems erhöht wird, d.h. Änderungen an einem Bauteil werden in die anderen Module des Systems übernommen.

Die Modellerzeugung erfolgt in der Regel flächenorientiert. Eine 2D-Darstellung wird entweder in die Tiefe gestreckt oder um eine Mittelachse rotiert. Des Weiteren ist es auf sehr einfache Art und Weise möglich, Fasen, Rundungen oder Bohrungen zu erzeugen. Einzelne Bauteile können zu Baugruppen zusammengesetzt und mit Hilfe einer geeigneten Schnittstelle können Normteile aus entsprechenden Datenbanken ausgewählt und integriert werden. Eine Simulation von Bewegungsabläufen, z.B. die Bewegungen von Kurbelwelle und Kolben in einem Verbrennungsmotor, kann zum Zweck der Kollisionskontrolle durchgeführt werden. Viele weitere Funktionen und Module machen Pro/ENGINEER® zu einem umfangreichen und

vielseitigen, in fast allen Industriezweigen einsetzbaren Konstruktionswerkzeug.

#### 1.2 Pro/ENGINEER® Wildfire

Mitte des Jahres 2003 erfolgte mit Pro/ENGINEER® Wildfire die deutsche Markteinführung einer neuen, stark veränderten Version des erfolgreichen 3D-CAD-Systems Pro/ENGINEER®. Gegenüber bisherigen Versionen, z.B. Pro/ENGINEER® 2001, bietet diese Version eine Vielzahl an Neuerungen, welche das Arbeiten wesentlich effizienter und produktiver gestalten, Untersuchungen bestätigen dieses /1/.

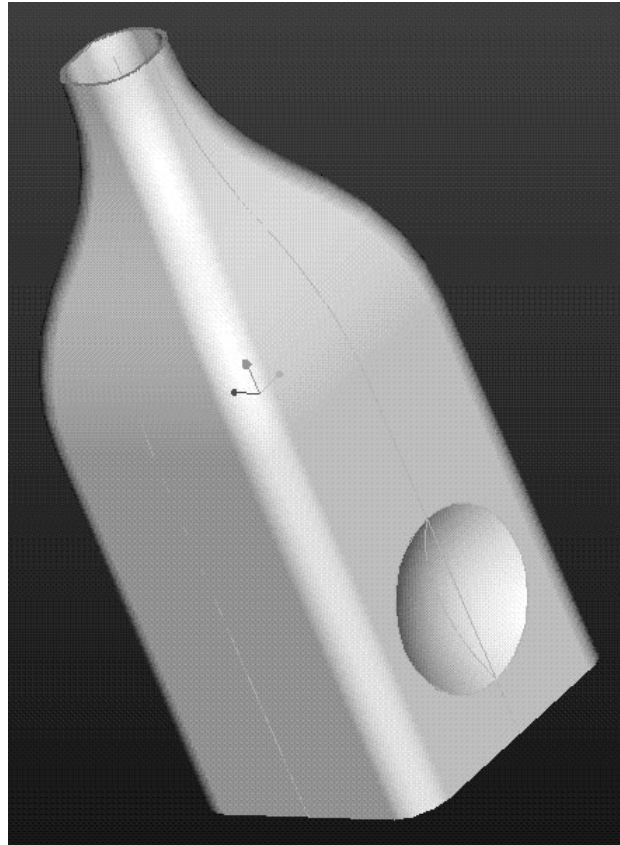
Pro/ENGINEER® Wildfire besitzt eine vollständig überarbeitete und modernisierte grafische Benutzeroberfläche, wodurch die Leistungsfähigkeit erheblich gesteigert und der Lernaufwand verringert wird. Weitere Verbesserungen im Bereich der Bedienung des Systems sind z.B. die neugeschaffene Funktion für eine Online-Zusammenarbeit mit anderen Standorten sowie ein einfacher zu bedienendes CAM-Modul mit neuen Werkzeugwege-Funktionen. Im Bereich der Entwicklung wurden erweiterte Möglichkeiten für fotorealistische Darstellungen und für die Flächenmodellierung geschaffen. Verbesserungen im Hinblick auf die Konstruktion sind das neue Modul zur Konstruktion von Blechteilen, die Erstellung von Kabel- und Rohrleitungskonstruktionen, die verbesserte Verwaltung von großen Baugruppen usw. Sollte eine gewünschte Funktion vom System nicht ausgeführt werden können, klärt ein Tool den Benutzer über mögliche Ursachen auf und unterbreitet Lösungsvorschläge. Des Weiteren bietet die neueste Version, Pro/ENGINEER® Wildfire 2.0, eine Notizfunktion an, mit welcher Informationen aus 2D-Zeichnungen erfasst und in die 3D-Modelle übertragen werden können. Hierdurch können Informationen der Konstruktion wie Bemaßung, Oberflächenqualitäten, Toleranzen usw. auch im 3D-Modell dargestellt werden /2/, /3/, /4/.

## 2 CAD-Lehre am Institut für Maschinenwesen

Bisher bestand die CAD-Lehre am Institut für Maschinenwesen aus einem Angebot von Übungen mit 2D- und mit 3D-Systemen. Im ersten Semester stand im Rahmen der Ausbildung im Technischen Zeichnen für einige Studiengänge ein 2D-CAD-Kurs auf dem Lehrplan. Die Übungen dieses Kurses waren stark an die Übungen des manuellen Zeichnens angelehnt. Die Sicht- und Denkweisen bei der Zeichnungserstellung ähnelten sehr stark denen der Zeichnungserstellung von Hand. Das Ziel war ebenfalls die Erstellung einer technischen Zeichnung als Verständigungsmittel der Ingenieure. Im Hauptstudium wurden den Studenten als Wahlfächer bzw. Praktika 3D-CAD-Kurse angeboten. Interessierten Studenten, vor allem aus dem Bereich des Maschinenbaus und der Verfahrenstechnik, wurde hiermit die Möglichkeit gegeben, sich mit den vom technischen Zeichnen abweichenden Denkweisen und Praktiken des 3D-Konstruierens zu beschäftigen und vertraut zu machen.

Zum Wintersemester 2004/2005 erfolgte eine Umstrukturierung der CAD-Lehre am Institut für Maschinenwesen, um die Studenten an die heutigen Anforderungen in der Industrie, welche das Beherrschen von 3D-CAD-Systemen betreffen, heranzuführen. Bereits ab dem ersten Semester wird der Student, im Rahmen der Lehre im Technischen Zeichnen, im Umgang mit einem 3D-CAD-System geschult, der bisher in diesem Rahmen durchgeführte 2D-CAD-Kurs entfällt. Da diese Lehrveranstaltung für einen Großteil der Studiengänge eine Pflichtveranstaltung ist, wird erreicht, dass eine Vielzahl von Studenten während des Studiums mit einem 3D-CAD-System in Kontakt kommt und die Grundzüge der Benutzung dieser Systeme kennen lernt. Das Ziel des Einführungskurses besteht aus dem Erlernen des Umgangs mit verschiedensten Modellierungstechniken, um einfache dreidimensionale Bauteile selbstständig erstellen zu können. Hierfür wird den Studenten ein Skript an die Hand gegeben, welches unterschiedliche Techniken und Möglichkeiten von Pro/ENGINEER® erläutert und die Handhabung erklärt. Als Beispiele für verschiedene Techniken können das Hole-Tool zur Erstellung verschiedener Bohrungen mit und ohne Gewinde und die Erstellung von Bauteilen mit Hilfe von Leitkurven genannt werden. In **Bild 1** ist eine Übung aus dem Skript dargestellt. Die Flasche wird durch Anwendung mehrerer Modellierungstechniken hergestellt. Zunächst werden Leitkurven er-

zeugt, die zur Modellierung des Flaschen-Grundkörpers dienen. Anschließend muss mit Hilfe von Kurven und Flächen die Etikettenvertiefung aus dem Grundkörper herausgearbeitet werden. Zum Schluss wird die Flasche mit Hilfe des Shell-Tools ausgehöhlt.



**Bild 1:** Übungsaufgabe „Flasche“ des Übungsskriptes /5/

Nachdem anhand der Übungsaufgaben der Umgang mit den unterschiedlichen Modellierungstechniken von Pro/ENGINEER® verdeutlicht worden ist, erhalten die Studenten technische Zeichnungen von einfachen Bauteilen. Anhand dieser zweidimensionalen Zeichnungen sollen sie selbstständig, unter Anwendung des Erlernenen, dreidimensionale Modelle erarbeiten.

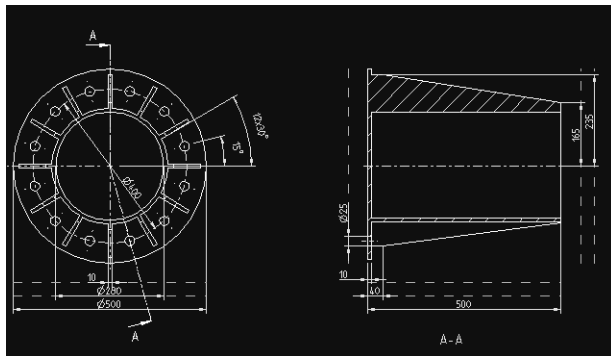
Studenten des Maschinenbaus erhalten durch die Umstrukturierung der CAD-Lehre zukünftig im Rahmen der Vorlesung „Konstruktionselemente“, ebenfalls Bestandteil des Grundstudiums, eine Vertiefung ihrer im ersten Semester erworbenen Pro/ENGINEER®-Grundkenntnisse. Während der dreisemestrigen Vorlesung müssen die Studenten sieben Konstruktionsübungen absolvieren. Ein Teil der dabei anfallenden technischen Zeichnungen muss mit Hilfe eines CAD-Systems erstellt werden.

Hierfür wird der Terminplan der Übungen in der ersten Hälfte des zweiten Semesters an die verän-

derte Struktur angepasst. Der Inhalt des Fortsetzungskurses besteht aus Übungen zur Erstellung von Baugruppen aus mehreren Einzelteilen, dem Erlernen des Umgangs mit Normteildatenbanken sowie der Umwandlung der dreidimensionalen Modelle in technische Zeichnungen, einschließlich Bemaßungen und zugehöriger Stücklisten.

Der Schwierigkeitsgrad der Konstruktionsübung wird mit jeder Aufgabe gesteigert, die Komplexität der Konstruktionen nimmt stetig zu, wobei nicht bei allen Konstruktionen eine CAD-Zeichnung verlangt wird. Ein Teil der Zeichnungen ist als Bleistiftzeichnung zu erstellen, um die im Rahmen der TZ-Lehre im ersten Semester vermittelten Zeichentechniken weiter zu schulen.

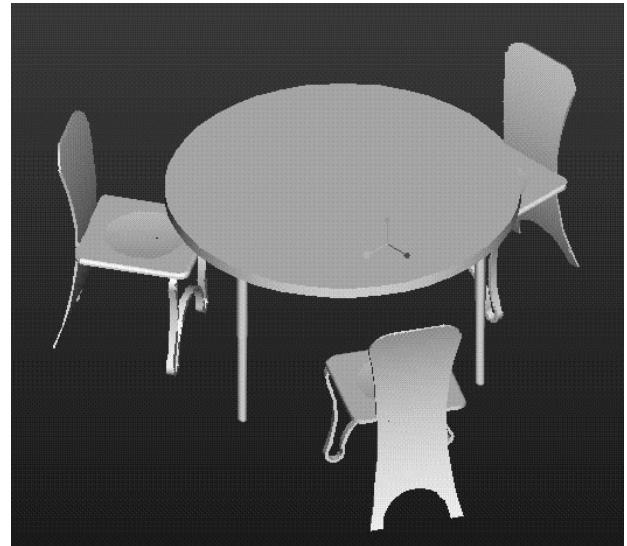
Bei der ersten, mit Hilfe eines CAD-Programms zu erstellenden, Aufgabe im Rahmen von Konstruktionselemente I im zweiten Semester, handelt es sich um eine einfache Bauteilkonstruktion. Die hierfür notwendigen CAD-Kenntnisse, zur Modellierung eines dreidimensionalen Bauteiles, haben die Studenten zum großen Teil bereits im Einführungskurs im ersten Semester erlangt, so dass es sich vor allem um eine Wiederholung handelt, um die Grundlagen zu festigen. Allerdings muss von dem Bauteil auch eine technische Zeichnung inklusive Stückliste angefertigt werden, wobei die neuerworbenen Fähigkeiten aus dem Fortsetzungskurs angewandt werden müssen. **Bild 2** zeigt eine Übungsaufgabe aus dem Skript zur Erstellung einer zweidimensionalen technischen Zeichnung.



**Bild 2:** Übungsaufgabe „Mastfuß“ /5/

Im dritten Semester (Konstruktionselemente II) steht u.a. eine Lagerkonstruktion auf dem Lehrplan, auch hierbei muss die technische Zeichnung mit Hilfe eines CAD-Systems angefertigt werden. In der Konstruktion müssen unterschiedliche Bauteile zu Baugruppen vereinigt werden, welches Kenntnisse zur Verknüpfung von Komponenten voraussetzt, die im Fortsetzungskurs anhand von Beispielen vermittelt werden. In **Bild 3** ist eine Übungsaufgabe

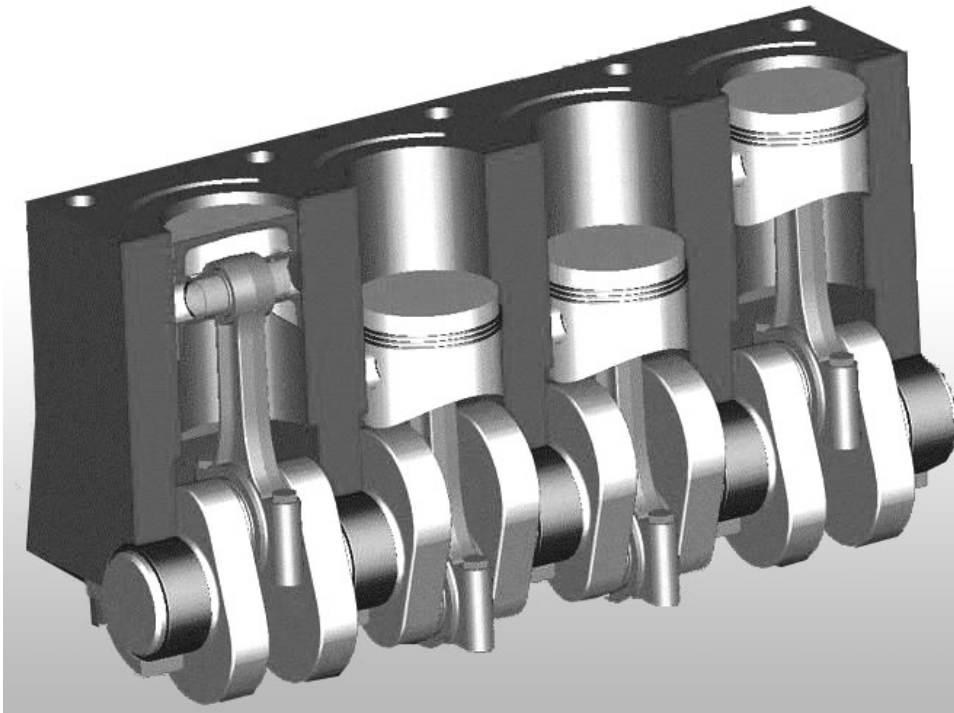
aus dem Skript dargestellt, welche dem Erlernen der Baugruppengestaltung dient. Die Sitzgruppe muss in mehreren Schritten zusammengesetzt werden. Zunächst werden die Stühle, bestehend aus Sitzfläche, Rückenlehne und Beinen, sowie der Tisch, bestehend aus Platte und Beinen, mit Hilfe unterschiedlichster Verknüpfungstechniken zu Einzelbaugruppen zusammengefügt. Anschließend werden diese Einzelbaugruppen zur Gesamtbaugruppe „Sitzgruppe“ vereinigt, wobei weitere Verknüpfungsmöglichkeiten benötigt werden.



**Bild 3:** Sitzgruppe /5/

Des Weiteren müssen die Studenten zur Lösung der Konstruktionsaufgabe Erfahrung im Umgang mit Normteildatenbanken haben, um die erforderlichen Lager, aber auch andere Normteile wie Schrauben oder Muttern in ihre Konstruktion einzuarbeiten. Die schwierigste und aufwendigste Konstruktionsaufgabe haben die Studenten im Rahmen von „Konstruktionselemente III“ im vierten Semester, in Form eines kompletten Getriebes, zu absolvieren. Hierbei müssen alle bis dato erlernten Kenntnisse im Umgang mit Pro/ENGINEER® angewandt werden. Als Übungsaufgabe ähnlicher Schwierigkeit dient im Fortsetzungskurs ein Verbrennungsmotor, dessen Einzelteile größtenteils selbst modelliert und zu einer Baugruppe vereinigt werden und von dem eine komplette technische Zeichnung angefertigt werden muss. Dargestellt ist dieser Verbrennungsmotor als 3D-Modell in **Bild 4**.





**Bild 4:** Verbrennungsmotor /5/

Dieses aus pädagogischer Sicht sinnvolle schrittweise Vorgehen in der CAD-Lehre hat den Vorteil, dass sich die Studenten des Maschinenbaus während des gesamten Grundstudiums mit Pro/ENGINEER® beschäftigen und sich dadurch eine gewisse Routine im Umgang mit dem Programm einstellt. Durch die selbstständige Modellierung der eigenen Konstruktionen gelingt es, sich ein umfassenderes Wissen anzueignen, als es durch das Abarbeiten einer vorgegebenen Aufgabe in einem Praktikum möglich ist.

Für interessierte Studenten anderer Studiengänge besteht weiterhin die Möglichkeit im Rahmen des Hauptstudiums an 3D-CAD-Praktika teilzunehmen.

### 3 Zusammenfassung

Durch die Neugestaltung der CAD-Lehre am Institut für Maschinenwesen ist es seit dem Wintersemester 2004/2005 für alle Studierenden möglich, bereits im ersten Semester, im Rahmen der TZ-Lehre, Einblicke in Welt der 3D-CAD-Programme zu erlangen. Infolge der Begleitung des gesamten Vordiploms durch das 3D-CAD-System Pro/ENGINEER® erlangen die zukünftigen Konstrukteure selbstständig erarbeitete, umfassende Kenntnisse für die spätere Berufspraxis.

### 4 Literatur

- /1/ PTC-Magazin, Ausgabe Oktober 2004
- /2/ [www.gmccad.de](http://www.gmccad.de)
- /3/ [www.wildfire-europe.com](http://www.wildfire-europe.com)
- /4/ [www.cadplus.de](http://www.cadplus.de)
- /5/ Skript zum Pro/ENGINEER-Praktikum, Institut für Maschinenwesen, TU-Clausthal, 2004

## Präsentation von selbstverzahnten Strukturen auf der Hannover Messe 2004

Trenke, D.; Söver, A.

*Im April diesen Jahres stellte das IMW zusammen mit dem Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik auf der Hannover Messe Industrie sich selbst verzahnende Strukturen sowie Anwendungsbeispiele hierfür vor. Hergestellt werden die Elemente und die Rahmen dieser Strukturen zum Teil durch das am IMW verwendete Verfahren des Selektiven Lasersinterns.*

*In April this year the IMW and the Institute for Material Science and Engineering introduced altogether interlocking elements and samples at the Hanover Exhibition Industry. The elements and its framework are partly manufactured at the IMW with selective lasersintering.*

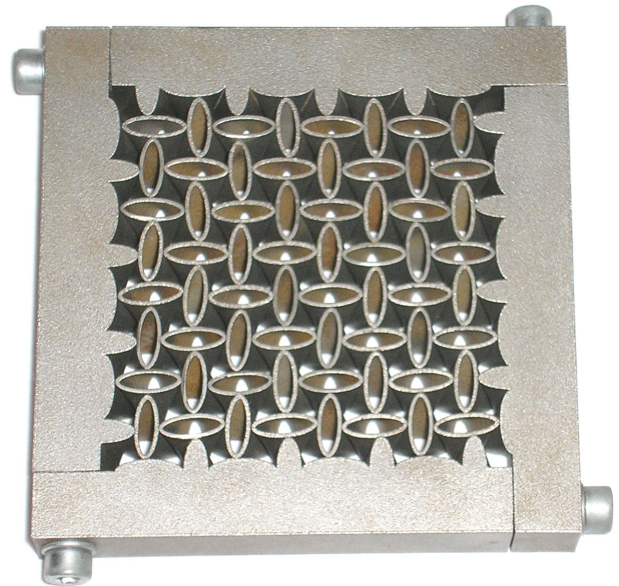
### 1 Einleitung

Den Wissenschaftlern der TU Clausthal und der Universität von West-Australien ist es gelungen, aus einzelnen Elementen zusammengesetzte Strukturen zu entwickeln, die sich ohne Verbindungselemente oder Bindemittel selbst tragen. Realisieren lässt sich das neue Designprinzip durch die Selbstverzahnung der einzelnen Elemente anhand ihrer Geometrie und Anordnung. Äußerer Halt erhalten die lose aneinander anliegenden Elemente durch einen Rahmen, der die Gesamtstruktur umschließt. Die Geometrie der Elemente kann z.B. rohrförmig (**Bild 1**), polyederförmig oder osteomorph sein.

Die Eigenschaften der Strukturen können dabei durch das Einsetzen von Elementen aus Materialien mit unterschiedlichen Charakteristika gezielt variiert werden. Eine weitere Besonderheit dieser Strukturen ist ihre Toleranz zu Fehlstellen: selbst beim Versagen der Hälfte der Elemente bleibt die Gesamtintegrität bestimmter Strukturen erhalten.

Die auf selbsttragenden Strukturen basierende Technologie kann in den verschiedensten Industriebereichen Anwendung finden. Das Spektrum reicht dabei von der Bauindustrie (Fundamente, Gehwegplatten, Tunnelbau), über die Sicherheitstechnik (Sicherheitstüren- und Wände, kugelsichere Westen) und der chemischen Industrie (Katalysatoren, Ölabscheider, usw.) bis hin zum Maschinenbau

(z.B. Torsionselemente) und der Luft- und Raumfahrt (Hitzekehlen für Raumfähren) /1/.



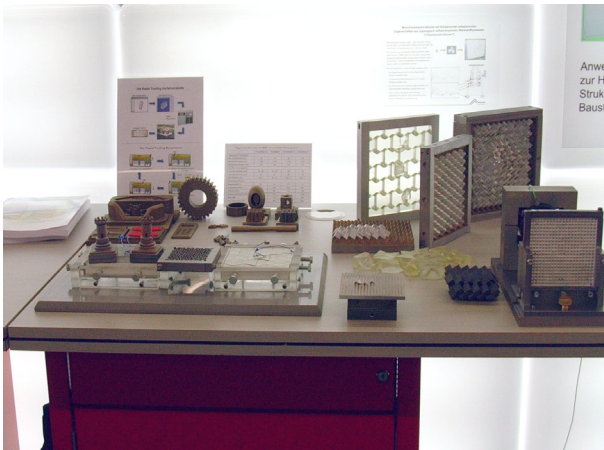
**Bild 1:** Struktur aus rohrförmigen Elementen

Zur Herstellung dieser komplexen Geometrien eignet sich insbesondere und teilweise ausschließlich das Fertigungsverfahren des Rapid Toolings, welches am Institut für Maschinenwesen angewendet und weiterentwickelt wird. Durch das selektive Lasersintern der Strukturelemente ist es möglich, die am Computer entwickelten und konstruierten Bauteile unmittelbar in reale Elemente umzusetzen. Hierdurch lassen sich innerhalb kürzester Zeit die verschiedensten Geometrien fertigen. Durch die Wahl der Sinterparameter und Sinterwerkstoffe werden die Eigenschaften der selbsttragenden Strukturen ebenfalls gezielt beeinflusst. Hierzu zählen z.B. die Porosität, Oberflächenrauigkeit, Festigkeit und Elastizität der einzelnen Bausteine. Als Sinterwerkstoffe werden am Institut für Maschinenwesen verschiedenste Metallpulver (Bronze, Stahl, Kupfer, usw.) aber auch Keramiken eingesetzt. Zudem ist es möglich, die Strukturelemente als Verbundstrukturen aus unterschiedlichen Materialkombinationen durch das Lasersintern herzustellen /2/.

## 2 Ausgestellte Exponate

In enger Zusammenarbeit wurden vom IMW und dem Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik zahlreiche Untersuchungen zur Gestaltung, Herstellung und Montage von unterschiedlichen Geometrieelementen durchgeführt. Des Weiteren wurden die charakteristischen Eigenschaften der zusammengesetzten Strukturen ermittelt. Hierzu zählen z.B. mechanisch/tribologische aber auch akustische Betrachtungen.

Ausgehend von diesen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten wurden die in **Bild 2** dargestellten Exponate ausgestellt, die einen Querschnitt von industriellen und praxisbezogenen Anwendungsmöglichkeiten der selbsttragenden Strukturen und deren Fertigung durch das Rapid Tooling aufzeigen.



**Bild 2:** Ausgestellte Exponate

Weitere Exponate verdeutlichten, wie speziell durch das Verfahren des Rapid Toolings die Struktureigenschaften beeinflusst und erweitert werden. Dazu wurde lasergesinterte Bauteile aus unterschiedlichen Werkstoffen und Anwendungsbereichen gezeigt, sowie komplexe selbsttragende Geometrien, die nur schwer bzw. durch kein anderes Fertigungsverfahren herzustellen sind.

## 3 Besucher und Feedback

Die im Vorfeld an die Messe gesetzten Erwartungen wurden voll und ganz erfüllt. Dies bezieht sich sowohl auf die Quantität als auch die Qualität der geführten Gespräche: von den durchschnittlich 30 Informationsgesprächen pro Tag war etwa die Hälfte konkret an einer Zusammenarbeit auf dem Gebiet der selbsttragenden Strukturen oder des Rapid Toolings interessiert. Hierbei ist zudem die Internationalität der Gespräche zu erwähnen. So kamen ca. 25 % der Standbesucher aus Asien oder dem europäischen Ausland.

An den selbsttragenden Strukturen zeigten neben den erwarteten Branchen auch die Holz- und Möbelindustrie Interesse. Des Weiteren kamen von den Besuchern neue Anwendungsvorschläge für diese Technologie wie z.B. Parkettböden, Raumteiler, variable Büromöbel usw.

Auf dem Gebiet des Rapid Toolings konnten neben dem typischen Anwenderzweig (Formenbau) auch neue Anwendergruppen konkret angesprochen werden. Hierzu zählen z. B. der Turbinenbau oder die Hersteller von Metallpulvern.

Abschließend sei noch die relativ hohe Anzahl an Gesprächen mit Schülern/Schülerinnen angemerkt, die sich in Bezug auf ihr geplantes Studium informierten.

## 4 Zusammenfassung

Aufgrund des einfachen Wirkprinzips der selbsttragenden Strukturen kann diese Technologie in den verschiedensten Industriebereichen Anwendung finden. Im Vordergrund steht die Übertragung und Implementierung der Technologie in bereits vorhandene Industriezweige (z. B. Fügetechnik).

Ein weiterer Beitrag zum Technologietransfer ist zu erwarten, wenn es möglich ist, die auf der makroskopischen Ebene vorliegenden Strukturen auf die mikroskopische oder sogar molekulare Ebene zu übertragen.

Die bei der Herstellung der Strukturelemente gewonnenen Erkenntnisse auf dem Gebiet des Rapid Toolings (Beeinflussung von Bauteileigenschaften durch modifizierte Sinterstrategien und Sinterwerkstoffe) lassen sich ebenfalls auf verschiedene Industriezweige transferieren. Zudem erschließen sich durch die Möglichkeit, poröse Bauteile zu fertigen, neue Anwendungsgebiete. Dies bezieht sich zum einen auf den Anlagenbau (z. B. Filtertechnik) als auch auf den Akustiksektor (Schwingungsdämpfung, Schallabsorption).

## 5 Literatur

- /1/ Trenke, D.; Estrin, J.: Selbsttragende Strukturen als neues Designprinzip, Neue Materialien und Verfahren, Ausgabe 4-2003, Hannover 2003
- /2/ Trenke, D.; Estrin, J.: Exponatbeschreibung Hannover Messe 2004, Selbsttragende Strukturen aus selbstverzahnten Bausteinen und deren Herstellung durch Rapid Tooling, IMW, IWW Clausthal 2003

## Maschinentechnische Exkursion des IMW im Oktober 2003

Guthmann, A.; Korte, T.; Ring, C.

*Wie bereits in vorangegangenen Jahren bot das IMW im Oktober 2003 für interessierte Studenten eine maschinentechnische Exkursion an. Ziel der fünftägigen Reise, vom 13.10.2003 bis 17.10.2003, waren diverse Firmen, vor allem im süddeutschen Raum. Den Studenten soll mit Exkursionen dieser Art die Möglichkeit geboten werden, durch Besichtigungen und Gespräche einen Einblick in die Praxis zu erlangen.*

*As in previous years the IMW offered an mechanically centered excursion for interested students during october 2003. Various firms in the southern part of Germany were the destination of this five-day-trip from the 13<sup>th</sup> to the 17<sup>th</sup> of october. The students should be given the chance to gain insight into the real world of work by visits and talks during these excursions.*

### 13. Oktober 2003

Am Morgen des 13.10.2003 brach in Clausthal eine 19-köpfige Reisegruppe, unter der Leitung von Professor Dietz, mit drei Kleinbussen zur maschinentechnischen Exkursion auf.

Das erste Ziel war die **ZF Luftfahrttechnik GmbH** in Kassel-Calden. Das Unternehmen entstand aus dem Zusammenschluss der ZF und der Henschel Flugzeug-Werke GmbH und entwickelt, konstruiert und produziert seit 1958 dynamische Hubschrauberkomponenten. Schwerpunkte des Unternehmens liegen im Bereich der Weiterentwicklung des Antriebskonzeptes für Hubschrauber, der Entwicklung und Fertigung von Hubschraubergetrieben, der Instandhaltung dynamischer Hubschrauberkomponenten und der Lieferung hochflexibler Prüfstandstechnik.

Nach einem kurzen Einführungsvortrag über die Geschichte und den Aufgabenbereich des Unternehmens folgte eine Besichtigung der Hauptrotortriebeinstandhaltung (**Bild 1**) und –montage sowie der Getriebeprüfstände. Sehr beeindruckend für die Exkursionsteilnehmer war insbesondere die Ausführungen über den Dokumentations- und Verwaltungsaufwand in Zusammenarbeit mit dem Luftfahrtbundesamt.



**Bild 1:** Instandsetzung eines Rotortriebes

Im Foyer des Unternehmens ist der Rotorkopf eines Helikopters ausgestellt (**Bild 2**).



**Bild 2:** Rotorkopf eines Helikopters

Nach einem Mittagessen im Flughafenrestaurant ging die Fahrt weiter in Richtung Süden nach Schweinfurt. Dort stand der Besuch der **ZF Sachs AG** auf dem Programm.

Seit 2001 gehört die ZF Sachs AG zur ZF Friedrichshafen AG. In Schweinfurt entwickelt ZF Sachs

verschiedene Fahrzeugkomponenten z.B. für den Antriebsstrang oder das Fahrwerk. Ein neu ausgebautes Technologiezentrum verfügt über modernste Prüfstände und Entwicklungswerkzeuge. Dort können komplette Fahrwerke getestet werden, es stehen Klimakammern zur Simulation von Umwelteinflüssen sowie Antriebsstrangsimulatoren zur Verfügung.

Zunächst lernten die Exkursionsteilnehmer in einem erhellenden Vortrag das Zweimassenschwungrad von ZF Sachs kennen, das die Komforteigenschaften eines Pkw positiv beeinflusst, indem Geräusche im Antriebsstrang und der Karosserie reduziert werden. Die Schwingungen die beim Lastwechsel und durch die Drehungleichförmigkeit des Motors entstehen, werden vermindert.

Nach dieser sehr interessanten Einführung in den Entwicklungsbereich des Unternehmens stand eine Führung durch die Fertigung von Drehmomentwandlern auf dem Programm. Als größter europäischer Wandlerhersteller fertigt ZF Sachs Drehmomentwandler in Stahlblechtechnologie und deckt das Marktsegment für Pkw-, Industrie- und Nutzfahrzeugwandler ab.

Ein Drehmomentwandler ist mit drei Schaufelrädern ausgestattet. Das Drehmoment beim Anfahren wird bis zum Gleichlauf von Motor und Antrieb gesteigert. Das sogenannte Pumpenrad führt dem Arbeitsmedium (Getriebeöl) die mechanische Energie des Motors zu, das Turbinenrad wandelt wieder in mechanische Energie zurück und leitet diese zum Getriebe weiter. Das Leitrad, welches dem Turbinenrad in Strömungsrichtung folgen kann, bewirkt durch eine Umlenkung des Fluidstroms, dass das Turbinenmoment (Getriebemoment), abhängig vom Drehzahlverhältnis, größer als das Pumpenmoment (Motormoment) wird. Das entstehende Leitradmoment wird am Getriebegehäuse abgestützt.

Die erste Nacht der Exkursion verbrachte die Reisegruppe in einem Schweinfurter Hotel, wo den Einheimischen zu mitternächtlicher Stunde erfolgreich Oberharzer Liedgut vermittelt wurde.

#### 14. Oktober 2003

Das erste Unternehmen das am Morgen des zweiten Exkursionstages besucht wurde war die **SKF GmbH** in Schweinfurt.

Bei dem 1970 gegründeten Unternehmen handelt es sich um den weltweit führenden Anbieter von Produkten in den Bereichen Wälzlager und Dichtungen. Des Weiteren beschäftigt sich SKF mit By-Wire-Systemen und strebt die Marktführerschaft bei

innovativen Stellantriebsfunktionen und intelligenten Steuerungen mit Sensoren für alle Drive-by-Wire-Anwendungen an.

By-Wire-Systeme ersetzen die direkte mechanische Steuerung einer Maschine durch eine elektronische Steuerung. Im Automobil kann dies bedeuten, dass anstelle der mechanischen Übertragung der Lenkbewegung über Lenksäule und Zahnstange zu den Vorderrädern die Bewegung des Lenkrades erfasst und in ein digitales elektronisches Signal umgewandelt wird. Dieses wird an eine intelligente elektromechanische Stelleinheit übertragen, die die Räder steuert. Auch bei Brems- und Schaltsystemen ist diese Technologie anwendbar.

Nach einem Vortrag über das Drive-by-Wire-System von SKF wurden die Exkursionsteilnehmer durch die Produktionsstätten von Kegelrollenlagern geführt. Hierbei konnte der gesamte Prozess vom Rohmaterialzuschnitt für die Wälzkörper bis zum fertigen Lager verfolgt werden. **Bild 3** zeigt eine Sammlung von Kegelrollen-Rohlingen.



**Bild 3:** Kegelrollen-Rohlinge

Nach einem Mittagessen in der SKF-Kantine ging die Fahrt weiter nach Herzogenaurach, wo die **INA-Schaeffler KG** besichtigt wurde. Zu den Unternehmen der Schaeffler Gruppe gehören neben INA noch LuK und FAG. Die Produktpalette der INA gliedert sich in die drei Bereiche: Wälzlager, Lineartechnik und Motorenelemente. Im Wälzlagerbereich werden unterschiedliche Bauformen von Wälzlagern entwickelt und gefertigt, die ihre Anwendung in diversen Industriezweigen finden, vom klassischen Maschinenbau bis zur Automobilindustrie. Im Bereich der Nadellager und Linearführungen ist die INA-Schaeffler KG einer der Weltmarktführer. Der zur Zeit am stärksten wachsende Zweig des Unternehmens sind die Motorenelemente. Nachdem ein kurzer Überblick über das Unternehmen gegeben worden war, wurden die Exkursi-



onsteilnehmer zu einer Werksführung gebeten. Besichtigt wurden u.a. die Wälzlagerproduktion sowie diverse Motoren-, Fahrzeug- und Komponentenprüfstände des Unternehmens.

Nach dem Besuch der INA-Schaeffler KG begab sich die Reisegruppe auf den Weg nach Heidenheim, wo Jugendherbergszimmer auf ihre Gäste warteten.

### 15. Oktober 2003

Am Morgen des dritten Tages der Exkursion wurde zunächst die **Voith AG** in Heidenheim besucht.

Die Firma Voith bietet eine sehr umfangreiche Produktpalette an. Dazu gehören Papiermaschinen, Antriebstechnik für Industrie, Straße, Schiene und Marine, Energietechnik und sonstige Industriedienstleistungen.

Die gelungene Werksführung umfasste die Bereiche: Papiermaschinenproduktion, hauseigene Gießerei, Fertigung des Voith-Schneider-Schiffsantriebes, Entwicklung und Erprobung von Wandlergetrieben für Busse sowie die Zahnradfertigung. Beeindrucken für die Exkursionsteilnehmer war vor allem das breite Produktspektrum sowie die Dimensionen der Werkzeugmaschinen. Auffallend war außerdem die hohe Fertigungstiefe im Unternehmen und der große Einsatz in Forschung und Entwicklung.

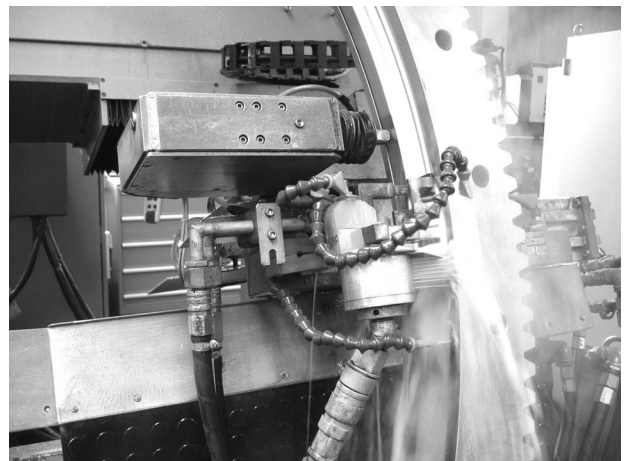
Nach einem ausgezeichneten Mittagessen bei der Voith AG setzten die Exkursionsteilnehmer ihre Fahrt fort, mit dem Ziel: **Liebherr-Werk Biberach GmbH**. Im Jahr 1949 wurde das Unternehmen von Hans Liebherr gegründet und zählt heute zu den größten Baumaschinenherstellern der Welt. In Biberach wird ein umfangreiches Sortiment an Bau- und Industriekranen sowie Komponenten der dazugehörigen Antriebstechnik produziert.

Auch hier erwartete die Teilnehmer zunächst ein kurzer Vortrag über das Unternehmen., Anschließend wurde die Fertigung der Turmdrehkrane und des dazugehörigen Zubehörs sowie die Produktion von Antriebskomponenten besichtigt. Die Werksführung umfasste die Fertigung von Kranauslegern aus zu Vierkantprofilen zusammengeschweißten Winkelprofilen sowie die Herstellung von Drehkränen und Führerkabinen.

**Bild 4** zeigt einen Turmdrehkran auf dem Werksgelände der Liebherr-Werk Biberach GmbH, **Bild 5** die Härtung der Drehkranverzahnung.



**Bild 4:** Turmdrehkran



**Bild 5:** Härtung der Drehkranverzahnung

Interessant und beeindruckend für die Reisegruppe war die hohe Fertigungstiefe von Liebherr, sogar kleine Elektromotoren werden selbst hergestellt. Abgerundet wurde das Besuchsprogramm durch einen Vortrag über die Geschichte und das breite Produktspektrum, vom Kran bis zum Kühlschrank, des Unternehmens.

Am Abend ging die Fahrt weiter nach Ravensburg, wo die Exkursionsteilnehmer die nächsten beiden, kurzen, Nächte in der Jugendherberge Veitsburg verbringen sollten.



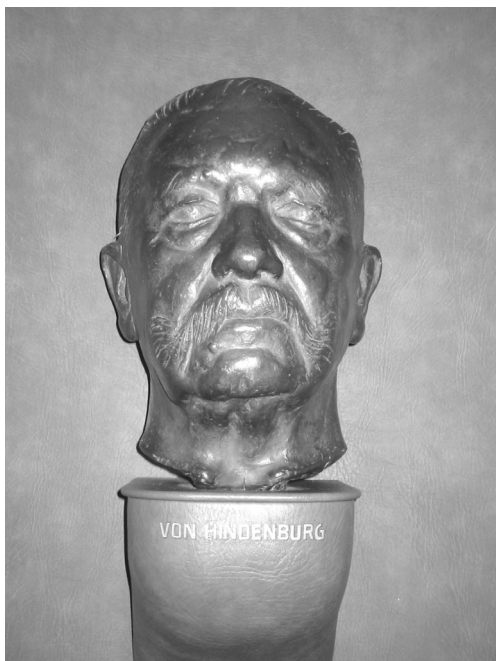
### 16. Oktober 2003

Am Morgen des vorletzten Exkursionstages stand zunächst ein Besuch bei der **ZF Antriebstechnik** in Friedrichshafen auf dem Programm.

Das Unternehmen beschäftigt sich mit der Entwicklung von Komponenten der Antriebstechnik für Lkw, Pkw, Bussen und Sonderfahrzeuge sowie Bahn- und Maschinentechnik. Das Produktspektrum umfasst manuelle und automatische Getriebe, hydrodynamische Retarder, Wandlerkupplungen und Nebenabtriebe.

Der ehemalige IMW-Mitarbeiter Dr. Uwe Burgtorf informierte die Reisegruppe über interessante Entwicklungen und Tendenzen im Bereich der Automatikgetriebekonstruktion. Anschließend wurden im Rahmen einer kleinen Werksführung Prüfstände, Klimakammern und Akustiklabore besichtigt.

Der nächste Tagespunkt war ein Besuch des **Zeppelin-Museums** in Friedrichshafen. Auf einer Fläche von ca. 4000 m<sup>2</sup> ist die weltgrößte Sammlung zur Geschichte und Technik der Luftschiffahrt zu sehen, von den Anfängen bis hin zum Zeppelin NT. Die Hauptattraktion des Museums stellt eine begehbare Rekonstruktion eines 33 m langen Teil der LZ 129 Hindenburg dar. Die Besucher können sich u.a. über Bauarten von Zeppelinen, deren Motoren, die Navigation und Funktechnik sowie die militärische Nutzung der Zeppeline informieren. In **Bild 6** ist eine Büste von Ferdinand Graf von Zeppelin zu sehen.

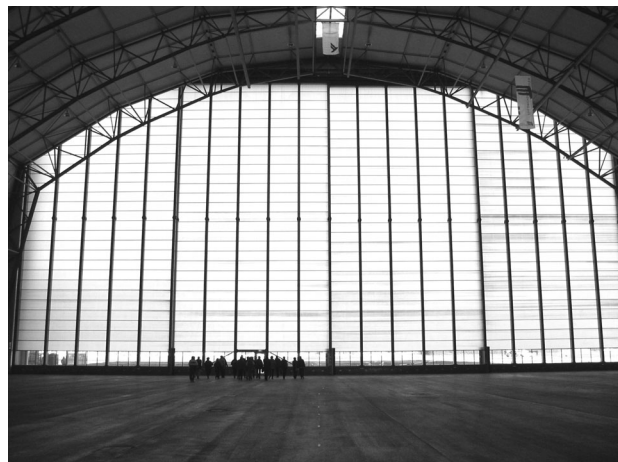


**Bild 6:** Ferdinand Graf von Zeppelin (1838 - 1917)

Anschließend fuhr die Reisegruppe weiter zur **Deutschen Zeppelin-Reederei GmbH** (DZR).

Im Jahr 2001 wurde die Deutsche Zeppelin-Reederei GmbH mit Sitz in Friedrichshafen gegründet. Als 100-prozentige Tochter der Zeppelin Luftschifftechnik GmbH ist sie u. a. für den Betrieb der Luftschiffe zuständig. Die Luftschiffe dienen zum einen als überdimensionale Werbefläche (ca. 2000m<sup>2</sup>), zum anderen sind Passagierflüge mit dem Zeppelin NT möglich, welche bei der DZR gebucht werden können. Rundflüge führen von Friedrichshafen ausgehend über den Bodensee, es werden jedoch auch Sondertouren angeboten, z.B. zum Rheinfall nach Schaffhausen. Des Weiteren erfolgt bei der Deutschen Zeppelin-Reederei die Ausbildung der Luftschiffpiloten, bei der es sich um eine Zusatzausbildung zum regulären Pilotenschein handelt.

Nach einem kurzen Einführungsvortrag über die Geschichte der Reederei folgte ein Besuch der Werkshalle, in welcher die Luftschiffe gebaut werden. **Bild 7** vermittelt einen Eindruck von der Größe der Halle, die in der Lage ist, drei Zeppelin NT aufzunehmen.



**Bild 7:** Luftschiffhalle der DZR

Anschließend wurden die Exkursionsteilnehmer von einem Luftschiffpiloten auf das Rollfeld zu einem am Mast befestigten Zeppelin NT geführt. Dort gab es ausreichen Gelegenheit die zahlreichen Fragen zu stellen, welche ausführlich und geduldig, zwei Stunden lang, von dem Piloten und einem Mitarbeiter des Bodenpersonals beantwortet wurden. So erfuhren die Teilnehmer u.a., dass der Zeppelin, wenn er am Mast befestigt ist, 24 Stunden am Tag von einem Piloten besetzt sein muss, der die Aufgabe hat, den Zeppelin vor einem unbeabsichtigten Bodenkontakt zu bewahren. **Bild 8** zeigt den am Mast befestigten Zeppelin NT.



**Bild 8:** Am Mast befestigter Zeppelin NT

Eigentlich war für den vorletzten Tag der Exkursion auch das Highlight geplant: ein Flug mit dem Zeppelin NT. Aufgrund von starkem Wind musste der Flug jedoch kurzfristig abgesagt werden, da ein Einsteigen bei zu starkem Wind die Passagiere gefährden würde. Es wurde von Seiten der DZR jedoch zugesagt, dass der Flug am nächsten Tag nachgeholt werden würde, wenn das Wetter mitspiele und der Wind sich läge.

Am Abend des, trotz abgesagten Zeppelin-Fluges, ereignisreichen Tages fand ein Besuch der **Gasthaus-Brauerei Max & Moritz GmbH** in Kressbronn statt. Dort konnten sich die Exkursionsteilnehmer über den Prozess des Bierbrauens informieren, eigenes Bier zapfen und selbstverständlich Bier trinken. Eine Möglichkeit, die ausgiebig genutzt wurde! Auch Professor Dietz hatte sichtlich Freude am Bierzapfen, wie **Bild 9** eindrucksvoll zeigt.



**Bild 9:** Genussfreudiger Professor Dietz

### 17. Oktober 2003

Am Morgen des letzten Tages der Exkursion machte sich die Reisegruppe erneut auf den Weg von Ravensburg nach Friedrichshafen. Der Wind hatte deutlich nachgelassen, so dass der gebuchte Zeppelinflug stattfinden konnte. Nach einer kurzen Einweisung und einem Sicherheitscheck starteten die Exkursionsteilnehmer in zwei Gruppen zu Flügen von je einer halben Stunde. Da der Himmel immer mehr aufbrach, konnten viele wunderschöne Eindrücke und Ausblicke auf den Bodensee und das Umland „von oben“ in unzähligen Bildern festgehalten werden. **Bild 10** bis **Bild 12** zeigen einige der vielen entstandenen Fotos, vom Blick in das Cockpit bis zum Blick auf den Bodensee.



**Bild 10:** Cockpit des Zeppelin NT



**Bild 11:** Propeller des Zeppelin NT



**Bild 12:** Blick auf den Bodensee

Nach den Zeppelinflügen machte sich die Reisegruppe auf den Weg nach Lindau, wo Professor Dietz die Exkursionsteilnehmer zu einem gemeinsamen Mittagessen einlud.

### Zusammenfassung

Den Studenten präsentierten sich im Rahmen der Exkursion eine Reihe interessanter Unternehmen. Die Auswahl der besuchten Firmen war überaus ausgewogen und abwechslungsreich. Die Studenten führten anregende Gespräche sowohl mit Ingenieuren aus der Praxis als auch mit den Personalverantwortlichen der jeweiligen Unternehmen. Die Gelegenheit wurde insbesondere in Hinblick auf die spätere berufliche Ausrichtung gerne wahrgenommen.

**Bild 13** zeigt das Abschlussfoto der Exkursionsteilnehmer im Hafen von Lindau.



**Bild 13:** Exkursionsteilnehmer

## Pressespiegel 2004

Schäfer, G.; u.a.

Nach dem Motto "Tue Gutes und berichte darüber" sind auf dieser und den folgenden Seiten verschiedene Artikel aus der lokalen Presse wiedergegeben. Es handelt sich dabei überwiegend um die "Goslarische Zeitung" (GZ) bei deren Redaktionsteam sich das Institut für Maschinenwesen für die engagierte Darstellung der Hochschulaktivitäten bedanken möchte. Dank gilt auch dem Team der osteröder Zeitung "extra" (OE), die im südlichen Harzvorland für die Aussendarstellung der TU Clausthal mitsorgt.

Working in the Institut for Mechanical Engineering is not a hidden job far away from the people in our region. The cuttings taken from the local newspaper will provide this.

# Zur Vorlesung in das Internet

## Lehrangebot an der TU wird ergänzt

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Die TU Clausthal und die Universität Göttingen tauschen im Rahmen des von der niedersächsischen Landesregierung geförderten Projektes „Elan“ (eLearning Academic Network) seit einem Jahr Vorlesungen per Internet aus. Auf diese Weise ergänzen sie ihr Lehrangebot. Prüfungen sind an beiden Standorten möglich.

Am 19. März werden auf der Computermesse „Cebit“ in Hannover am Stand der niedersächsischen Hochschulen in der Halle 11, Stand A 21, Gudrun Mittermair vom Multimedia-Team des Rechenzentrums der TU Clausthal und Dr.-Ing. Aimee M'Buy vom Institut für Elektrische Energietechnik über Erfahrungen und Ergebnisse dieses Projektes berichten, heißt es in einer Ankündigung der TU Clausthal.

### Unabhängig vom Standort

Die Universitäten Clausthal und Göttingen sind einer von insgesamt drei „Netzpiloten“ (die beiden weiteren sind: Uni Oldenburg/Osnabrück, Uni und MH Hannover/Braunschweig).

Die niedersächsische Landesregierung verfolgt das Ziel bis 2006 die Lehrangebote der Universitäten so zu vernetzen, dass Spezialvorlesungen nicht mehr nur an einer Universi-

tät, sondern unabhängig vom Standorten für die Studierenden per Videoübertragung oder als Internet-Lehrangebot vorgehalten werden können. Zugleich sollen Erfahrungen gewonnen werden für akademische Weiterbildungsangebote per Internet.

### Auf dem Campus

An der TU Clausthal wurden im vergangenen Sommer- und Wintersemester acht Vorlesungen aus dem Bereich Mathematik, Informatik und Wirtschaftsinformatik aus Göttingen „importiert“. Sie konnten auf dem Campus der TU Clausthal mit verfolgt werden. Im Gegenzug wurden zwei ingenieurwissenschaftliche und eine wirtschaftswissenschaftliche Vorlesung von Clausthal aus an die Uni Göttingen „exportiert“.

Darüber hinaus wurden in Clausthal-Zellerfeld zwei Vorlesungen im eigenen Multimedia-Hörsaal aufgezeichnet. Nun stehen sie im Nachhinein den Studierenden zur Nachbereitung des Vorlesungsstoffes zur Verfügung. So können die Studenten ihre bisherigen Lernstrategien, wie Lernen nach eigenen Aufzeichnungen, Durcharbeiten von Vorlesungsskripten und dem Lernen mit Büchern um einen neuen Weg ergänzen, erklärt die TU abschließend.

GZ 28. Februar 2004

Anm. d. Red.: Das Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal ist seit dem Wintersemester 2004/05 auch mit einem Teil seiner Lehrveranstaltungen an diesem eLearning Academic Network beteiligt.

# Kooperation mit Berlin in Sicht

## Institut für Maschinenwesen vereinbart Zusammenarbeit in der Forschung

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Eine Gruppe von Forschern der TU Berlin besuchte kürzlich das Institut für Maschinenwesen (IMW) der TU Clausthal. Bei dem Treffen vereinbarten die Forscher aus der Bundeshauptstadt und dem Oberharz künftig enger zusammenzuarbeiten.

Die Berliner Gruppe wurde angeführt von Professor Dr.-Ing. Lucienne Blessing, sie ist Mitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Maschinenelemente, Konstruktionstechnik und Produktentwicklung (WGMK), deren Vorsitz IMW-Direktor Professor Dr. Peter Dietz innehat. Lucienne Blessing ist zudem Vizepräsidentin für Forschung und

Internationales sowie Leiterin des Fachgebiets für Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik der TU Berlin.

Anlass des Treffens waren die gemeinsamen Interessen der Wissenschaftler in der Forschung auf dem Gebiet der Maschinenelemente und der rechnergestützten Produktentwicklung, um mit Blick auf die Innovationsoffensive des Bundeskanzlers Möglichkeiten für eine verstärkte Zusammenarbeit zu finden.

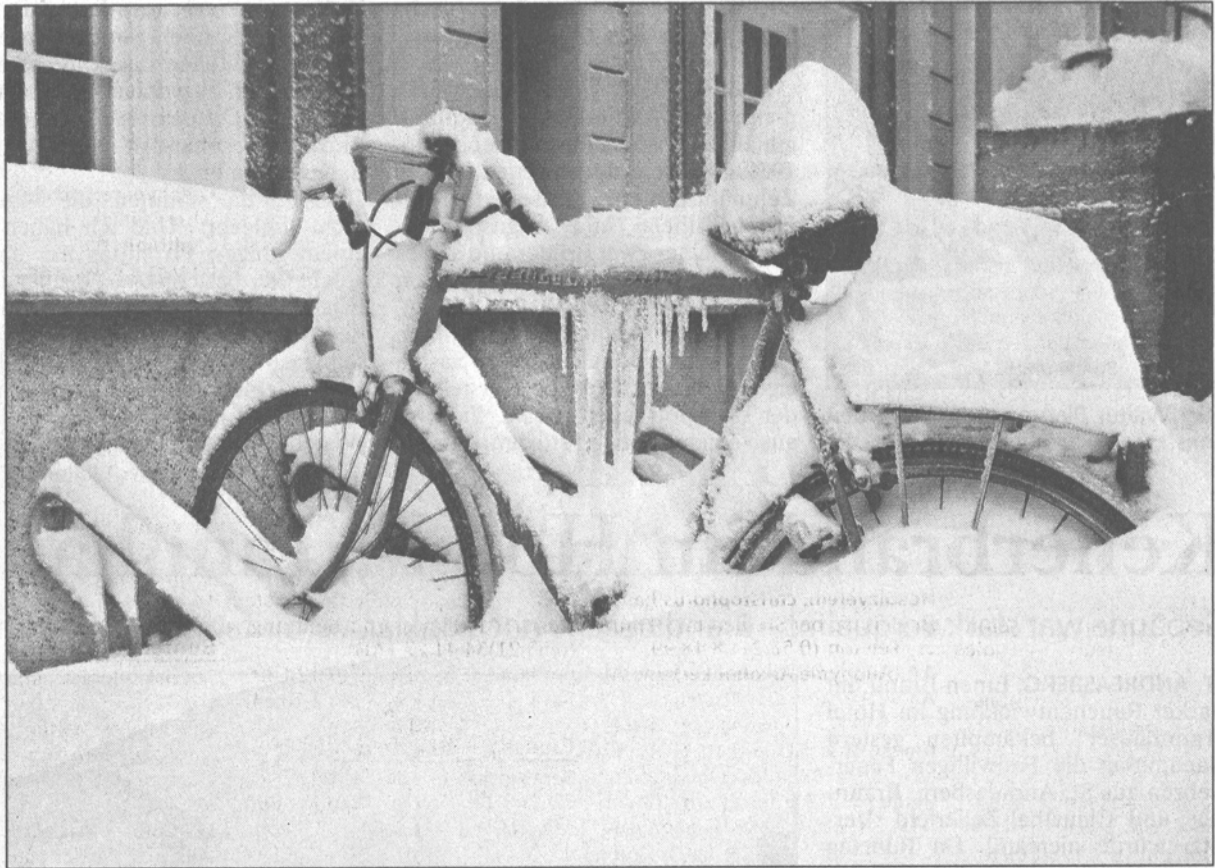
Nach der Vorstellung des Fritz-Süchtung-Instituts durch Prof. Dietz stellten die Mitarbeiter des IMW ihre Forschungsgebiete in kurzen Fachvorträgen vor. Danach kam es zu

einem intensiven Austausch zwischen den Mitarbeitern beider Institute. Abgerundet wurde der Besuch durch einen Rundgang durch die Prüffelder des Instituts, wobei insbesondere die Einrichtungen zur Forschung auf dem Gebiet der Maschinenelemente und die Seiltrommelprüfstände auf lebhaftes Interesse der Berliner Gäste stieß.

Beide Professoren äußerten sich optimistisch, dass auf dem Gebiet der Produktentwicklungsstrategien Forschungsvorhaben zur gemeinsamen Bearbeitung erwartet werden können. Dies wird sicherlich nicht der letzte Besuch der Berliner in Clausthal-Zellerfeld sein.



Prof. Dietz (r.) erläutert den Berliner Gästen Forschungsergebnisse auf dem Gebiet des Rapid Tooling. Links Prof. Dr.-Ing. Lucienne Blessing. Foto: Privat



## Der Winter lässt Autos und Fahrräder dick einschneien

Auch wenn die Temperaturen zum Wochenende schon wieder steigen sollen, hat dieser Tage der Winter im Oberharz noch einmal tüchtig Einzug gehalten. Schneeschieben

müssen nicht nur Hausbesitzer. Auch diejenigen, die morgens mit dem Auto zur Arbeit fahren wollen, müssen es erst einmal von der weißen Pracht befreien. Auch der Be-

sitzer dieses Fahrrads wird sein Fortbewegungsmittel erst wieder ausgraben müssen. Ob es allerdings bei dieser Witterung das richtige Fahrzeug ist, bleibt fraglich.

GZ 11. März 2004



Dienstag, 16. März 2004

# Seminar für Schüler

TU-Institut lud ein

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD. 134**  
Schülerinnen und Schüler aus dem gesamten norddeutschen Raum besuchten am Wochenende die TU Clausthal. Sie nahmen an einem Schnuppertag teil, um den Bereich Maschinenbau/Mechatronik kennen zu lernen.

Seit 1997 richten die Fachbereiche und die Pressestelle der TU regelmäßig Seminare für Oberstufenschüler aus. An rund 1400 Gymnasien zwischen Rostock, Kiel, Köln und Frankfurt am Main hatte die Hochschule diesmal 16 000 Falblätter verschickt.

Aus Sicht der TU lohnt sich der Aufwand: Zwischen 6 bis 9 Prozent der Erstsemester geben an, sich auf Grund eines Schülerseminars für die TU Clausthal entschieden zu haben. Der Löwenanteil findet allerdings über eine Empfehlung aus Familien- oder Bekanntenkreis (rund 40 Prozent) und über das Internet (rd. 50



Diplom-Ingenieur Detlef Trenke (l.) stellt „Rapid Prototyping“ vor, ein Verfahren zur schnellen Herstellung von Prototypen mit Hilfe der Lasertechnik im Institut für Maschinenwesen. Foto: Müller

Prozent) an die Harzer Uni.

Als letzte Entscheidungshilfe aber gilt der persönliche Besuch. Eine Erkenntnis, aus der nicht zuletzt die große Bedeutung des Landeswettbewerbs „Jugend forscht“ für die Uni resultiert, der kommende Woche in der Aula der TU stattfindet.

Zu Schülerseminaren lädt die

Hochschule regelmäßig ein. Im Januar verschafften sich 116 Jugendliche einen Einblick in die Chemie; kommandes Wochenende erwartet die Umweltschutztechnik Gäste.

Jedes Seminar beginnt mit Vorträgen zu technischen Neuheiten, setzt sich fort mit Versuchen in den Instituten und endet am ersten Tag

mit einem Abendprogramm, bei dem mit Fackeln zum Hasenbacher Waserlauf aufgebrochen und die Harzer Unterwelt erkundet wird. Für Essen und Trinken sorgt das Studentenwerk, das extra Sonnabend und Sonntag öffnet. Übernachtet wird zumeist in den Häusern studentischer Verbindungen. oli/TUC

# Uni drückt heute Stratmann die Daumen

Poker um zusätzliche eingesparte Millionen durch Einstellungsstopp – TU Clausthal bald manövrierunfähig?

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Schon bald wird sich zeigen, ob die Landesregierung noch beim Wort genommen werden darf, oder ob ihre Versprechen nichts Wert sind: Namentlich Wissenschaftsminister Lutz Stratmann und Ministerpräsident Christian Wulff hatten im aufbrausenden Sturm der Entzündung über die millionenschweren Einsparungen im Hochschulbereich eingeräumt, dass sie den Universitäten auf abschbare Zeit nicht mehr abverlangen würden als im „Hochschuloptimierungskonzept“ (HOK) festgeschrieben wurde. Jetzt durchkreuzt Finanzminister Hartmut Möllring ihren Plan, indem er die Haushaltssperre samt Einstellungsstopp für Landesbedienstete verkündete.

Der Einstellungsstopp betrifft alle Landesbehörden und auch Universitätsverwaltungen. Besonders hart aber trifft er die TU Clausthal, die schon durch das HOK als einzige Uni des Landes bis an die Grenze zur Manövrierfähigkeit gebracht

wird. Neben den Etat-Kürzungen für 2004 (2,5 Mio. Euro) und ab 2005 (3,4 Mio. Euro) tut sich nun durch die Sperre des Finanzministeriums ein zusätzliches Loch von rund 1,2 Mio. Euro auf. So warnte TU-Präsident Prof. Dr. Ernst Schaumann vergangene Woche vor der Gefahr, dass die Harzer Universität „irgendwann abstürzen“ werde (die GZ berichtete).

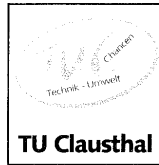
Das Gerüst zum Erhalt der TU Clausthal unter den neuen Bedingungen ist noch nicht einmal gebaut, da ist in Hannover ein Poker um jene Millionen entbrannt, die das Land durch den aktuellen Einstellungsstopp zusätzlich einspart. Hartmut Möllring beansprucht das Geld für sein Ressort, Lutz Stratmann dagegen für die Hochschulen im Land, die er über das 50-Millionen-Sparpaket des HOK hinaus nicht weiter belasten wollte. Der Finanzminister

will von seinem Sparkurs nicht abweichen, der Wissenschaftsminister aber steht im Wort bei den Hochschulpräsidenten. Hier wusste am Kabinetttisch die linke Hand nicht genau, was die rechte tut. Einen Ausweg aus diesem Dilemma soll der Koalitionsausschuss von CDU und FDP finden, der sich am heutigen Donnerstag mit dem „Millionenpoker“ beschäftigen wird.

CDU-Fraktionsvorsitzender David McAllister hat bereits die Lösung ausgegeben: „Wichtig ist jetzt, dass unsere Regierung verlässlich bleibt.“ Auf das Wort der Regierung verlassen können muss sich hier vor allem Prof. Dr. Edmund Brandt, der Anfang Mai für sechs Jahre das Amt des Präsidenten der TU Clausthal übernehmen wird. Mit dem HOK verlangt die Landesregierung von der Hochschulleitung, mit eingeschränkten Bordmitteln binnen

kurzer Zeit ein populäreres Studienangebot zu schaffen und insgesamt mehr Studierende in den Oberharz zu locken. Wird ihr der Geldhahn noch weiter zugedreht als bisher bekannt, verkümmert diese Aufgabenstellung zur Farce. So drückt heute die Uni ausnahmsweise mal Lutz Stratmann die Daumen, dass er sich durchsetzen möge.

Gelingt es ihm nicht, dürfte die Landesregierung wenigstens bei dieser Hochschule und dem Harz als Standort „unten durch“ sein. Denn zwei unhaltbare Versprechen von Seiten der CDU haben die Harzer heute noch im Ohr: Das eine war die Wahlkampfaussage des anfänglich für das Wissenschaftsressort zuständigen Prof. Dr. Michael Buback, die TU Clausthal als „Perle“ in der Hochschullandschaft stärken zu wollen, das andere die Zusage von Christian Wulff, Goslar zu einem weiteren Standort der FH Braunschweig/Wolfenbüttel zu machen. Dieter Böhl



GZ 8. April 2004

## TU-Fachbereich in Ranking abgestuft

Studierende geben jedoch weiter gute Noten

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Im Ranking des aktuellen Studienführers der Illustrierten „Stern“ musste der Fachbereich Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Chemie der TU Clausthal eine Abstufung hinnehmen. Der Bereich rutschte in der Rangliste des Magazins aus der Kategorie Spitzengruppe in die Mittelgruppe.

In einer Vorabmeldung vor Erscheinen des Hochschulführers nächste Woche betont eine „Stern“-Mitarbeiterin, der Fachbereich habe nach wie vor aber einen guten Ruf. Nach dem Gesamturteil der Studierenden zähle er weiter zur Spitzen-

gruppe, ebenso in der Laborausstattung. Ein Problem bleibe aber die vergleichsweise lange Studiendauer, hier wird ein Platz in der Schlussgruppe belegt. Zudem habe der Fachbereich 2003 mit weniger „Forschungsgeld“ auskommen müssen, womit laut Nachfrage Drittmittel gemeint sind, die die Institute des Fachbereichs einwerben.

TU-Pressesprecher Jochen Brinkmann bestätigt, dass es Ende der 90er Jahre an der TU Clausthal einen Rückgang bei den Drittmitteln gegeben habe. Seither gehe es aber wieder aufwärts. oli

GZ 14. April 2004

## TU schneidet sehr gut ab

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Hatte der „Stern“ in einer Vorabmeldung dieser Tage berichtet, der Fachbereich Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Chemie an der TU Clausthal falle in der jüngsten Hochschulrangliste von Stern und dem „Centrum für Hochschulentwicklung“ bei den Forschungsgeldern von der Spitzen- in die Mittelgruppe, werden jetzt positivere Ergebnisse bekannt. Demnach schaffte in Niedersachsen allein die Elektro- und Informationstechnik der TU im Urteil der Studierenden und gemessen an den Forschungsgeldern den Sprung in die Spitzengruppe. Auch der Maschinenbau ist laut Studentenurteil weiter führend. Die Ergebnisse im Internet: [www.dashochschulranking.de](http://www.dashochschulranking.de). oli

GZ 16. April 2004



# Hochtechnologie aus dem Harz in Hannover

Institute und Unternehmen aus dem Landkreis Goslar präsentieren Produkte und Dienstleistungen auf der weltgrößten Industriemesse

Von Oliver Stade und Volker Thies

**HANNOVER.** Rund 5000 Aussteller aus 61 Nationen zeigen auf der Hannover Messe Produkte und Techniken, bieten ihr Bera-terwissen an und hoffen auf Aufträge. Auch Aussteller aus dem Landkreis Goslar präsentieren ihr Know-how auf der weltgrößten Industrieschau, die gestern be- gann und am Samstag endet.

Das Clausthaler Umwelttechnik-Institut (Cutec/Halle 13, Stand C 42) hat als Modell sein Energiepark-Projekt nach Hannover mitgebracht, das zeigt, wie die Einrichtung aus- schließlich aus regenerativen Quel- len versorgt werden kann. Am Cutec- Stand wurde außerdem ein Flo-

gestern besuchte Niedersachsens Umweltminister Hans Heinrich San- der den Cutec-Stand.

Die TU Clausthal (Halle 18, 1. Obergeschoss, Stand O 03) ist mit mehreren Instituten auf der Messe vertreten. Die Diplom-Ingenieurin Sonja Niemeyer vom Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststoff- technik (PuK) präsentiert das kürz- lich fertiggestellte „Kickboard“, das zu großen Teilen aus Naturfasern besteht. Das Produkt, das zusammen mit der Industrie und Schülern entwickelt wurde, steht beispielhaft für die Kooperation des Institutes mit Partnern aus anderen Bereichen.

## Bauteile ohne Bindemittel

Am selben Stand wie das PuK sind die TU-Institute für Maschinenwe- sen (IMW) sowie für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik (IWW) zu erreichen. Die Mitarbeiter der wis- senschaftlichen Einrichtungen stel- len in Hannover unter anderem ein Verfahren zur Herstellung komple- xer Bauteile vor (Rapid Tooling). Mit Hilfe einer computerintegrierten Produktionskette entstehen selbst- tragende Strukturen aus verzahnten Bausteinen, die auf Grund ihrer Geometrie ohne Verbindungsle- mente oder Bindemittel auskommen. „Gehwegplatten“, beschreibt Inge- nieur Detlef Trenke vom IMW eines der Anwendungsgebiete. „bekom- men auf diese Weise mehr Stabilität.“

Von der TU Clausthal sind außer- dem das Zentrum für Technologie- transfer (ZTW) und der Bereich Gießereiwesen aus dem Institut für Metallurgie auf der Messe.



Vertreten mehrere Institute der TU Clausthal auf der Messe (v.l.): Sonja Niemeyer, Han Chuan Khor, Alexandru Söver und Detlef Trenke. Fotos: Stade/Thies

auch mal ein Hammer fallen darf“, sagt Rother.

Aus dem Oberharz kommt Micha- el Presuhn, Betriebsleiter des Claus- thal-Zellerfelder Werks der Heinz Fischer KG (Halle 7, Stand B 30), die



Andreas Rother hinter einer Vitrine



# Harzer Uni punktuell Spitzenreiter

Hochschulranking zeigt Stärken und Schwächen der TU – Sommersemester gestartet: Über 210 Neuzugänge

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Das Sommersemester 2004 hat begonnen, und damit für 212 neue Studentinnen und Studenten das Studium an der TU Clausthal. Anhaltend groß ist der Zustrom aus dem Ausland, vorwiegend aus China und anderen Ländern Asiens. Gut 60 Prozent der Neuzugänge sorgen vor allem in den Studiengängen Wirtschaftsinformatik und Maschinenbau für ein sehr internationales Flair.

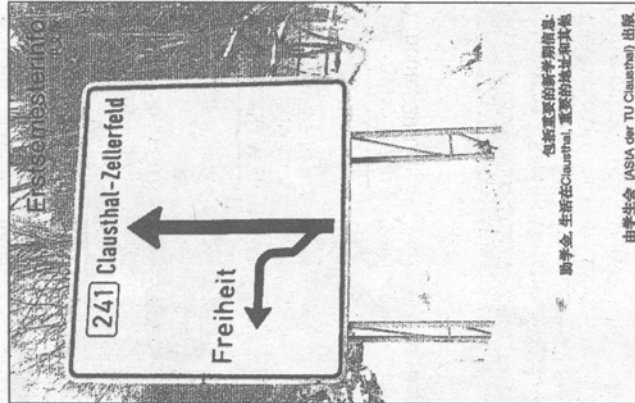
Die amtliche Statistik wird die Harzer Uni erst am 15. Mai erstellen, da noch weitere Zugänge im Rahmen des europäischen Studentenaustauschs zu erwarten sind. Doch jetzt schon ist gegenüber dem Vorjahr ein leichter Rückgang bei den Erstsemestern aus Deutschland erkennbar. Für die TU Clausthal stellt dies freilich noch keinen Trend dar, zumal das Gros der Einschreibungen stets zum Wintersemester erfolgt.

Bedeutsamer mag da schon das jüngste Hochschulranking sein, das jetzt das Magazin „Stern“ in seinem Spezial-Heft „Campus und Karriere“ veröffentlicht hat und angehenden Studenten bei der Auswahl der

richtigen Hochschule helfen soll (die GZ berichtet kurz). Neben interessanten Beiträgen aus der Campus-Welt findet die Leserschaft darin eine Übersicht über das unterschiedliche Ansehen deutscher Universitäten und Fachhochschulen – unterschiedlich vor allem deshalb, weil nach einzelnen Studiengängen bewertet. Wenngleich die TU nur mit wenigen Studiengängen vertreten ist (berücksichtigt wurden die meiststudierten Fächer in Deutschland, für die sich über 75 Prozent der Studienanfänger entscheiden), muss sich die kleine Uni nicht verstecken: Sie bewegt sich – umgeben von vielen großen Hochschulen – in einem guten Mittelfeld.

## Maschinenbau vorne

Eine herausragende Position hat sie weiterhin im **Maschinenbau**, den der „Stern“ und das Centrum für Hochschulentwicklung an erster Stelle dem „zielstrebigen Studententyp“ empfehlen. Zwar rutschte der Maschinenbau in der Bewertung der Forschungsgelder ins Mittelfeld ab, in Sachen Ausstattung und Studentenmeinung nimmt dieser Bereich nach wie vor eine Spitzenstellung im Lande ein. Als größter Fachbereich der TU umfasst er auch



Der Weg zur TU Clausthal passiert Freiheit: Titelseite des Infoheftes für chinesische Studenten.

**Verfahrenstechnik und Chemie** mit den Studiengängen Chemieingenieurwesen, Energiesystemtechnik, Informationstechnik und Umweltschutztechnik.

Im Gegensatz zur Professorenmei-

nung nimmt die Elektro- und Informationstechnik der TU im Gesamturteil der Studierenden ebenfalls eine Spitzenstellung ein. Dies gilt auch für die zur Verfügung stehenden Forschungsmittel dieses Bereichs.

## Informatik musste leiden

Federn gelassen hat die Uni dagegen im Bereich **Informatik**, der von den Studierenden im vergangenen Jahr negativ beurteilt wurde. Dazu hatten lange Vakanzen im Lehrpersonal beigetragen – Lücken, die mittlerweile wieder geschlossen sind. Die **Wirtschaftsinformatik**, mit 47 Neuzugängen im Sommersemester Spitzenreiter unter den Clausthaler Studiengängen, taucht im Ranking erst gar nicht auf. Ebenso, womöglich wegen „zu geringer Fallzahlen“, das **Wirtschaftsingenieurwesen** – ein Fach, das bei den Neueinschreibungen zum Sommersemester an dritter Stelle liegt.

„Wir fühlen uns in der Stärke bestätigt und werden mit aller Kraft daran arbeiten, etwaige Schwächen zu beseitigen“, kommentierte Prof. Dr. Ernst Schaumann, Präsident der Technischen Universität kurz und knapp die Ergebnisse des jüngsten Rankings.

Dienstag, 27. April 2004

# Wechsel an der TU-Spitze perfekt

Prof. Dr. Edmund Brandt von Wissenschaftsminister Stratmann zum Präsidenten der Uni Clausthal ernannt

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Professor Dr. Edmund Brandt wurde gestern von Wissenschaftsminister Lutz Stratmann in Hannover zum Präsidenten der TU Clausthal ernannt. Damit löst Brandt Prof. Dr. Ernst Schaumann ab, der seit 2000 – zunächst als Rektor, später als Präsident – an der Spitze der TU stand.

Brandt war zuletzt Lehrstuhlinhaber der Professur für Öffentliches Recht, insbesondere Umwelt- und Energie-recht, an der Universität Lüneburg. Am 17. Dezember vergangenen Jahres hatte der Senat der TU Clausthal ihn mit 12 Ja- und einer Gegenstimme als Präsident vorgeschlagen. Am 30. Januar dieses Jahres schließlich bestätigte das Kuratorium die Kür einstimmig.

Brandt, dessen Amtszeit bis 2010 läuft, wird in Clausthal-Zellerfeld mit offenen Armen erwartet. In Zeiten, in denen die Landesregierung den Unis und besonders der Harzer TU mit dem so genannten „Hochschul-optimierungskonzept“ bis über die Schmerzgrenze hinaus Sparopfer abverlangt, werden Konzepte ge-



Edmund Brandt (r.) erhielt im Beisein seines Vorgängers Ernst Schaumann (l.) von Wissenschaftsminister Stratmann die Ernennungsurkunde. Foto: MWK

braucht, damit die Uni keinen Schaden nimmt. Nach seiner Kür durch den Senat hatte Edmund Brandt einige Hauptlinien der vor ihm liegenden Arbeit markiert: Durch weitere attraktive Studiengänge und intensivere Werbung sollen mehr

Studenten in den Oberharz geholt werden. Zudem solle die Uni stärker in der Region verankert werden.

Edmund Brandt, Jurist und Politologe, 1947 in Riede bei Bremen geboren, studierte von 1966 bis 1971 Rechts- und Politikwissenschaft in

Freiburg und Berlin. Im Anschluss an das zweite juristische Staatsexamen war er als wissenschaftlicher Assistent an der Professur Staatsrecht und Politik der Freien Universität Berlin tätig. Von dort wechselte Brandt an das Deutsche Institut für Urbanistik in Berlin (1979 bis 1981).

Von 1981 bis 1992 wirkte Brandt an der Universität Hamburg, seit 1988 als Professor für Staats- und Verwaltungsrecht. Einen Ruf an die Universität Rostock lehnte er 1992 ab und trat stattdessen die Professur für Umweltrecht an der Technischen Universität Cottbus an (1992 bis 1996). 1996 wechselte er an die Universität Lüneburg. Im Frühjahr 2002 wurde ihm das Angebot unterbreitet, in die Geschäftsführung eines Unternehmens der Energiewirtschaft einzutreten, das er jedoch ausschlug.

Mit der TU Clausthal ist Edmund Brandt seit vielen Jahren verbunden, unter anderem auf Grund eines Lehrauftrages im Bereich des Umweltrechtes. Gemeinsam mit dem TU-Vizepräsidenten für Forschung und Hochschulentwicklung, Prof. Dr. Hans-Peter Beck, und Prof. Dr. Carsten Salander gibt Prof. Dr. Brandt das Handbuch zum Energiemanagement heraus. oli/TUC

GZ 27. April 2004

## Uni-Ranking: Studenten gaben ihrer Hochschule hervorragende Noten

Lehrsituation verbessert: Jetzt mehr Professoren für Informatik

### Fortsetzung von Seite 1

So musste die Uni unter anderem Daten wie ihre Studentenzahlen, die Anzahl der Lehrkörper sowie die Höhe der Forschungsgelder in einem Fragebogen der Zeitschrift „Stern“ und dem Centrum für Hochschulentwicklung darlegen. Außerdem wurden die Professoren befragt, Hochschulen zu empfehlen. „Eigennennungen – etwa die TU Clausthal als Empfehlung – waren dabei von vornherein nicht erlaubt“, sagt Brinkmann. Als dritter wichtiger Punkt wurden natürlich die Studenten be-

fragt. Diese bewerteten ihre Uni – im Gegensatz zu den Professoren – beispielsweise im Fachbereich Elektro- und Informationstechnik als hervorragend.

Der Spitzen-Fachbereich Maschinenbau an der kleinen Uni Clausthal wird im Ranking vor allem den zielstrebigen Studenten empfohlen. Mit rund 700 Studenten ist diese Fachrichtung im Harz weiterhin am meisten gefragt. Zu Maschinenbau zählen übrigens auch die Bereiche Verfahrenstechnik und Chemie mit den Studiengängen Chemie-Inge-

nieurswesen, Energiesystemtechnik, Informationstechnik und Umweltschutztechnik.

Einziges Wermutstropfen im Hochschulranking: Im Bereich Informatik ist die Uni Clausthal nicht mehr in Spitzenposition. Grund für die miserable Bewertung, die in 2003 entstand, war hier die Studentenbefragung. Sie beschwerten sich über die damalige Lehrsituation – wenige Professoren (rund 5) gegenüber vielen Studenten (rund 500). Was zur Folge hatte, dass Seminare überfüllt waren, für bestimmte Prakti-

ka zu wenig Plätze zur Verfügung standen oder bestimmte Fachrichtungen gar nicht angeboten werden konnten.

„Es ist schwer in diesem Fachbereich überhaupt geeignete Professoren zu finden“, erklärt Brinkmann das Dilemma. Doch die Uni strengt sich an, um auch in diesem Bereich wieder vorn mit zu mischen. Die Uni Clausthal hat schnell reagiert. Mittlerweile wurde die Zahl der Professoren-Stellen im Bereich Informatik auf insgesamt neun angehoben – und damit verdoppelt. pos

OE 5. Mai 2004



## Uni-Clausthal weiter Spitze!

CLAUSTHAL-ZELLERFELD. Der Harz ist zum Studieren im Fachbereich Maschinenbau immer noch Spitze. Das belegt ein aktuelles Hochschulranking des Magazin „Stern“ mit dem Spezialheft „Campus und Karriere“. Beim Ranking um das Ansehen der Unis schneidet die TU Clausthal in einigen Studiengängen hervorragend ab.

„Wir sind stolz, als kleine Uni mit 2800 Studenten in einigen Fächern so weit oben mitschwimmen zu können“, sagt Jürgen Brinkmann, Sprecher der TU. Mehrere Wochen lang hatte das Einholen der Informationen im Jahr 2003 gedauert. Seite 7



# Bald Möbel und Wände „Touch-Screens“?

TU Clausthal am Projekt „Tai-Chi“ beteiligt: Neue Schnittstellen zwischen Mensch und Computer – Beispiel: Menü-Bestellung per Klopfzeichen

CLAUSTHAL-ZELLERFELD. Vielleicht wird man in ein paar Jahren im Restaurant sein Menü nicht mehr beim Kellner, sondern bei einem verborgenen Computer bestellen – durch dezentes Klopfen auf die Tischplatte. Oder ein Kunde berührt an der Käsetheke leicht die Scheibe und sofort werden 150 Gramm Emmentaler abgepackt. Das jedenfalls sind Ziele eines internationalen Wissenschafterteams, das gerade seine Arbeit an einem neuen EU-Projekt aufgenommen hat. Daran beteiligt ist das Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal.

„Die überwiegende Mehrheit von uns kommuniziert heute mit dem Computer über berührungssensitive Schnittstellen – eine Tastatur, eine

Maus, eine Spielekonsole oder einen Touch-Screen“, sagt Dipl.-Geophysiker Carsten Düsing, der unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Peter Dietz im Institut für Maschinenwesen daran forscht, einem Computer beizubringen, einfache Klopfzeichen zu verstehen. „Jeder geht zwar heute wie selbstverständlich mit der Tastatur eines Computers um, aber diese Kommunikationschnittstellen haben eine ganze Reihe von Nachteilen“, erklärt Prof. Dietz: „Wir müssen den Geräten fehlt es an Robustheit, einen verschütteten Kaffee mögen sie nicht. Das aber schränkt den Anwendungsbereich ein.“

Die Forscher wollen daher eine berührbare, akustische Schnittstelle für die Mensch-Maschine-Kommunikation verwirklichen. Ein Reiben über die Oberfläche eines Tisches, ein Schaben oder Klopfen, mit einem oder mehreren Fingern, langsam

oder schnell – und der verborgene Computer hat verstanden. Das ist die Vision der Ingenieure. Die Wissenschaftler werden untersuchen, mit welchen Techniken Wände, Fenster oder eine Tischplatte in ein gigantisches „3D-Touch-Screen“ verwandelt werden kann, eine neue intuitiv für jeden verständliche Schnittstelle für die Kommunikation mit der „mundfaulen“ digitalen Welt.

### Neues Cyber-Alphabet

Das ganze Projekt beruht im Kern auf der Tatsache, dass jede Interaktion mit einem physischen Objekt eine akustische Welle erzeugt – sowohl im Innern des Körpers als auch an dessen Oberfläche. Diese akustischen Muster werden visualisiert und charakterisiert. Dabei wird analysiert, wie diese Körper bei Berührung oder Verschiebung reagieren, so dass ein neues Alphabet der Kommu-

nikation mit dem Computer und der Cyber-Welt entsteht.

Akustische Sensoren werden seit langem vom Militär und auch in zivilen Anwendungen eingesetzt, aber keiner ist für die vorgestellten Multimedia-Anwendungen des „Tai-Chi“-Projektes (Abkürzung für *Tangible Acoustic Interfaces for Computer Human Interactions*) tauglich. Es existieren wohl einige kommerzielle Produkte, aber sie sind auf ebene Glasflächen und bescheidene Abmessungen beschränkt. Dieses Projekt hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, diese Einschränkungen zu überwinden.

„Unser Ziel ist, diese Technologie für jedermann erschwinglich zu machen“, sagt der Clausthaler Projektleiter Peter Dietz. „Wenn wir das geschafft haben, sind nahezu unbegrenzte Anwendungen vorstellbar.“

Das Clausthaler Institut für Maschinenwesen ist neben seiner euro-

paweit bekannten Expertise im Bereich der Maschinenakustik auch durch die technische Ausstattung bestens für diese Aufgabe gerüstet: Ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Großgerät zur Aufnahme, Verarbeitung und Visualisierung von akustischen Daten wird seit letztem Jahr auch in anderen Projekten des Bereiches Akustik erfolgreich eingesetzt.

### 3,3 Mio. Euro von der EU

Die Europäische Union fördert das 3,3 Millionen-Euro-Projekt. Daran beteiligt sind neben der Technischen Universität Clausthal die Universitäten von Wales (Cardiff) und Birmingham in Großbritannien, das Zentrum für Technologietransfer in Ingenieurwissenschaften in Genf, die Universität Genua, das Institut LOA in Paris und und das Polytechnikum in Mailand.

# In sieben Semestern zum Diplomingenieur

Erster Absolvent des „Turbo-Studienprogramms Maschinenbau“

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Wofür andere auf dem Weg vom ahnungslosen Erstsemester bis zum Diplomingenieur Maschinenbau im Schnitt sechs Jahre brauchen, schaffte Dennis Egler aus Kassel an der TU Clausthal in flotten sieben Semestern.



Dipl.-Ing.  
Dennis Egler

Er ist der erste Absolvent des Modellversuchs eines universitären Ingenieurstudiums in vier Jahren, den das Land Niedersachsen zum Wintersemester 2000/2001 einführte und der mit rund 100 000 Euro für Stipendien aus der Industrie gefördert wurde.

Dass es alles so glatt ging, verdankt Dennis Egler in erster Linie seiner

Optimale Randbedingungen unterstützten den „Marathonläufer des Geistes“: Ein Stipendium der Industrie legte die finanzielle Basis für ein Studium, das nicht durch Gelderwerb gebremst wurde. Prüfungen mussten begleitend zum Vorlesungsstoff innerhalb eines Prüfungsblocks von zwei Wochen zum Semesterende abgelegt werden. „Ein Verschieben des Lernens in die Semesterferien, wie im normalen Studienablauf üblich, führt leicht zur Hektik, Kontinuität bringt den Erfolg“, weiß Dipl.-Ing. Martina Wächter aus Erfahrung als Studienberaterin. „Wir wurden regelrecht in die Klausuren hinein getrieben“, stimmt Dipl.-Ing. Dennis Egler ihr zu. Die Semesterferien waren angefüllt mit Blockvorle-

sungen, Übungen und Seminaren oder Industriepraktika.

Ist dies Schnellläufermodell nun verallgemeinerungsfähig? Bedingt. Mit 28 Kommilitonen fing Dennis Egler im Intensivstudienprogramm Maschinenbau an, gut im Zeitplan liegen vier, so dass in Kürze weitere Diplomingenieure nach nur acht Semestern die Diplomurkunde in Händen halten werden.

Würde er sich den „Marathonlauf“ wieder antun? Dennis Egler horcht kurz in sich selbst hinein, die Antwort kommt mit Bestimmtheit: „Ja!“ Erfolg steigert den „Appetit“. Jetzt strebt er bei Prof. Dr. Hubert Schwarze im Institut für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen die Promotion an.

TUC

# „Den Clausthalern viel zugemutet“

Feierliche Amtseinführung des neuen TU-Präsidenten

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** „Mir ist bewusst, den Clausthalern viel zugemutet zu haben“, räumte Wissenschaftsminister Lutz Stratmann gestern bei der Amtseinführung von TU-Präsident Prof. Dr. Edmund Brandt ein. Dem neuen Kapitän auf der „Hochschulyacht TU Clausthal“ stehe Kärnerarbeit bevor, da die Studentenzahlen um 30 Prozent zu gering und einige Fächer stark unterausgelastet seien sowie „in erheblichem Umfang Stellen eingespart werden müssen“.

In feierlichem Rahmen übernahm Prof. Brandt in der Aula die Amtskette von seinem Vorgänger, Prof. Dr. Ernst Schaumann. Der 56-jährige Universitätsprofessor für Öffentliches Recht kommt von der Universität Lüneburg und leitet seit Anfang Mai die Geschicke der Harz-Hochschule. An der akademischen Feier nahmen Gäste aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft teil, unter anderem Prof. Dr. Fred Jochen Litterst, Präsident der TU Braunschweig, und Gerlinde Dietze, Kanzlerin der TU Bergakademie Freiberg.

In seiner Ansprache würdigte der

Wissenschaftsminister die Verdienste des letzten Rektors und ersten Präsidenten der TU Clausthal, Prof. Schaumann: „Sie haben eine Zeit des Übergangs, wenn nicht sogar des Umbruchs moderiert und gestaltet.“ Ihm seien schwierige Lagen nicht erspart geblieben, wie sie mit dem „Hochschuloptimierungskonzept“ verbunden seien, das aus der Finanznot des Landes geboren, aber mit Wegmarken für eine zukunftsorientierte Entwicklung gerade auch der TU Clausthal ausgestattet sei.

## „Clausthaler Protestszene“

Schätzen gelernt habe der Minister den „verbindlichen und ausgleichenden Umgang“ von Prof. Schaumann in jener Zeit als er, Stratmann, und sein Staatssekretär Dr. Josef Lange von der „Clausthaler Protestszene“ empfangen wurden. In dieser schwierigen Phase habe der Interimspräsident die Herausforderung angenommen und für die Neuprofilierung der TU erste wichtige Weichenstellungen vorgenommen.

Der neue Präsident habe „die Ausgangslage mit allen Schwächen und Stärken präzise beschrieben, die notwendigen Handlungsfelder umrissen und Wege in die Zukunftsfähigkeit der TU Clausthal aufgezeigt“, wandte sich Stratmann Prof. Brandt zu. Schneller als erwartet, schon zum Wintersemester 2004/2005, würden neue Bachelor- und Master-Studiengänge von Betriebswirtschaftslehre bis Petroleum Engineering eingerichtet. „Ihr bisheriger Lebensweg als sehr erfolgreicher und anerkannter Wissenschaftler und Ihr dynamischer Start in Clausthal geben mir die Gewissheit, dass Sie ein professioneller Sachwalter und kompetenter Präsident mit dem Ihnen eigenen besonderen Engagement sein werden“, sagte der Minister.



„Alt-Präsident“ Prof. Dr. Ernst Schaumann (links) hat die Amtskette an seinen Nachfolger, Prof. Dr. Edmund Brandt, übergeben. Foto: Böhl

Prof. Brandt würdigte ebenfalls die Verdienste seines Vorgängers und hob die Qualitätsmerkmale wie auch das Wachstumspotenzial der TU Clausthal hervor. Die heutigen Rahmenbedingungen seien zwar schwierig, doch besitze die Uni im Vergleich zu vielen anderen Hochschulen „riesige Chancen“, weil sie groß genug sei und wissenschaftliches Potenzial in einer Dichte besitze, um Cluster bilden zu können, „die jedem Vergleich Stand halten“. Und sie werde sich stärker als bisher als Regionsuniversität präsentieren (weiterer Bericht folgt). oh

GVZ 3. Juli 2004

# Das Hochschulpersonal, der AStA und der Minister . . .

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Da standen sie nun alle – am Buffet oder an den Stehtischen – und plauderten: Gäste aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zusammen mit Vertretern des Hochschulpersonals und der Studentenschaft. Der Nachgang zur akademischen Feier in der Aula der TU Clausthal war betont locker und bot leichte Kost. Obwohl dem Personalrat und dem Allgemeinen Studentenausschuss (AStA) die von der Landesregierung verordneten massiven Stelleneinsparungen schwer im Magen liegen, blieb Wissenschaftsminister Lutz Stratmann von Schlägen unter die Gürtellinie verschont. Vielmehr kehrte er mit der Gewissheit nach Hannover zurück, dass an dieser Uni ein anderer, ein ganz besonderer Kampfgeist herrscht.

## Erinnerung an Demo

Dazu trug an erster Stelle der angehende Mathematiker und AStA-Vorsitzende Class Hemig bei, der bei der vorausgegangenen Amtseinführung des neuen TU-Präsidenten den Reigen der Grußworte eröffnete. „Ganz besonders erfreut bin ich über die Anwesenheit des Herrn Ministers Stratmann, darüber dass er die Gelegenheit genutzt hat, unseren Besuch von vor zwei Tagen bei ihm

auf den Straßen Hannovers mit einem Gegenbesuch hier in Clausthal zu würdigen“, erinnerte er fast beiläufig an die demonstrierte Entschlossenheit der niedersächsischen Hochschulen, weitere Einsparungen nicht hinzunehmen.

Der Student würdigte die Verdienste von „Alt-Präsident“ Prof. Dr. Ernst Schaumann, der „schwierwiegende und weitreichende Entscheidungen zu treffen hatte“. Gemeinsam mit seinen Vizepräsidenten habe er nach langen Überlegungen einen Weg gewählt, „den so manches Mitglied der Hochschule für falsch hielt und nur widerwillig mitging“. Auch der AStA sei, wie es Schaumann in einer Senatssitzung formuliert habe, „nervös geworden“. Es gehöre allerdings zum Grundverständnis eines AStA, „stets nervös zu sein und aufmerksam Entwicklungen, aber auch Stagnationen, kritisch im Sinne seiner Studentenschaft zu durchleuchten und zu hinterfragen“. Dennoch habe Prof. Schaumann die Aufgabe übernommen, die TU trotz widriger Umstände in eine perspektivenreiche Zukunft zu führen.

Laut Class Hemig bängen viele Studenten und Mitarbeiter um ihre Studienbedingungen und Arbeitsplätze. Besonders in dieser Situation müsse der „Clausthaler Geist“ zum



„Sehr konstruktive Rede“: Wissenschaftsminister Lutz Stratmann (links) im Gespräch mit dem AStA-Vorsitzenden Class Hemig.

Tragen kommen, „etwas, was wir den meisten Universitäten in Niedersachsen und Deutschland voraus haben“: der enge, persönliche Kontakt zwischen Studenten, Professoren und Mitarbeitern aus Universität und

Studentenwerk. „Der Clausthaler Geist wird unsere altherwürdige alma mater mit neuem Mut und uns allen, insbesondere den neuen Präsidenten, mit Tatendrang erfüllen.“

## Erstmals ein Auswärtiger

Der AStA-Vorsitzende bezeichnete den Führungswechsel als eine „echte Chance“. Mit Prof. Brandt gehe erstmals ein Auswärtiger in dieses Amt hinein, „unvoreingenommen und mit der Intention, möglichst viel von dem Clausthaler Geist seiner Gesprächspartner aufzunehmen und die darin liegenden Möglichkeiten zu nutzen.“ Und so mündete das Grußwort im Aufruf an alle Beteiligten: „Beseelen Sie unseren neuen Präsidenten mit dem, was Clausthal so besonders macht, und stärken Sie ihm den Rücken, dass er die TU Clausthal im deutschen und internationalen Vergleich wieder in die Spitzengruppe führen kann.“

Der Wissenschaftsminister war beeindruckt, wie er am Ende seiner Festansprache bekannte: „Ich fand die Rede Ihres AStA-Vorsitzenden sehr konstruktiv, auch wenn er mich kritisiert hat – das muss er ja auch. Mit einem solchen Nachwuchs brauchen wir uns in Deutschland keine Sorgen zu machen.“ oh

GVZ 5. Juli 2004

# „Die TU ist garantiert eliteverdächtig“

Wissenschaftler warnen Politiker vor eigenen Hochschulexperimenten

Von Dieter Böhl

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Die Aula der TU Clausthal war am Freitag Austragungsort von Differenzen zwischen Wissenschaft und Politik. Doch gab es bei der Amtseinführung des neuen TU-Präsidenten auch Einigkeit, vor allem in einem Punkt: Elite-Universitäten kann die Politik nicht verordnen, vielmehr gedeihen sie nur in einem besonderen Klima. Die TU habe die Voraussetzungen dafür, betonte Prof. Dr.-Ing. Gerhard Kreysa, Vorsitzender des Hochschulkuratoriums: Sie sei „garantiert eliteverdächtig“.

Die Hochschulen stünden heute vor „schwierigen Tatbeständen“, sagte Gerlinde Dietze in ihrem Grußwort. Die Kanzlerin der TU Bergakademie Freiberg warnte davor, „dass die Universitäten zum Experimentierfeld der Politik werden“. Die Hochschulen seien das Rückgrat einer modernen Gesellschaft: „Sie brauchen das Rüstzeug, um den Anforderungen gerecht zu werden.“ Und nicht alles sei teuer: Eine Hochschulpartnerschaft, wie sie zwischen Freiberg und Clausthal bestehe, sei das beste und zugleich preiswerteste Instrument.

## Auf „hoher See“

Mit Metaphern auf „hohe See“ begab sich der Präsident der TU Braunschweig, Prof. Dr. Fred Litterst. „Wir fallen immer wieder in neue Täler, nicht wissend was hinter dem nächsten Wellenkamm kommt.“ Viel Schaden sei bereits angerichtet worden. Es helfe aber nicht, über die Situation zu jammern: „Der Sturm muss überwunden werden, mit Hilfe aller Seeleute, die sich in der Navigation abstimmen können.“ Ein konkretes Beispiel sei die verstärkte Zusammenarbeit der Top-Universitäten von Clausthal, Braunschweig und Hannover im Rahmen des „Consortium Technicum“. Es gehe darum, in Technik und Naturwissenschaft des Landes Struktur hineinzubringen. „Und wir wollen die Öffentlichkeit und vor allem die Jugend mit unseren Leistungen und Erfolgen vertraut machen, denn wir sitzen hier längst nicht mehr im Elfenbeinturm.“

In einem herausragenden Vortrag

Professor  
Gerhard Kreysa



sprach Prof. Kreysa von einem „historischen Präsidentenwechsel“ in Clausthal. Das neue Hochschulgesetz rechtfertige diese Einschätzung, aber auch das „Hochschuloptimierungskonzept“ (HOK): Was unter dieser „etwas scheinheiligen Überschrift“ optimiert werden solle, bleibe allerdings schleierhaft. „Optimierung dient wohl als Tarnwort für Sanierung, doch nicht die Universitäten sollen saniert werden, sondern auf ihre Kosten an der falschen Stelle mit den falschen Mitteln der Landeshaushalt.“ Und: „Alle Sonntagsreden über Bildung, Forschung und Innovation als unsere einzigen Rohstoffe, als unsere einzige Option zur Sicherung von Wohlstand und Zukunft unseres Landes, bleiben hohl und leer, solange sich die Politik nicht dazu bekennt, dass Bildungs- und Forschungsausgaben auch in wirtschaftlich und finanziell schwierigen Zeiten nicht gekürzt werden dürfen.“



Für die Galerie: TU-Präsident Prof. Dr. Edmund Brandt mit einem Bild seines Amtsvorgängers Prof. Dr. Ernst Schaumann. Fotos (2): Müller

Kein Landwirt verfällt auf die aberwitzige Idee, sein Saatgut zu verfüttern, nur unsere Bildungspolitiker glauben, sich das leisten zu können.“

In dieser schwierigen Zeit habe der bisherige Präsident, Prof. Dr. Ernst Schaumann, noch größeres Unheil



von der TU abgewendet, so Prof. Kreysa. „Ich weiß, wie sehr Sie persönlich darunter gelitten haben, dass all diese Entscheidungen im Ministerium gefallen sind, noch bevor Ihr Nachfolger darauf Einfluss nehmen konnte.“

Mit Prof. Dr. Edmund Brandt erhalte die Universität eine ausgezeichnete Führungskraft, die „den nötigen Elan und den Optimismus mitbringt, ohne den man sich einer solchen Aufgabe nicht stellen kann“, betonte Kreysa. Die Merkmale der TU und neue Erkenntnisse der Effizienz kleiner Universitäten untermauerten diesen Optimismus: Infolge der Entfremdungseffekte der Globalisierung steige das Bedürfnis nach sozialer Nähe und menschlichem Miteinander enorm und „wird zum eigentlichen Erfolgsfaktor für Bildung und Forschung“. Laut einer Studie würden 80 Prozent aller kreativen Ideen im Gespräch zwischen Menschen geboren, nicht übers Internet. Und es gab eine Untersuchung über Spitzenleistungen in der Biomedizin, „bei der weder Harvard, Stanford noch Cambridge die Sieger waren, sondern die kleine, flexible Rockefeller University“. Folglich: „Erstklassige Institute kann man nicht an großen Universitäten etablieren – die Elite muss unter sich sein.“

Prof. Kreysa warnte allerdings vor einer großen Gefahr im Zusammenhang mit dem aktuellen Ruf deutscher Politiker nach Elite-Universitäten: „Wir wollen hoffen, dass sie damit etwas anderes meinen, als jene amerikanischen Vorbilder, die gemeinhin wohl deshalb so tituliert werden, weil dort wegen der exorbitanten Gebühren vor allem die Kinder der Finanzeliten des Landes studieren können. Schon für Eltern, die nur zur Bildungselite gehören, ist die Finanzierung eines solchen Stu-



Einen festlichen Rahmen für die Amtseinführung des neuen TU-Präsidenten wie auch für kritische Worte an die Politik bildete die Aula der TU Clausthal. Fotos (2): Böhl

diums meist unerschwinglich.“

Wissenschaftsminister Lutz Stratmann verteidigte zwar das HOK als unausweichlich, verwies jedoch darauf, dass er soeben erst sein Ressort als einziges vor weiteren Sparbegehrligkeiten der Landesregierung habe schützen können. Und was die von der Bundesbildungsministerin in Aussicht gestellten 1,9 Milliarden Euro zur Förderung von Elite-Hochschulen betreffe, sei eines klar: „Wir wollen nicht, dass Politiker über die Verteilung entscheiden.“

### Zukunftsvertrag gefordert

Um das Verhältnis von Wissenschaft und Politik zu regeln, bedürfe

es eines Zukunftsvertrages, der die Rahmenbedingungen für die niedersächsischen Universitäten verbindlich regelt, appellierte Prof. Brandt an Stratmann. Eines der größten Probleme sei die „gefühlte Unsicherheit“ unter Mitarbeitern und Studenten. Gerade aber die TU Clausthal „als besonders exponierte Universität mit einer vergleichsweise großen Verantwortung für die Region“ sei auf einen verlässlichen Handlungsrahmen angewiesen. Innerhalb dieses Rahmens sei sie bereit, „energische Schritte in Richtung Zukunft zu tun“. Dies gelte für ihre Profilierung im Wettbewerb mit anderen Universitäten, für ihre Aufbau- und Ablauforganisation und für ihr Marketing.



# Der gute Ruf der TU reicht weit

Maschinenbaustudent aus Texas folgte einer Empfehlung – 40 ausländische Studenten zu Gast

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Über den „großen Teich“ ist Kevin Straube an die TU Clausthal gekommen – weil er schon immer mal nach Europa wollte und ein Freund der Familie ihm sagte: „Die Universität ist gut.“

Der 22-jährige Maschinenbaustudent von der Texas-Universität im US-amerikanischen Austin ist als Austauschstudent für zwei Monate im Institut für Maschinenwesen zu Gast und fertigt eine Studienarbeit an. Seine Heimatuni zählt 52 000 Studenten und ist die größte der USA.

Kevin Straube ist mit seiner Wahl dennoch mehr als zufrieden: „Ich habe hier viel Spaß.“ Tagsüber brütet er im Institut über seine Aufgaben, abends macht er mit neu gewonnenen Freunden das Nachtleben unsinniger, das ihm gut gefällt.

Für die wissenschaftliche Arbeit im Institut hat sich Kevin mit seinem



Im Institut befasst sich der junge Amerikaner Kevin Straube mit Berechnungsgrundlagen für Zahnwellen-Verbindungen.

Foto: Brinkmann

Betreuer Dr.-Ing. Günter Schäfer die Berechnungsgrundlagen für Zahnwellen-Verbindungen vorgenommen. Solche Verbindungen sind in fast jeder angetriebenen Maschine vorhanden und dienen der Drehmomentübertragung zwischen Bauteilen. Bisher gab es dafür nur eine nationale DIN-Norm. Im Rahmen

internationaler Handelsbeziehungen ist jetzt zusätzlich eine ISO-Norm in Deutschland gültig geworden.

Für die Berechnung solcher Verbindungen nach der DIN-Norm ist Kevins Gastinstitut weltweit führend. Um dieses Know-how auch in Zukunft für die ISO-Norm nutzen zu können, unterstützt Kevin die not-

wendigen Anpassungsarbeiten. Goslar und Göttingen hat er schon besucht, Leipzig und Berlin will er sich auch anschauen. Welches Bild haben die Amerikaner heute von Deutschland? „Bayern und deutsches Bier“, lautet die knappe Antwort des Texaners, der deutsche Vorfahren hat.

So fühlt sich Kevin im Harz fast wie zu Hause. Eine Barriere gibt es, die deutsche Sprache. Weil er sich aber in erster Linie im Umfeld der internationalen Austauschstudenten, einem bunt zusammen gewürfelten Völkchen verschiedenster Nationen bewegt, ist auch das kein großes Problem – Englisch ist hier immer der gemeinsame Nenner.

Rund 40 ausländische Studenten, unter anderem aus Indien, Finnland, Hongkong und Kirgisien sind in diesem Sommer in Instituten der TU Clausthal zu Gast, und 40 Clausthaler Studenten gehen im Gegenzug in alle Welt, so nach Thailand, Ceylon, in die USA und nach Australien. tuc

# Von der Bergakademie zu einer neuen TU

Vor 50 Jahren Bergbaudiplom erhalten: „Ehemalige“ erfuhren beim Empfang von aktuellen Sorgen der Hochschule

CLAUSTHAL-ZELLERFELD. Zu einer Feierstunde hat die TU Clausthal im Senatszimmer 19 Absolventen der damaligen Bergakademie empfangen, die vor 50 Jahren ihr Bergbaudiplom verliehen bekamen. TU-Präsident Prof. Dr. Edmund Brandt würdigte das Jubiläum und wandte die Blicke der Teilnehmer auf die momentanen Bemühungen der Harzer Hochschule, sich für eine sehr ungewisse Zukunft fit zu machen.

Mit viel Freude und Stolz blickten die Jubilare auf ihre Clausthaler Studienzeit und ihr Berufsleben zurück. Alle sind der TU bis heute verbunden geblieben, und nicht wenige ihrer Kinder sind zum Studieren nach Clausthal gekommen. Ein Absolvent des 54er Jahrgangs, Prof. Dr.-Ing. Richard Krause, lehrte an der TU Clausthal auf dem Gebiet der Lagerstättenkunde. Viele hatten im Anschluss an das Bergbaustudium in der deutschen Steinkohle-Industrie gearbeitet. Prof. Brandt dankte den Anwesenden für ihren Einsatz für die TU und überreichte jedem eine „Goldene Diplom-Urkunde“.

## „Abzüge“ für die Uni?

Zuvor nutzte Prof. Brandt die Gelegenheit, sich und seine Ziele vorzustellen und die derzeit schwierige Situation der Hochschule zu beleuchten. Die Sparmaßnahmen seien ein großes Problem, ebenso die zu niedrigen Studentenzahlen. Es sei deshalb „mit Abzügen zu rechnen“. Seine Hoffnung, „durch hochkarätige Forschungsleistungen einen Ausgleich hierfür zu schaffen“ sehe er nicht bestätigt, da diese von zu

wenigen getragen würden. „Kein Politiker plant, die TU Clausthal zuzumachen, doch es kann dazu führen, dass nicht das gesamte Spektrum erhalten bleibt“.

Um dem entgegen zu wirken, will Prof. Brandt Zukunftsperspektiven einer neuen TU Clausthal entwickeln, ein Signal setzen, dass es voran gehe. Erste Schritte seien bereits umgesetzt worden – durch die Einführung des Studiengangs der Betriebswirtschaftslehre mit Bachelor- und Masterabschluss sowie die Entwicklung von Werbestrategien. Die Öffentlichkeitsarbeit werde neu strukturiert. Ein „aufgepeppter Bus“, betreut von Mitarbeitern der TU, soll mit Informationsmaterial und Aktionen Schüler in Deutschland informieren und sie für ein Studium in

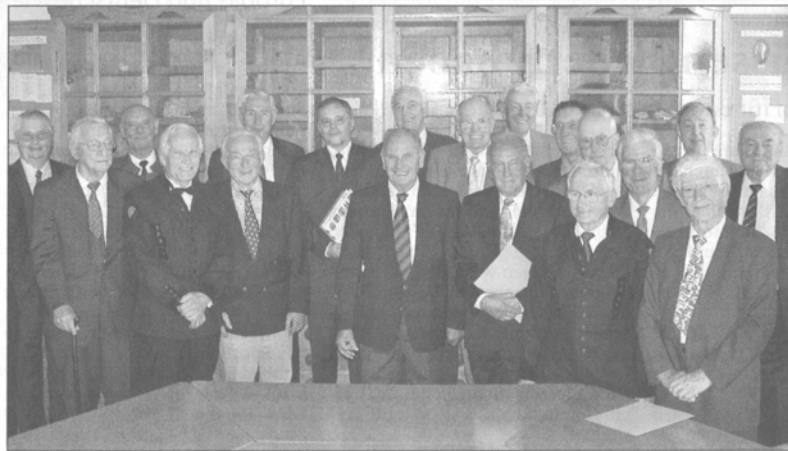
Clausthal begeistern. Weitere Werbemaßnahmen würden fortgesetzt beziehungsweise neu getroffen.

## „Dynamik hineinbringen“

Die TU brauche ein „Alleinstellungsmerkmal“ und ein neues Profil mit einem einheitlichen Auftritt der einzelnen Institute, betonte der Präsident. Die Vorgabe sei: „Tradition nicht verleugnen, aber Dynamik hineinbringen“. Die Uni besitze „Qualität und tolle Produkte“, sei vergleichbar mit einem Unternehmen, müsse national und international auf ihre Produkte hinweisen. Innerhalb der TU werde es auf eine Zusammenlegung von Fakultäten hinauslaufen; Nachbardisziplinen sollen gemeinsame Ziele entwickeln.

Zudem sei eine Identifikation der Hochschule mit der Stadt Clausthal-Zellerfeld wichtig. Deshalb solle das Hauptgebäude wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden. Den Anfang werde die Wiederherstellung des zugemauerten Haupteingangs gegenüber der Kirche machen. Dieser Punkt wurde von den „Ehemaligen“ mit großem Beifall aufgenommen. Gespannt sein dürfe man auf die geplante virtuelle Darstellung des Vorhabens.

Die Sorgen der TU verstehe keiner besser als Bergleute, die den Niedergang des Bergbaus in Deutschland erlebt hätten, so Dipl.-Ing. Helmut Schelter, ehemaliger Präsident des Landesoberbergamtes in Dortmund, in seiner Dankesrede im Anschluss an die Urkundenvergabe. abe



Vor 50 Jahren waren sie Absolventen der damaligen Bergakademie: Jetzt kamen die Jubilare zu einem Empfang an der TU Clausthal zusammen.

Foto: Bertram

GZ 13. August 2004

# Neue Kooperation mit Finnland

TU-Präsident unterzeichnet heute im Beisein von Ministerpräsident Wulff Vertrag mit der Universität Oulu

OBERHARZ/OULU. Einen Kooperation im Bereich Maschinenbau wird die TU Clausthal heute mit der Universität Oulu/Finnland vereinbaren. Zur Vertragsunterzeichnung ist der Präsident der Harzer Hochschule, Prof. Dr. Edmund Brandt, gestern im Rahmen eines dreitägigen Besuches einer großen Wirtschaftsdelegation mit Ministerpräsident Christian Wulff nach Finnland geflogen.

Die TU Clausthal zählt zu den engagiertesten Hochschulen im Land, was internationale Partnerschaften angeht. Davon profitieren sowohl Forschung als auch Lehre an der Harzer Uni. So eröffnen sich den Studenten vielfältige Möglichkeiten, im Rahmen des internationalen Studentenaustauschs ein oder mehrere Semester im Ausland zu lernen.

Die heute in Finnland anstehende

Erweiterung des mittlerweile weltweit gespannten Partnerschaftsnetzes der TU geht auf Kontakte des Clausthaler Instituts für Maschinenwesen zurück. „Es handelt sich um eine langsam gewachsene Beziehung, die nun offiziell besiegelt wird“, sagte Institutsleiter Prof. Dr.-Ing. Peter Dietz gestern auf Anfrage.

Begonnen habe es auch hier mit dem Austausch von Lehrinhalten der „methodischen Produktentwicklung“. „Das ist eines der bekanntesten Exportprodukte der TU“, freut sich Prof. Dietz. „Eine typisch deutsche Geschichte, die in Clausthal ausgereift wurde und mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes fast weltweit gehandelt wird – also ein Lehrexport.“

Der feierlichen Vertragsunterzeichnung in Oulu folgt heute und morgen ein kompaktes Besuchs- und Diskussionsprogramm der niedersächsischen Delegation in Helsinki. Dort findet im Hotel „Hilton Stand“



Gestern nach Finnland gereist: Ministerpräsident Christian Wulff (l.) und TU-Präsident Prof. Edmund Brandt.

eine Präsentation des Wirtschaftsstandortes Niedersachsen statt. Ferner ist in der Hauptstadt der Besuch bedeutender Unternehmen wie des Mobilfunkriesen Nokia vorgesehen. Zusammentreffen werden Teilnehmer der Delegation in Begleitung des deutschen Botschafters, Dr. Hanns Schumacher, überdies mit dem Ministerpräsidenten, dem Parlamentspräsidenten und dem Chef der

Nationalbank von Finnland. An vorderer Stelle gefragt sein wird Prof. Brandt ein weiteres Mal am morgigen Donnerstag beim Besuch der Technischen Universität Espoo in Helsinki. An der Seite von Prof. Dr. Ludwig Schätzel, Präsident der Universität Hannover und Vorsitzender der Landeshochschulkonferenz, wird er dabei Möglichkeiten der Kooperation zwischen der finnischen TU auf der einen und niedersächsischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen auf der anderen Seite erörtern, vor allem im Bereich der Energieforschung.

Die beiden Professoren sind übrigens die einzigen Hochschulvertreter in der stattlichen Delegation von rund 40 Führungskräften aus Politik und Wirtschaft, zu der unter anderem Manager der Georgsmarienhütte, Siemens AG, Nord/LB, Deutsche Messe AG, der Seehäfen wie auch der „Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH“ gehören. öh

GZ 18. August 2004



# Einer der Modernisierer der TU

Prof. Dr. Peter Dietz in den Ruhestand verabschiedet – Der Maschinenbauer prägte auch als Rektor die Uni

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD. Einer der profiliertesten Professoren der TU Clausthal hat die Hochschule verlassen. Dr. Peter Dietz, der die Harzer Uni maßgeblich prägte, wurde jetzt vom Präsidenten Prof. Dr. Edmund Brandt in den Ruhestand verabschiedet.**

Seit 1980, als er vom mittelständischen Maschinenbauer Pittler in Langen bei Frankfurt nach Clausthal-Zellerfeld gewechselt war, leitete Peter Dietz das Fritz-Süchtling-Institut für Maschinenwesen, das er mit Blick auf die imposante Fassade das schönste Institut der Welt nannte.

Als Rektor leitete der Ingenieur die Uni von 1996 bis 2000 in zwei aufeinanderfolgenden Amtszeiten, was seine hohe Akzeptanz in der

Hochschule belegt. Dann gab er das Amt an Prof. Dr. Ernst Schaumann ab, dem Vorgänger des derzeitigen Präsidenten Prof. Dr. Edmund Brandt.

Zudem stand der heute 65-jährige, der in Darmstadt Maschinenbau studiert hat, zweimal als Dekan der Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen (von 1989 bis 1991 und von 1993 bis 1995) zur Verfügung. Über viele Jahre war er Sprecher des Sonderforschungsgebietes 180 „Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen bei besonderen mechanischen, thermischen oder chemischen Belastungen“ (von 1986 bis 1999).

## Intensives Studium

In seine Zeit als Rektor fielen Weichenstellungen, die dazu führten, dass die TU ihren Weg zu einer zeitgemäßen Hochschule fortsetzte. Der gebürtige Darmstädter initiierte das Intensivstudienprogramm Maschinenbau und trieb die Modularisierung des Studiums voran.

Das Consortium Technicum – die Partnerschaft mit den Hochschulen Braunschweig und Hannover – wurde begründet. Darüber hinaus pflegte Peter Dietz parallel zur weiteren Internationalisierung Kontakte mit Unis in West- und Osteuropa und insbesondere nach China.

Auf Betreiben von Peter Dietz wurde zudem die Großforschungseinrichtung „Clausthal Centre of Process Engineering Systems – Design and Research“ („Copes“) in den Oberharz geholt – ein von der EU gefördertes Projekt der TU, dem Institut für Erdölforschung und Erd-



Hinweis auf die Geosammlung der Hochschule: Prof. Dr. Peter Dietz im Jahr 1999, damals Rektor der TU, zusammen mit Thyssen-Chef Dr. Ekkehard Schulz.

Fotos: Archiv

gastechnik sowie dem Clausthaler Umwelttechnik-Institut (Cutec), das Forscher aus dem europäischen Ausland an die TU brachte.

## Beauftragter der Uni

Dietz hat viele Talente. Als begabter Redner, der sich wie wenige auf Humor versteht, kam er stets ohne Manuskript aus. Mit seiner Band „Mainstream Unlimited“ sorgte er auf manchem Fest für den richtigen Rhythmus, er musiziert im Hochschulorchester und seit einiger Zeit gibt er mit seiner Trompete bei den „Alten Berghornisten“ in Wildemann

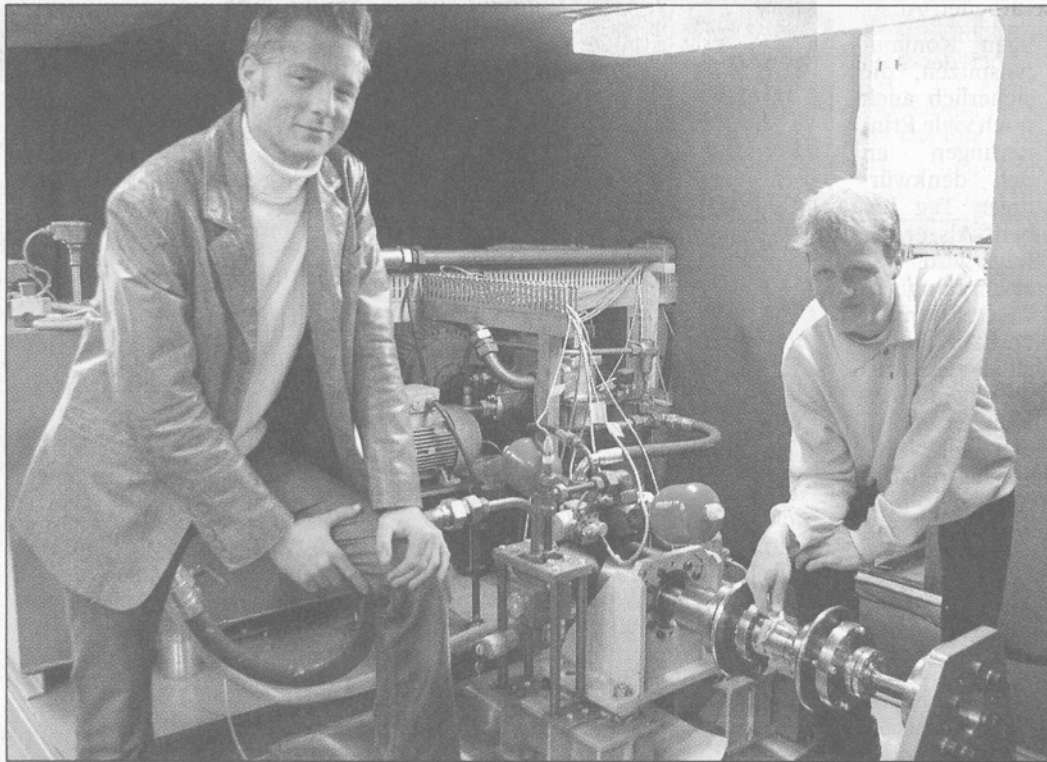
hin und wieder den Ton an. Nach so vielen Jahren Tätigkeit im Harz wird Peter Dietz, der die Natur liebt, dem Harz treu bleiben. Zumal die TU weiter von seinen Fähigkeiten und Kontakten profitieren will. Das Präsidium will dem Senat vorschlagen, Dietz zum Auslandsbeauftragten der Uni zu machen.

„Für sein energisches und erfolgreiches Engagement“ für die TU Clausthal sprach Professor Dr. Brandt und Prof. Dr. Albrecht Wolter, Dekan der Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen, Professor Dietz Dank und Anerkennungen aus.

oli/tuc



Im Bergkittel und mit Trompete: Peter Dietz beim Musizieren.



Leidenschaft für Maschinen verbindet den Studenten Konrad Stahr (links) und Dozenten Dr. Günter Schäfer, hier an einem Prüfstand für Zahnwellen-Ver-schleiß im Institut für Maschinenwesen.

Foto: Wündisch

## „Alleskönner“ der Technik

Studiengang „Maschinenbau/Mechatronik“ ist der beliebteste an der TU Clausthal

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Zahnwellenprüfstand, Mechatronik, Systemautomatisierung und konstruktive Probleme: Wem bei solchen Begriffen das Herz aufgeht statt nur Bahnhof zu verstehen, der ist beim Studiengang Maschinenbau genau richtig. Immerhin ist das Fach mit über 500 Studierenden das beliebteste an der TU Clausthal.

Ob der Baukran, der die Krone auf die Dresdener Frauenkirche aufsetzte, Windkraft-Anlagen oder Motor-triebe – alles von Maschinenbau-ern entworfen. Deutschland ist zum Beispiel weltweit führend im Mobilkran-Bereich und deckt 90 Prozent des Bedarfs auf dem Weltmarkt ab. „Made in Germany“ ist nach wie vor ein Markenzeichen für solide und geprüfte Qualität.

### Von der Industrie gesucht

Entsprechend zufrieden ist die Stimmung im Institut für Maschinenwesen, dem Herzstück des Studiengangs „Maschinenbau/Mechatro-

nik“, wie er neuerdings heißt. 82 Studienanfänger haben sich in diesem Wintersemester eingeschrieben. „Wir bilden Alleskönner aus, wir lehren die Arbeitsweisen“, sagt Mitarbeiter Dr. Günter Schäfer selbstbewusst. Immerhin muss sich die TU gegenüber Braunschweig oder Hannover profilieren.

Eigentlich alle Maschinenbauer haben hinterher gute berufliche Chancen. Sie werden von der Industrie gesucht. Oft werde aus einem Praktikum als Werkstudent und einer Studien- oder Diplomarbeit hinterher eine feste Anstellung, sagt Schäfer.

In Clausthal werden die Studenten und Studentinnen – der Frauenanteil liegt zurzeit bei 10 Prozent, Tendenz steigend – von Anfang an gut betreut. Im Grundstudium, erläutert die wissenschaftliche Mitarbeiterin Martina Wächter, werden zunächst die Grundlagen in Mathematik, Physik, Elektrotechnik, Mechanik und Thermodynamik gelegt. Außerdem muss natürlich das Handwerkszeug erlernt werden: Maschinenelemente wie Schrauben, Lager und Kupplungen stehen im Mittelpunkt von praktischen Übungen.

Im Hauptstudium wählen die Studenten zwischen zwei Richtungen: entweder „Elektrotechnik und Systemautomatisierung“ oder „Konstruktion, Fertigung und Betrieb“. Konrad Stahr hat sich für letzteres entschieden. Der 23-Jährige aus Herzberg hat schon vor seinem Studium mehrere Praktika in unterschiedlichen Firmen abgeleistet, die ihm alle angerechnet wurden.

### Doppeldiplom machen

Automobile oder Formenbau für Dachrinnen – „Hauptsache, laut und Krach“, sagt er grinsend. Er will auch unbedingt ein Semester ins Ausland gehen und lernt schon Spanisch. Technisches Englisch müsse sowieso jeder Maschinenbaustudent beherrschen, sagt er. Wenn er in Spanien studiert, bekommt er ein Doppeldiplom verliehen. Seine dortige Studienleistungen werden ihm angerechnet.

Durchschnittlich studieren die Maschinenbauer 13 Semester, die Regelstudienzeit liegt bei neun. Konrad Stahr sieht das relaxed: „Ein schnelles Studium steht zwar im Vordergrund, aber es zählen auch die Erfahrungen.“ wün



# Zug um Zug für mehr Sicherheit

TU-Kolloquium „Bemessung von Eisenbahnfahrwerken“ – Prof. Zenner: Eschede brachte „anderes Bewusstsein“

Von Barbara Wündisch

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Um die Sicherheit von Eisenbahnfahrwerken geht es noch bis heute in einem Kolloquium an der TU. Gastgeber ist das Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit. Dessen früherer Leiter, Prof. Harald Zenner, war Gutachter im Eschede-Prozess.

Zwei Jahre nach dem ICE-Unglück von Eschede, bei dem im Juni 1998 101 Menschen ums Leben kamen, begann ein vierjähriges Projekt unter Federführung der TU, gefördert mit mehreren Millionen Euro vom Bundesforschungsministerium.

Die Ergebnisse werden an zwei Tagen vor rund 100 Teilnehmern präsentiert, darunter Vertreter der Schienenfahrzeugindustrie, Bahnbetreiber aus der Schweiz, Österreich und Norwegen und Aufsichtsbehörden, wie das Eisenbahnbundesamt.



Um die Festigkeit von Achsen und Rädern geht es beim TU-Kolloquium.

Dr. Günter Köhler, Leiter der Abteilung Technische Dienste und Produktbereich Güterwagen bei Alstom Salzgitter, gibt zu: „Wir sprechen hier

auf so hochspezialisiertem Niveau, dass das nicht mal Leute verstehen, die beim Eisenbahnbau beschäftigt sind.“ Im Wesentlichen seien Dinge erforscht worden, die in die neuen EU-Normen für Schienenfahrzeuge einfließen sollen.

Auf Europa-Ebene gibt es neue Regelwerke für Hochgeschwindigkeits- und konventionelle Züge, was die Beschaffenheit von Rädern, Lagern, Wellen, Fahrwerksrahmen und Federungselementen angeht – knapp 1500 Normen insgesamt. Erschwerend komme die „Sprachverwirrung“ hinzu, meint Köhler. Geplant sei, das Forschungsvorhaben über weitere vier Jahre fortzusetzen, diesmal als deutsch-französisches Projekt.

Stichwort Sicherheit: Der neue Leiter des Clausthaler Instituts für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit, Prof. Alfons Esderts, formuliert als Leitfrage: „Wie müssen Eisenbahnfahrwerke ausgelegt sein, ohne dass es zu einem Schaden kommt?“ Er betont aber, dass schon vor Eschede alle Züge

regelmäßig untersucht worden seien.

Die heutigen Züge werden immer stärker belastet. Fuhr ein ICE früher nur 200 000 Kilometer im Jahr, sind es mittlerweile bis zu 600 000 Kilometer. „Die können dann natürlich nicht ewig halten“, sagt Esderts. In so genannten zerstörungsfreien Prüfungen werden zum Beispiel Stahlteile auf Haarrisse untersucht.

Sicherlich hätte sich nach Eschede ein „anderes Bewusstsein“ dafür entwickelt, dass „so ein technisches Versagen solche Auswirkungen haben kann“, sagt Zenner. Dennoch verneinte er, dass die Forschungen des TU-Instituts im Zusammenhang mit dem ICE-Unglück stehen.

Dennoch: „Warum der Riss an dem Radreifen entstanden ist, ist bis heute nicht eindeutig geklärt“, sagt Esderts. Der Eschede-Prozess wurde deshalb damals abgebrochen. Informationen der GZ, dass Teile des Fahrwerks des Unglückszuges an der TU Clausthal untersucht worden sind, mochten die drei Gesprächspartner nicht bestätigen.

GZ 19. November 2004

## Beste Chancen in der Stahlindustrie

Nachfrage nach Ingenieuren größer als das Angebot

Von Dieter Böhl

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Beste Berufschancen für Ingenieure bietet die Stahlindustrie. Als eine der großen Wachstumsbranchen in Deutschland steigt ihr Bedarf vor allem an Metallurgen, Werkstofftechnikern und Maschinenbauern von Jahr zu Jahr. Diese Studienrichtungen vereint die TU Clausthal unter einem Dach: Für die Harzer „Hightech-Schmiede“ wirbt an prominenter Stelle Prof. Dieter Ameling. Der ehemalige Clausthaler Student ist Präsident der Wirtschaftsvereinigung Stahl.

### ZUR PERSON

Prof. Dieter Ameling (64) ist seit April 2000 Präsident der „Wirtschaftsvereinigung Stahl“. Von 1961 bis 1965 studierte er Eisenhüttenkunde an der TU Clausthal. Zwei Jahre später machte er hier das Examen als „Eisenhüttenmann“. Bis



1971 arbeitete Dieter Ameling als Assistent an der Harzer Uni. Dann übernahm er die Leitung einiger Stahlwerke und rückte schließlich in die Vorstandsetagen auf, zuletzt als Manager der Krupp VDM GmbH. Heute ist er auch Vorsitzender des mitgliederstarken „Vereins von Freunden der TU Clausthal“.

„Wir werden dieses Jahr die Stahlproduktion um vier Prozent auf insgesamt 46,5 Millionen Tonnen steigern“, sagt Prof. Ameling im GZ-Gespräch. „Der Maschinenbau und der Automobilbau sind Paradeferde unter unseren Abnehmern.“ Doch nicht nur hier mache sich die Exportstärke Deutschlands bemerkbar: „Weltweit steigende Investitionen für die Förderung und den Transport von Gas und Öl haben den Stahlbedarf der Röhrenwerke enorm erhöht.“ Auch in all diesen Branchen seien gut ausgebildete und hoch motivierte Ingenieure gefragt.

„Das gilt ebenso für unsere Zulieferer wie Legierungs- und Feuerfesthersteller in der keramischen Industrie“, erweitert Dieter Ameling den

Kreis jener Unternehmen, die Nachwuchskräfte suchen. Und wer von der TU Clausthal komme, habe sehr gute Berufsaussichten.

Der Präsident der Wirtschaftsvereinigung zählt die Harzer Hochschule zu den vier Top-Universitäten für die Ausbildung etwa zum Metallurgen oder Werkstofftechniker – neben Aachen, Freiberg und Leoben/Österreich. „Deren Absolventen haben beste Chancen, weil die Nachfrage so groß ist“, macht er immer wieder deutlich – unter anderem in Interviews mit großen deutschen Fach- und Tageszeitungen. Denn die Nachfrage ist heute schon um zehn Prozent größer



Das „größte Stahlwerk“ des Oberharzes steht im Clausthaler Institut für Metallurgie. Foto: Brunhild Mikulla

als das Angebot, Tendenz steigend.

Voraussetzungen für das Ingenieurstudium seien ein Interesse an hochmoderner Technologie, naturwissenschaftliches Verständnis und „eine gewisse mathematische Veranlagung“, empfiehlt Prof. Ameling. Gutes Englisch sei unabdingbar, eine zweite Fremdsprache ebenso hilfreich wie ein Auslandsaufenthalt, etwa im Rahmen des Studiums.

Für Berufspraktika, die Studieren-

de vorweisen müssen, habe die deutsche Stahlindustrie ihre Tore weit geöffnet, sagt Prof. Ameling. Die Stahlbranche und ihr Umfeld beschäftigen übrigens in zunehmenden Maße auch Elektrotechniker und Elektroniker, Physiker und Chemiker. Hinzu kommen Wirtschaftsingenieure und Informatiker.

Weitere Infos, auch über Berufspraktika in den Semesterferien, im Internet unter [www.stahl-online.de](http://www.stahl-online.de)

GZ 24. November 2004



# Maschinenbau und Chemie als Vorzeige-Studiengänge

„Studentenspiegel“ zeigt einige Stärken, aber auch großen Nachholbedarf niedersächsischer Unis



Im bundesweiten Vergleich erhalten Niedersachsens Universitäten von ihren Studierenden oftmals schlechtere Noten als die „Konkurrenz“ in Süd- und Ostdeutschland. Das ist eines der Ergebnisse des „Studentenspiegels“, der bislang größten Umfrage unter deutschen Hochschülern. Diese gemeinsame Initiative der Unternehmensberatung McKinsey, des Internetdienstleisters AOL und des Nachrichtenmagazins „Spiegel“ führte zur Auswertung von fast 50 000 Online-Fragebögen.

In einzelnen Studiengängen erzielten Unis zwischen Hannover und Göttingen allerdings auch gute Ergebnisse, wie der jüngsten Ausga-

be des „Spiegel“ zu entnehmen ist. Traditionell stark in dieser Region ist der **Maschinenbau**: Die TU Clausthal zählt hier zu den sieben besten Universitäten in Deutschland, knapp gefolgt von der TU Braunschweig. Der Bereich **Chemie** der Harzer Uni landete im Bundesvergleich mit Platz 17 noch im oberen Mittelfeld, im niedersächsischen Landesvergleich sogar an der Spitze – weit vor Oldenburg, Göttingen, Hannover und Braunschweig.

Primus in **Mathematik** ist bundesweit die Uni Göttingen; Hannover, Clausthal und Braunschweig finden sich hier eher am Ende der Skala wieder. Auch die Göttinger Germa-

nistik schaffte es unter die ersten drei, während Hannover vor allem mit der **Informatik** (Platz 5) und der **Medizin** (Platz 8) punktete. Die Clausthaler Informatik kam bei der Befragung von Studenten nur auf Platz 47. Dies dürfte die Folge eines längeren Tiefs in diesem Bereich sein, das nach Angaben der TU jetzt mit neuen und vereinten Kräften überwunden werden soll.

„Bundesieger“ nach Punkten wurde übrigens die TU München, gefolgt von den Universitäten Freiburg und Leipzig. Als beste Uni Niedersachsens kam Göttingen lediglich auf Platz 25. Infos zur Umfrage und ihrer Methode unter [www.studentenspiegel.de](http://www.studentenspiegel.de)

# TU Clausthal lobt neue Abschlüsse

Präsident Brandt: Master ist der Weg zur Exzellenz

Von Henning Noske

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Der Präsident der Technischen Universität (TU) Clausthal, Professor Dr. Edmund Brandt, hat die Einführung der Bachelor- und Master-Studiengänge begrüßt und als große Chance für forschungsorientierte Hochschulen bezeichnet.

Brandt forderte im Gespräch mit unserer Zeitung eine „Qualitätsprüfung vor dem Master“, damit Hochschulen geeignete Studenten aussuchen könnten. Dies sei „die entscheidende Marktlücke“, die sich leistungsorientierten Hochschulen biete.

Der Clausthaler TU-Präsident wandte sich damit auch gegen einen Beschluss der so genannten „TU 9“. Die größten Technischen Universitäten Deutschlands, darunter Aachen, Karlsruhe, Hannover und

Braunschweig, hatten insbesondere am Bachelor-Abschluss Kritik geübt. Dieser sei kein berufsqualifizierender Abschluss für Ingenieure.

„Sie werden diese Position so nicht durchhalten können“, sagte Brandt. Es sei klar, dass man nach sechs Semestern Bachelor-Studium mit breiter Grundausbildung nicht so qualifiziert für den konkreten Arbeitsplatz sein könne wie nach zehensemestrigem Diplomstudium.

Im Master-Bereich werde man „fein justieren müssen, welche Qualitätsschritte noch zu tun sind“. Entscheidend sei, dass eine Eingangsprüfung durchgeführt werde. Hier liege der Schlüssel zur Exzellenz.

„Angesichts des enormen Potenzials, das wir haben, sehe ich eine große Chance im Master- und im Weiterbildungsbereich“, sagte Brandt. Fachhochschulen und „einige in der Forschung nicht so leistungsstarke Universitäten, die auf große Zahlen bauen müssen“, würden verstärkt auf den Bachelor-Bereich setzen.

Von 107 Unis in Deutschland, so Brandt, würden in wenigen Jahren nur noch 30 bis 35 bei der Exzellenzdiskussion eine Rolle spielen. Brandt: „Das sind die, die forschungsorientiert Master vergeben.“ Die anderen würden „lehrorientiert sein und die großen Zahlen im Bachelorbereich zu erbringen haben“.



Edmund Brandt.

Foto: Rotschiller

### LINK DES TAGES

Ausführliche Informationen zur TU Clausthal: [www.tu-clausthal.de](http://www.tu-clausthal.de)

GZ 29. November 2004

GZ 24. November 2004



Flair am Mittelmeer: Die Universität von Valencia hat einen architektonisch modernen Campus.



## Im Sinne von Erasmus

TU-Studenten können in Spanien, Frankreich und Polen ein Doppeldiplom erwerben

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD. Europa ist in aller Munde. Nach dem Vordiplom können Studenten der TU in Spanien, Frankreich oder Polen weiterstudieren – auf „Doppeldiplom“. Soeben haben die Clausthaler Maschinenbauer Kooperationsverträge in Oviedo und Valencia unterzeichnet.**

Doppeldiplome gibt es an vielen Unis und Fachhochschulen, in Niedersachsen ist die TU Clausthal aber Spitze. Mit fünf Auslands-Universitäten bestehen Abmachungen für den doppelten Abschluss: Nach Metz/Frankreich und Ostrawa/Tschechien gehen die Werkstofftechniker. Vor drei Jahren kam ein „Schub“ von Maschinenbauern aus Krakau/Polen. Seit diesem Wintersemester läuft nun das „Experiment Doppeldiplom“ mit Spanien, sagt Prof. Peter Dietz, frisch gebackener Auslandsbeauftragter der TU.

Die ausländischen oder deutschen Studenten legen ihr Vordiplom an ihrer Heimat-Uni ab, ehe sie, vom Erasmus-Studienprogramm und dem Deutschen Akademischen Auslands-

dienst (DAAD) gefördert, ihre Koffer packen. An der Partner-Hochschule sind weitere Prüfungen abzulegen. Die Diplomarbeit schließlich wird von je einem Professor aus Spanien und Deutschland betreut.

Während sich schon einige TU'ler für die Sonne Spaniens rüsten, hat es bislang noch niemanden nach Polen verschlagen. „Das verstehe ich gar nicht. Die ganze Innenstadt von Krakau ist eine einzige Studentenkneipe“, meint Dietz. Auch die Sprache dürfte nicht das Hauptproblem sein, obwohl Doppeldiplomanden Sprachprüfungen ablegen müssen. Dennoch gebe es genug eng-

lingsprachige Angebote in Krakau.

Als Neuheit sieht das deutsch-spanische Modell vor, dass in Gruppen studiert wird. Schon im vorbereitenden Sprachkurs bilden sich Tandems, die voneinander und miteinander lernen. „Ich begeistere mich für den europäischen Gedanken“, sagt Dietz. Wenn es nach ihm ginge, sollten Studierende in drei Ländern studieren können. Dafür dürfte man ruhig ein Semester hinten dranhängen, denn: „Aus meiner Erfahrung sind alle Studenten, die im Ausland studiert haben, ein ganz wesentliches Stück in ihrer persönlichen Entwicklung weitergekommen.“

Und auch die Berufschancen steigen natürlich, wenn man so ein Doppeldiplom in der Tasche hat. Oft beginnen polnische oder spanische Maschinenbau-Studenten ihr Werkpraktikum in Deutschland. Hat diese Firma eine Niederlassung im Ausland, können sie dort weiterarbeiten.

Das Doppeldiplom kommt gut an: Auch Studiengänge wie Verfahrenstechnik oder Mathematik wollen nachziehen. Verhandlungen mit fünf Unis laufen, darunter Tong Ji/Schanghai, Madrid und Gliwice. wün-



Über die Vertragsunterzeichnung berichtete auch die spanische Zeitung.



# „Es macht für uns einen Unterschied, ein deutsches Diplom zu haben“

Das Doppeldiplom vor Augen: Wojtek aus Polen und Aida und Daniel aus Spanien setzen ihr Maschinenbau-Studium an der TU Clausthal fort

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Wer als polnischer oder spanischer Doppeldiplom-Student an die TU Clausthal kommt, wird gut betreut: Am Institut für Maschinenwesen sorgen Dr. Günter Schäfer und Anke Guthmann dafür, dass sich die Austauschstudenten an der Uni zurechtfinden und erstellen gemeinsam mit ihnen einen Studienplan, ein so genanntes „Learning Agreement“.

Der EU-Beitritt Polens machte es möglich: **Wojtek Musial** gehört zu den ersten polnischen Studenten, die



Wojtek Musial

ohne Visum kommen konnten. Der 22-Jährige schätzt auch noch andere Freiheiten: In Deutschland dürfe man viel mehr Vorlesungen und Seminare auswählen als in seiner Heimat. Er hat sein Fach bewusst wegen des Doppeldiploms belegt. Bisher studierte er Maschinenbau und Automatisierungstechnik in Krakau. Auf seinem Semesterplan stehen neben dem Deutschkurs 20 Vorlesungsstunden samt Prüfungen. Er möchte auch schon bald mit den Vorbereitungen für seine Studienarbeit beginnen, „im Winter ist in Clausthal-Zellerfeld ja nicht so viel los“, meint er augenzwinkernd. Als Ausländer brauche er mehr Zeit, um seine Arbeiten zu schreiben. Wojtek, der im vierten Studienjahr ist, hat mit drei Freunden eine Studenten-WG gegründet.

Die Spanierin **Aida Palicio Huerta** aus Oviedo am Atlantik hatte schon von einigen „Heimkehrern“ von der TU Clausthal gehört. Sie ist 24 Jahre alt und hat schon fünf Studienstipendienjahre hinter sich. Sie wird das Doppeldiplom noch nach den alten Regeln ablegen und braucht dafür in Deutschland noch zwei Jahre.



Aida Palicio Huerta

Ihr Schwerpunkt ist die Maschinenkonstruktion, die zum Beispiel bei Windkraftanlagen oder Schneidemöhlen angewendet wird. Dafür belegt sie unter

anderem CAD, Computer Design. Auch in Spanien ist das Studieren nach festgelegten Stundenplänen üblich, man bleibt in der Regel in einem Jahrgang. Aida gehört zu einer Gruppe von zehn Oviedo-Studenten in Clausthal und wohnt im Wohnheim. Studentinnen seien im Maschinenbau in Spanien in der Minderheit, aber beständig auf dem Vormarsch, sagt sie.

Die gute Betreuung und den persönlichen Kontakt zu den Professoren schätzt **Daniel Moradiellos Rios**, ebenfalls aus Oviedo. Etwas Vergleichbares gebe es an seiner Heimat-Uni nicht, meint der 23-jährige. Wie die beiden Anderen ist er seit diesem Wintersemester im Oberharz und kleidet seinen gelinden Kulturschock in Gelächter. Es sei kalt hier und sehr wenig los.

Dafür komme man gut zum Lernen. Aber warum werde hier nicht auch Psychologie oder Medizin angeboten, damit der Frauenanteil steigt? Daniel hat als Schwerpunkt die Mechatronik gewählt. Er ist im sechsten Studienjahr und würde gerne Arbeit in Deutschland finden. Als Vorteil des Doppeldiploms nennt er: „In Europa, sind alle Studien mehr oder weniger gleich viel wert. Aber es macht einen Unterschied, ein deutsches Diplom zu haben.“



Daniel Moradiellos Rios

ist im sechsten Studienjahr und würde gerne Arbeit in Deutschland finden. Als Vorteil des Doppeldiploms nennt er: „In Europa, sind alle Studien mehr oder weniger gleich viel wert. Aber es macht einen Unterschied, ein deutsches Diplom zu haben.“

## Besuch aus Kuba

**CLAUSTHAL-ZELLERFELD.** Die TU hat Besuch aus Moa in Kuba: Für drei Monate ist eine Gruppe des „Instituto Superior Minero Metallurgico“ (Hochschule für Bergbau und Metallurgie) zu Gast in der Bergstadt. Gastgeber ist das Institut für Maschinenwesen.

Die Studienbedingungen in Moa sind mit deutschen nicht zu vergleichen. Der Besuch sei eine gute Gelegenheit, Fachkenntnisse für ihre Bibliothek zu sammeln, sagt Ingenieurin Josefa Mestre Lamoru. An der Hochschule in Moa gibt es lediglich vier Internetplätze, die den Studenten selten zur Verfügung stehen, weil sie von den Bibliothekarinnen gebraucht werden. Prof. Peter Dietz und sein Institut haben auch schon mit Sachmitteln wie Computern und Software ausgeholfen.

Die Kooperation zwischen Moa



Die Delegation aus Kuba im „Maschinenraum“ (v.l.): Murphis Pompa, Peter Dietz, Josefa Mestre Lamoro, Günter Schäfer, Ariana Rodriguez und Torsten Grünendick. Foto: Wündisch

und Clausthal existiert seit 1999, weil aus der DDR-Zeit aufzufrischen, der Bundesregierung daran gelegen erläutert Dietz. Moa hat eine der größten Nickelminen der Welt. wün

GZ 13. Dezember 2004

## Festigkeit und Beständigkeit eines Grossradiallüfters

Wolny, St.; Dietz, P.; Schäfer, G.

*Die Analyse der Möglichkeiten, die Leistungsfähigkeit des Lüfterrotors WPK-5,35 zu verbessern, zeigt, dass dies unter anderem durch eine Überarbeitung des Rotors erfolgen kann. Diese Modifikation betrifft hauptsächlich die Änderung der Schaufelradgeometrie. So, wie die Beobachtung des Lüfterrotors die geringe Festigkeit bestätigt und periodische Reparaturen der Brüche, die eindeutig durch Ermüdung hervorgerufen werden, erforderlich sind, gehört zur konstruktiven Überarbeitung eine eingehende Festigkeits- und Ermüdungsanalyse, die den Inhalt des folgenden Artikels bildet.*

*An analysis about improvements of efficiency of fan rotor's WPK-5,35 shows that this will be reached with a modified rotor. Concerning this, a change of the paddle wheel's geometry is necessary. Obviously, fatigue of the fan's material is responsible for a low mechanical strength. Therefore, an extensive numerical and experimental strength's analysis consists of the constructive rework is presented in this article.*

### 1 Einleitung

Der Betrieb von Grossradiallüftern mit einem Durchmesser von 5,35 m, die unter anderem im Bergbau Anwendung finden, ist mit Ermüdungsbrüchen verbunden, die gewöhnlich nach einigen tausend Stunden Arbeit auftreten /5/. Obwohl bereits länger daran gearbeitet wurde, die Verfügbarkeit dieser Anlagenkomponente zu erhöhen, gelang es, die Zeitperiode zwischen einer Reparatur und dem Auftauchen der nächsten Brüchen, nur im geringen Grade zu verlängern. Um die Ursachen dieser Situation zu klären, wurde eine Ermüdungsfestigkeitsanalyse der Konstruktion durchgeführt. Sie sollte die Grundlage für eine effektive Modifikation des Rotors sein, wobei besonders auf die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und auf die Senkung der maximalen Spannungen hin gearbeitet wurde. In Verbindung mit dem richtig geplanten Prozeß der Fehlerprüfung, kann so eine be-

achtliche Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Konstruktion erreicht werden.

### 2 Festigkeitsanalysen

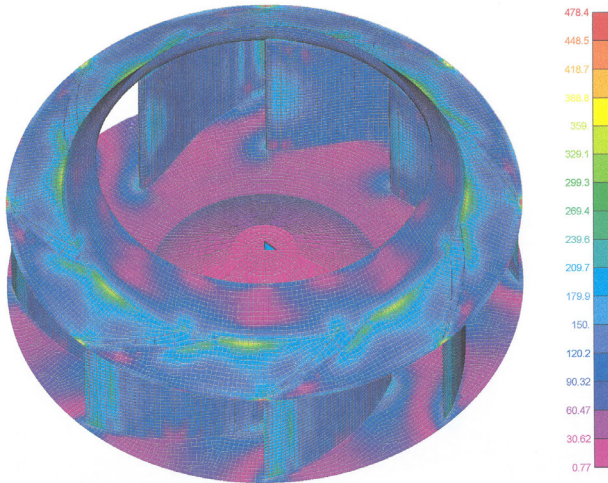
Die Bewertung der Festigkeitsanalyse des Rotors des Grossradiallüfters erfordert die genaue Kenntnis des Spannungs- und Verformungszustands unter den Bedingungen des normalen Betriebs und für absehbare Sonderlastzustände. Es ist auch notwendig, die Häufigkeit und den Wertebereich dieser veränderlichen Lasten in der vorausgesetzten Zeitperiode zu bestimmen. Die Festigkeitsanalyse des Rotors wurde mit Hilfe eines speziell erstellten numerischen Modells durchgeführt, wobei man die Computerprogramme FEMAP v-6.01 und CAEFEM v-5.0 sowie die Finite-Elemente-Methoden (FEM) benutzt hat. Das Berechnungsmodell des Rotors besteht aus 53608 dreieckigen oder viereckigen Schalenelementen, die entsprechend in 50154 Knoten verbunden sind. Die Berechnungen wurden für drei Arten der Belastungen durchgeführt, die hervorgerufen werden durch:

- Trägheitskräfte, die entstehen, wenn der Rotor  $n = 6,25$  Umdrehungen/sec ausführt.
- Eigengewicht des Rotors,
- Druck der Luft auf die Rotorschaukeln.

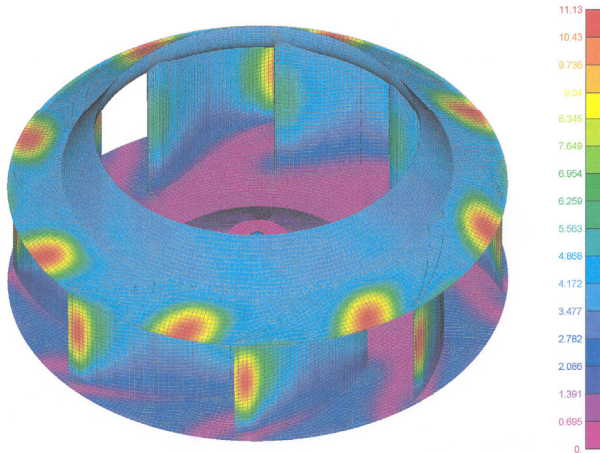
Als Ergebnis der durchgeführten Berechnungen hat man genaue Informationen über die Spannungen und Verformungen in den angenommenen Knotenpunkten des Rotors bekommen.

Im **Bild 1** ist die Spannungsverteilung dargestellt, die nach der Huber-Mises-Hypothese ermittelt wurde. In **Bild 2** sind die vollständigen Verformungen des Rotors dargestellt. In beiden Fällen wurden die dargestellten Werte durch die Trägheitskräfte hervorgerufen. Die Spannungs- und Verformungswerte, die durch Schwerkraft oder vom Luftdruck hervorgerufen werden, sind einige Zehnerpotenzen kleiner als diese, die durch die Trägheitskraft hervorgerufen sind, und sie haben damit praktisch keinen Einfluß auf die Festigkeit und Beständigkeit des Rotors.





**Bild 1:** Verteilung der Vergleichsspannung  $\sigma_z$  auf der Oberfläche der Elemente



**Bild 2:** Verteilung der vollständigen Verformungen  $u_x$

Wie erwartet, sind die maximalen Spannungen an den Stellen berechnet worden, an denen man die Brüche des Rotors beobachtet. Diese Bereiche befinden sich auf der Tragscheibe in unmittelbarer Nähe der Eintritts- (Knoten Nr. 16467) und Austrittskante (Nr. 16112) der Schaufeln, sowie an der Schweißnaht zwischen Schaufeln und Deckring (Nr. 21391).

In der **Tabelle 1** sind die Extremwerte der für diese Bereiche ermittelten Vergleichsspannungen angegeben, sowie auch die Komponenten des Spannungszustands, auf Grund deren sie ermittelt wurden.

Die Ergebnisse der dargestellten Festigkeitsanalyse haben es ermöglicht, den Versuch zu machen, die Ursachen der Brüche zu klären und die Ermüdungsfestigkeit des Radiallüfterrotors zu bewerten.

Ebene des Elements	Spannungskomponente	Knoten-Nr.		
		16467	16112	21391
obere	$\sigma_1$	264.5	0.1	290.4
	$\sigma_2$	-1.3	-139.5	-0.2
	$\tau_{max}$	133.1	69.6	145.3
	$\sigma_z$	232.6	134.0	271.9
untere	$\sigma_1$	2.6	191.6	150.4
	$\sigma_2$	-212.9	-0.1	-266.5
	$\tau_{max}$	107.7	95.8	208.5
	$\sigma_z$	188.6	181.1	365.7

**Tab. 1:** Extreme Werte von Spannungen, die von der Trägheitskraft kommen

### 3 Bewertung der Festigkeitsanalyse

Die Bestimmung der Stelle, wo der Ermüdungsbruch entstehen kann und die Analyse der Entwicklung dieses Ermüdungsbruchs des Lüfterrades wurden zum Bestandteil der Festigkeitsberechnungen. Die Ermüdungsbrüche werden gewöhnlich im Bereich der Kerbe initiiert, die mit geometrischen Unstetigkeiten verbunden ist, in denen die Anhäufung von Spannungen auftritt, die mit der Formzahl  $\alpha_k$  gemessen wird. Geringe Ermüdungsfestigkeiten von Elementen, die aus Materialien gemacht werden, die gute plastische Eigenschaften besitzen, hängen gewöhnlich damit zusammen, dass es im Bereich der Konzentration von Spannungen zu plastisch verformten Zonen kommt. Die Bewertung der Ermüdungsfestigkeit wird in solch einem Fall mit Hilfe der Methode der örtlichen Verformung durchgeführt. Dabei sind die elastisch-plastischen Verformungen die wichtigste Ursache dafür, dass die Hystereseschleife erscheint, deren Feld das Maß der im Stoff während eines Belastungszyklus gestreuten Energie bildet. Die Änderungen von charakteristischen Größen der Hystereseschleife, die in jedem Belastungszyklus auftreten, ermöglichen die makroskopischen Änderungen im Stoff zu beschreiben. Die Gleichung der zyklischen Kurve der Verformung kann man als die Summe von elastischen und plastischen Verformungen bestimmen /1/.

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{E}\right)^{1/n'} \quad (1)$$

wo:  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon_e$ ,  $\varepsilon_p$  entsprechend vollständige, elastische, plastische Verformungen sind,  $E$  - Modul der longitudinalen Elastizität,  $K'$  - Koeffizient der Kurve der zyklischen Verformung, und  $n'$  - Exponent der Kurve der zyklischen Verformung. Die Kurven, die die Hystereseschleifen bilden, werden durch die sog. verdoppelte Kurve der zyklischen Verformung /1/ beschrieben.

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\Delta\sigma}{2E} + \left(\frac{\Delta\sigma}{2K'}\right)^{1/n'} \quad (2)$$

wo:  $\Delta\varepsilon$ ,  $\Delta\sigma$  entsprechend Bereiche der Verformungen und Spannungen sind.

Die Ermüdungsbeschädigung wird mittels der für die Ermüdung des niedrigen Zyklus gültigen Methoden ermittelt. Dabei nimmt man an, dass die Festigkeit bis zur Initiierung des Ermüdungsbruchs in den gekerbten Elemente, die der Nominalspannung  $\Delta S$  und der Nominalverformung  $\Delta\varepsilon$  ausgesetzt werden, sich so verhält, wie die Ermüdungsfestigkeit der glatten Probe, die den Spannungen  $\Delta\sigma$  und den Verformungen  $\Delta\varepsilon$  ausgesetzt wird. Im Falle konstanter Amplituden von Spannungen oder Verformungen für asymmetrische Belastungen kann man die Ermüdungsfestigkeit durch folgende Gleichung bestimmen /2/:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\sigma'_f}{E} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f}\right) (2N_f)^b + \varepsilon'_f (2N_f)^c \quad (3)$$

wo:  $\sigma_m$  - mittlere Spannung,

$\sigma'_f$  - Koeffizient der Ermüdungsfestigkeit,

$\varepsilon'_f$  - Koeffizient zykl. plast. Verformungen,

$b$  - Exponent der Ermüdungsfestigkeit,

$c$  - Exponent zykl. plast. Verformungen.

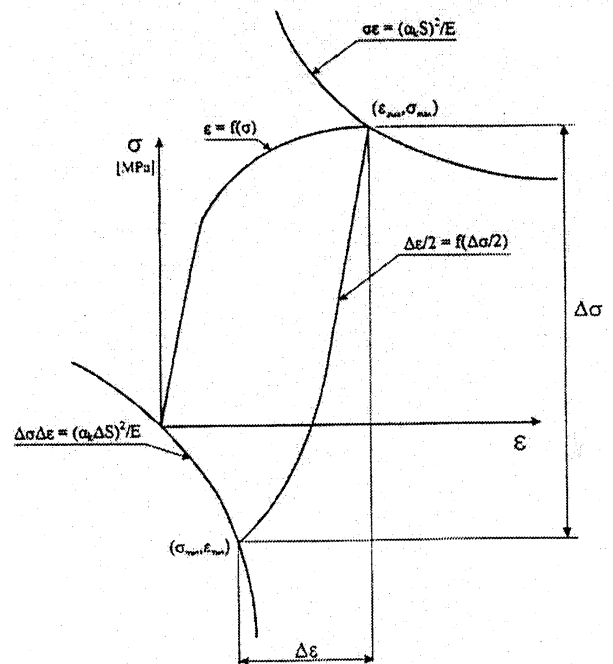
Örtliche Spannungen und Verformungen im plastifizierten Bereich der Kerbe werden bestimmt nach der Neuber-Abhängigkeit, die geschrieben wird als:

$$\sigma\varepsilon = (a_k S)^2 / E \quad (4)$$

Und die Bereiche der Änderungen von Spannungen und Verformungen entsprechend der Abhängigkeit:

$$\Delta\sigma\Delta\varepsilon = (a_k \Delta S)^2 / E \quad (4a)$$

wobei der theoretische Koeffizient  $\alpha_k$  durch den Versuchskoeffizient der Kerbwirkung  $\beta_k$  /2/ ersetzt wird. Die Verfahrensweise bei der Durchführung der Berechnungen wird im **Bild 3** dargestellt.



**Bild 3:** Ermittlung von örtlichen Spannungen und Verformungen nach der Neuber-Formel für die Zyklen von Dehnungsspannungen (die von Null pulsieren)

Der Rotor des Radiallüfters wurde aus dem Stahl mit der verstärkten Festigkeit 18G2A hergestellt, für den die Plastizitätsgrenze  $R_e = 356$  MPa, und die Zugfestigkeit  $R_m = 523$  MPa betragen. Für denselben Stahl im Korrosionszustand werden die Eigenschaften für niedrigen Zyklus durch folgende Werte /3/ bestimmt:  $K' = 843,1$  MPa,  $n' = 0,131$ ,  $\sigma'_f = 872,1$  MPa,  $\varepsilon'_f = 0,131$ ,  $b = -0,115$ ,  $c = -0,716$ . Die mit Hilfe von FEM durchgeführten Berechnungen bestätigen die Ergebnisse von Fehlerprüfungen, die die Ermüdungsbrüche in den Bereichen von Schweißstößen, die die Schaufel mit dem Dekkel und der Scheibe auf deren Eintritt verbinden, aufgedeckt haben. Der Höchstwert der Vergleichs-

spannungen beim Normalbetrieb des Lüfterrotors  $\sigma_z = 365,7$  MPa wurde an der Stelle des Schweißstoßes ermittelt, der die Schaufel mit dem Deckel verbindet. Diesen Wert hat man benutzt, um die Ermüdungsfestigkeit des Rotors zu bewerten, indem man als Spannungsamplitude die maximale Belastung angenommen hat, die zwischen dem Anlauf des Geräts vom Stillstand bis zur Nominaldrehzahl von 6,25 Umdreh./sec., auftritt. Da in den FEM-Berechnungen die Geometrie des Schweißstoßes nicht modelliert wurde, mit der eine Reihe von Mängeln der Schweißnaht sowohl auf der Oberfläche als auch im Inneren verbunden ist, hat man den kritischen Wert des Kerbradius entsprechend der Abhängigkeit /4/ bestimmt.

$$r_c = 2,174 \cdot 10^5 / R_m^2 = 0,80 \text{ mm} \quad (5)$$

Diesen Wert hat man für die Einschätzung des Koeffizienten der Kerbwirkung auf Grund von /2/ benutzt, indem man ihn als gleich  $\beta_k = 2$  annimmt, der dann in die Formel (4) anstelle von  $\alpha_k$  eingesetzt wird.

Den Höchstwert der örtlichen Spannungen in der Kerbe hat man nach der Gleichung bestimmt, die man durch die Einsetzung anstelle von  $\varepsilon$  in die Gleichung (4) der rechten Seite der Gleichung (1) bekommen hat.

$$\sigma + \frac{E}{K^{1/n}} \sigma^{\frac{1}{n}+1} - (\beta_k \sigma_z)^2 = 0 \quad (6)$$

wo S durch  $\sigma_z$  ersetzt wurde.

Der Wert der Spannungsbereiche  $\Delta\sigma$  wurde nach der Gleichung ermittelt, die entstand durch die Einsetzung in die Gleichung (4a) anstelle von  $\Delta\varepsilon$  der rechten Seite der Rechnung (2) multipliziert mit 2

$$\Delta\sigma^2 + \frac{2E}{(2K')^{1/n}} \Delta\sigma^{1+\frac{1}{n}} - (\beta_k \sigma_z)^2 = 0 \quad (7)$$

Die Annäherungslösungen der Rechnungen (6) und (7) wurden numerisch mittels der Newton-Methode ermittelt. Auf Grund von den Berechnungen wurden bestimmt:  $\sigma_{\max} = 335,8$  MPa,  $\varepsilon_{\max} = 7,770 \times 10^{-3}$ ,  $\Delta\sigma = 356,4$  MPa,  $\Delta\varepsilon = 7,32 \times 10^{-3}$ . Für diese Daten ermöglichte die numerische Lösung der Gleichung (3) bei der Anwendung der Newton-Methode, die Ermüdungsfestigkeit des Rotors gleich  $N_f = 192$  Zyklen zu bestimmen. Der Lüfterrotor wird im Laufe eines Betriebsjahres ungefähr

70 Anlaufzyklen ausgesetzt. Die ermittelte Zahl von Belastungszyklen, die mit dem Anlauf des Rotors bis zum Initiieren des Bruchs verbunden sind, befindet sich im Bereich der Ermüdung für niedrige Zyklenzahlen, wodurch deshalb das angenommene Berechnungsverfahren bestätigt wird.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die durchgeführte Festigkeits- und Ermüdungsanalyse weist darauf hin, dass die Hauptursache für die Entstehung der Beschädigungen des WPK-5,35-Rotors die Ermüdung ist, die hervorgerufen wird durch das hohe Niveau der Spannungen in den Bereichen der Verbindung des Deckels und der Tragscheibe mit Schaufeln, in deren Eintritt. Die Ermüdungsprozesse verstärken die Effekte, die in den Schweißstoßen auftreten, die sich in den am meisten beanspruchten Bereichen der Konstruktion befinden. Die Verkürzung der Zeit, die für das Initiieren der Ermüdungsbrüche nötig ist, wird zusätzlich durch Korrosionsprozesse und Erosionsverschleiß verursacht, die es zur Folge haben, dass die Dicke des Rotors wesentlich vermindert wird, insbesondere in den Bereichen um den Eintritt an den Schaufeln.

#### 5 Literatur

- /1/ Kocanda S., Szala J.: Podstawy obliczen zmczeniowych. Wydawnictwo naukowe PWN. Warszawa 1997
- /2/ Dowling N.E.: Mechanical behavior of materials. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- /3/ Kaleta J.; Kotowski P.: Wplyw przyspieszonego korodowania na wlasnosc zmczeniowe stali 18G2A. Mechanika. Materialien der V. Landeskonferenz der Bruchmechanik. Wissenschaftshefte der Swietokrzyska Technische Hochschule, Kielce 1995.
- /4/ Ladecki B.: Doktorarbeit „Wplyw bledow geometrii krzyzowych polaczen spawanych na ich wytrzymaosc zmczeniowa”. AGH, Krakow 1988.
- /5/ Wolny S., Dzik S., u. a. Opracowanie zmian konstrukcyjnych ukladu ssawnego i wirnika wentylatora typu WPK- 5,35 glownego przewietrzania kopalni dla zwiekszenia jego sprawnosci oraz czasu eksploatacji. Wissenschaftliche Arbeit KPBIEM. AGH, Krakow 1999.

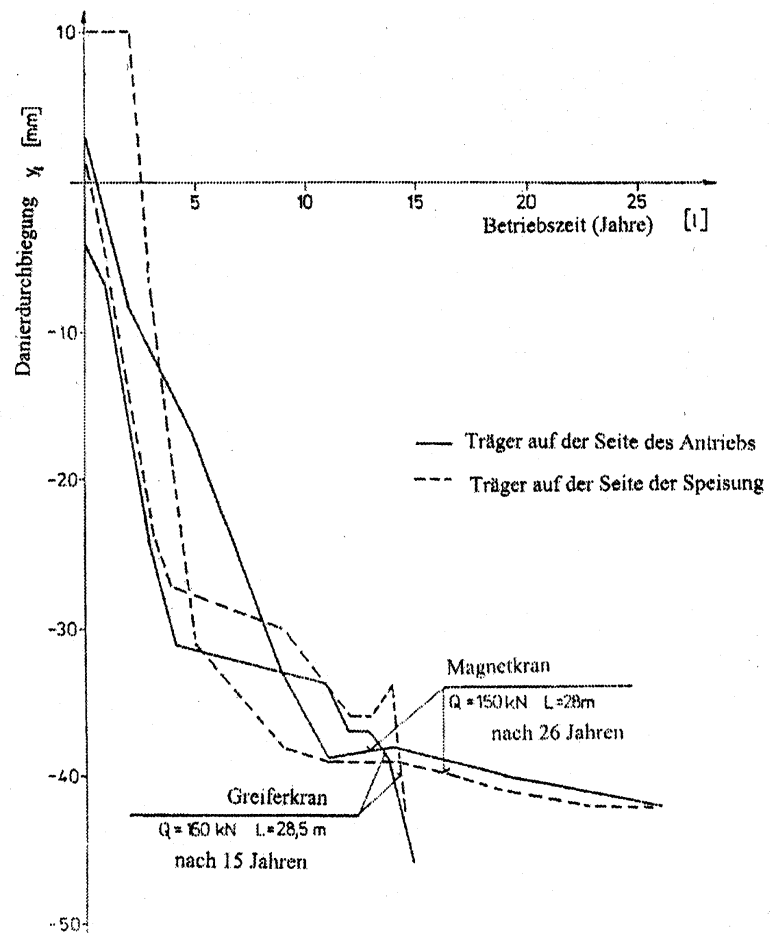
## Einfluß der technologischen Verdichtung auf den Zustand der Spannungen in Kastenträgern von Kränen

Wolny, St.; Siemieniec, A.; Dzik, St.; Dietz, P.

In diesem Referat haben die Autoren versucht, die Störungen des Spannungszustands (Distorsion) zu analysieren, die die Folge der durchgeführten Regeneration durch die Verdichtung der Kastenträger von Brückenkränen sind. Die technologische Verdichtung wird durchgeführt, um den Träger zu richten, der dauerhaft im Laufe des Betriebs verformt wurde. Die Wiederherstellung des „Nullpfeils“ der Durchbiegung ist möglich durch das Aufschweißen von Stahllaschen im unteren Teil des Kastenträgers. Diese Operation lässt sich bei der Vorverdichtung der Trägers (Schlagen) bis zum „Nullpfeil“ der Durchbiegung oder ohne Vorverdichtung durchführen. Die Vorverdichtung oder technologische Verdichtung ruft verschiedene Spannungen hervor, die in diesem Referat dargestellt werden. Einige Spannungszustände wurden mit Hilfe von tensometrischen Messungen ermittelt.

The report analysed the disturbances of distortion, which are consequences of the realised regeneration by compression of box girder from gantry cranes. The compression is realised in order to level the girder, which is deformed in the course of operation. The restoring of deflection is enabled by welding of steel straps on the bottom side of the box girder. Due to compression several tensions are generated. Some of them are determined with tensometric measurements.

Diese Verformungen wuchsen im Laufe der Betriebszeit von diesen Kränen an. Es können vertikale Durchbiegungen, parallele Verschiebungen von Teilen - oder horizontale Verschiebungen der Stege sein. Manchmal treten Verformungen auf, in denen nicht nur vertikale oder horizontale Verschiebungen zu beobachten sind, sondern es kann auch zur Drehung des Querschnitts vom Träger /3, 4, 5/ kommen. Der Verlauf des Anwachsens von Dauerdurchbiegungen der Kastenträger für einige Kräne, die in verschiedenen Abteilungen von HTS (Sendzimir-Hütte in Krakau) arbeiten, ist in **Bild 1** dargestellt.



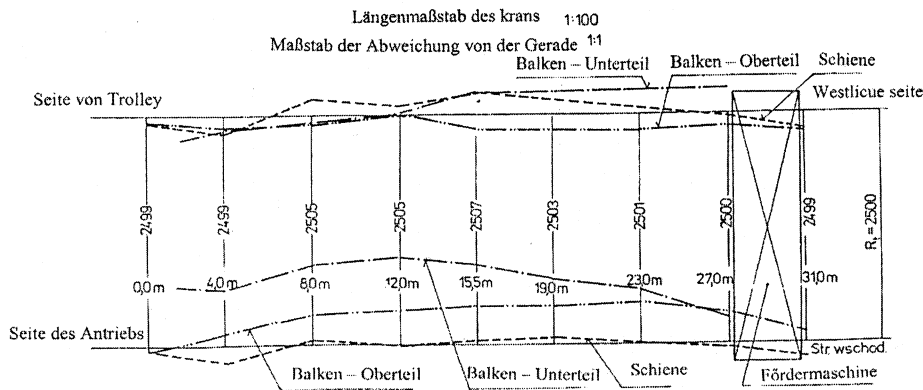
**Bild 1:** Verlauf des Anwachsens von Dauerdurchbiegungen der Kastenträger von Kränen

### 1 Einleitung

Die Kastenträger von Brückenkränen unterliegen während des Betriebs gewissen Dauerverformun-



Außerdem wurden horizontale Verformungen (des Unterteils und Oberteils) im gegebenen Träger der Kräne in **Bild 2** (geodätisches Dokument) dargestellt.



**Bild 2:** Geodätisches Dokument, das horizontale Verformungen des Oberteils und Unterteils vom ausgewählten Kastenträger des Krans darstellt

Seit vielen Jahren arbeitet man daran, die ursprüngliche (geradlinige) Form der Träger wiederherzustellen. Diese Arbeiten, sowohl theoretische /1, 2, 6, 7/ als auch Experimente an wirklichen Objekten /10, 11/ sowie an Modellen /1/ insgesamt haben dazu geführt, dass eine spezielle Methode der Regeneration von dauerhaft verformten Kastenträgern der Brückenkräne erarbeitet wurde. Es ist eine Methode, die das Phänomen des Schweißschumpfes von den auf Trägerteile aufgeschweißten Laschen ausnutzt. Solch eine „Verdichtung“ der Träger führt in die Konstruktion verschiedene Distorsionen ein. Diese Distorsionen rufen in den Elementen der Tragkonstruktionen von Kastenträgern der Brückenkräne Vorzustände der Spannung und Verformung hervor. Diese Zustände können sich unterschiedlich auf das Verhalten der Trägerkonstruktion im Laufe des Betriebs auswirken.

Um den unangenehmen Überraschungen während des Betriebs von regenerierten Kränen vorzubeugen - die eine Folge der in die Konstruktion während der Modernisierung eingeführten Distorsionen sind, beschloss man bereits in der Phase der Projektierung der Regeneration die negativen Einwirkungen der Distorsionen zu eliminieren.

Zu diesem Zweck wurden zwei Probleme analysiert:

a) Probleme der Vorzustände, die durch den bestimmten Distorsionszustand hervorgerufen werden,

b) Identifizierung der Distorsionszustände, die die bestimmten Vorzustände hervorrufen.

In diesem Referat wurde die Änderung des Spannungszustands dargestellt, die eine Folge der durchgeführten Regeneration von dauerhaft verformten Kastenträgern ist. Da die Kräne durch das Aufschießen von Seiten- oder Unterlaschen sowohl direkt auf verformte Träger oder bereits durch das bisher übliche „Schlagen“ regenerierte Träger Instand

gesetzt werden, hat man es mit zwei Varianten der Verdichtung und deren Spannungszuständen zu tun, die analysiert werden müssen:

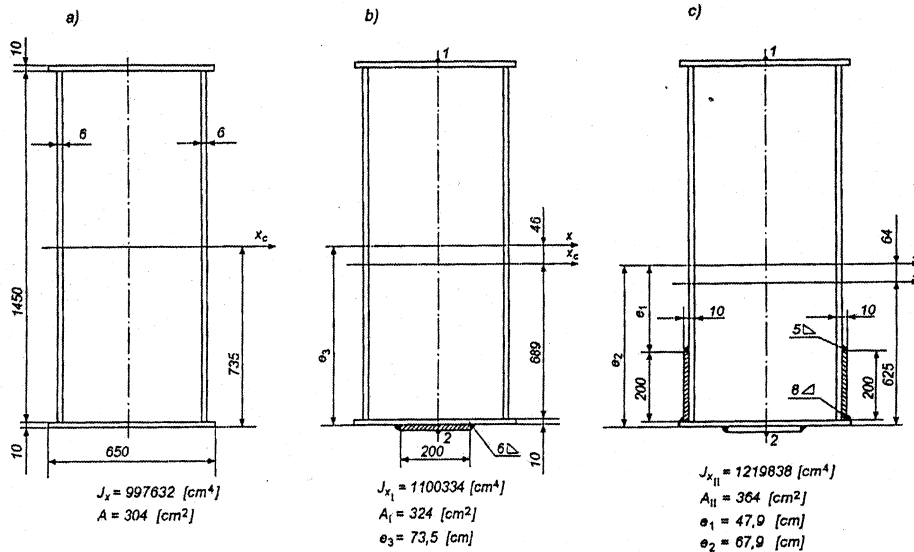
- Spannungszustand, der durch das Eigengewicht der Anlage, das Gewicht der Podeste hervorgerufen wird, und der die Folge von aufgeschweißten Seiten- oder Unterlaschen ist,
- Spannungszustand, der durch das Eigengewicht der Anlage, das Gewicht der Podeste, durch das „Schlagen“ der Träger hervorgerufen wird, und der die Folge von aufgeschweißten Seiten- oder Unterlaschen ist.

Die theoretische Analyse des Spannungszustands in den Querschnitten der Träger hat man mit Ergebnissen der Experimente (tensometrischen Messungen) verifiziert, die man an realen Objekten im Laufe der Regeneration durchgeführt hat (Ausgleichen der Dauerdurchbiegungen der Kastenträger von Kränen).

## 2 Spannungszustand in den Trägern der Kräne, der durch das Aufschießen von Unter- und Seitenlaschen entsteht (zweistufige Verdichtung)

Den Gegenstand der Analyse bildet der Träger des Krans mit der Weite von  $L = 28$  [m] und mit der Tragkraft von  $Q = 125$  [kN]. Die Träger dieses Krans hatten Dauerdurchbiegungen, deren Werte betragen für den Träger auf der Seite der Speisung  $f_z = 33$  [mm], und auf der Seite des Antriebs  $f_n = 42$  [mm]. Den Prozeß des Ausgleichens von dauerhaften Durchbiegungen hat man in zwei Phasen durchgeführt. In der ersten Phase hat man die Lasche auf den Unterteil, und in der zweiten Phase zwei Seiten-

laschen auf den Steg aufgeschweißt. Die Arbeiten wurden von einem besonders zu diesem Zweck errichteten an den Trägern aufgehängten Gerüst aus durchgeführt. Das Gewicht des Gerüsts hat eine zusätzliche Durchbiegung der Trägern von  $f_{sr} = 8 \text{ [mm]}$  verursacht, was zusätzliche Spannungen eingeführt hat. Die geometrische Charakteristik des Querschnitts eines regenerierten Trägers vor der Verdichtung und während des Aufschweißens von Laschen zeigt das **Bild 3**.



**Bild 3:** Geometrische Charakteristiken des Trägers, der einer zweistufigen Verdichtung ausgesetzt wurde

Der Spannungszustand im Querschnitt des Trägers vor der Verdichtung wurde verursacht durch das Eigengewicht der Konstruktion (das gleichmäßig verteilt war und den Charakter einer Dauerbelastung von  $q = 5,3 \text{ [kN/m]}$  hatte) und durch das Gewicht des Gerüsts, das eine zusätzliche Durchbiegung des Trägers von  $f_{sr}$  verursachte (der Wert dieser Durchbiegung wurde geodätisch verändert). Die Werte von diesen Größen ermöglichten, die Höchstspannungen im Querschnitt des Trägers zu ermitteln, die entsprechend betragen:

$\sigma_w = 33 \text{ [MPa]}$  - Spannung vom Eigengewicht

$\sigma_r = 15,1 \text{ [MPa]}$  - Spannung vom Gerüstgewicht

Spannungen, die von der Verdichtung kommen, werden durch die Abhängigkeit (1) bestimmt [9]:

$$\sigma_s = nE\mu q_l \left( \frac{1}{A_{I(II)}} + \frac{y_x y}{J_{xI(II)}} \right) \quad (1)$$

$n$  = die Zahl der Schweißnähte

$E$  = Koeffizient der longitudinalen Elastizität

$\mu$  =  $-3,53 \times 10^6 \text{ [cm}^3 \text{/Zoll]}$  - Konstante

$q_l = 1400a^2 \text{ [Zoll/cm]}$  -Linearenergie der Schweißnaht

$J_{xI(II)}$  = Trägheitsmoment entsprechend in der ersten und zweiten Phase der Verdichtung

$A_{I(II)}$  = Querschnittsfläche entsprechend in der ersten und zweiten Phase der Verdichtung  $[\text{cm}^2]$

$y_x$  = Entfernung der Schweißnahtachse vom Schwerpunkt des Querschnitts  $[\text{cm}]$

$y$  = Entfernung der Faser von der Achse  $X_c$ , die durch den Schwerpunkt  $[\text{cm}]$  geht.

Aus der Formel (1) hat man nach der Ermittlung entsprechender Größen

(vom Bild 3) die Werte der Spannungen entsprechend für die erste und zweite Phase der Verdichtung bekommen:

$\sigma_{s1} = 13,3 \text{ [MPa]}$  - Spannung im Oberteil,

$\sigma_{s2} = -26,6 \text{ [MPa]}$  - Spannung im Unterteil,

$\sigma'_{s1} = 19,1 \text{ [MPa]}$  - Spannung im Oberteil,

$\sigma'_{s2} = -104,5 \text{ [MPa]}$  - Spannung im Unterteil.

Während der Verdichtung im Bereich der Schweißnähte erscheinen Umformzonen, in denen Spannungen auftreten, die Dehnungen an der Grenze der plastischen Verformbarkeit des Stoffes  $R_e$  verursachen. Wenn die Vorspannungen [9] auftreten, lassen sich die Größen der Umformzonen nach der Formel (2) ermitteln:

$$A'_{ell} = A_{ell} \frac{m_\beta}{1 - \beta} \quad (2)$$

Wenn es keine Vorspannungen gibt, ermittelt man die Umformzonen nach der Formel:

$$A_{el(II)} = \frac{1}{A_{I(II)} + \frac{y_x \cdot y}{J_{xI(II)}} + \frac{\varepsilon}{\mu q_1}} \quad (3)$$

$m_\beta$  = Koeffizient, der den Einfluss von Vorspannungen bestimmt

$$\beta = \frac{\Delta_0}{\varepsilon_e} \quad (4)$$

$\Delta_0$  = relative übrig bleibende Verformung:

$$\Delta_0 = \left( \frac{1}{A_1} + \frac{y_{srl}}{J_{xI}} \right) \mu q_1 n \quad (5)$$

$n$  = die Zahl der Schweißnähte,

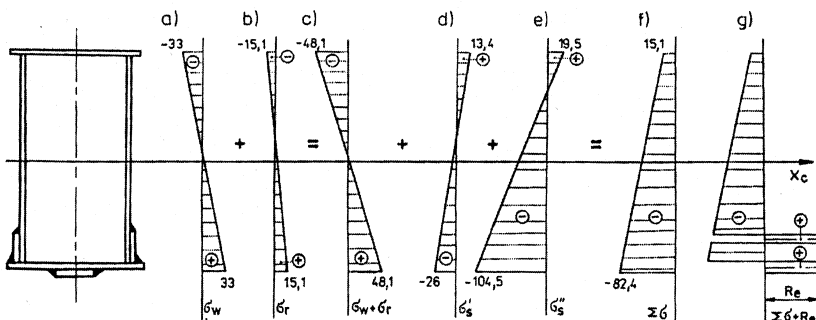
$\varepsilon_e = 12 \times 10^{-4}$  - elastische Verformung, die der Grenze der plastischen Verformbarkeit entspricht.

Der Wert des Koeffizienten  $m_\beta$  wird folgendermaßen /9/ angenommen:

$$\begin{aligned} m_\beta &= 1 - \beta && \text{für } 0 < \beta < 1 \\ m_\beta &= 1 - 2\beta && \text{für } -0,5 < \beta < 0 \\ m_\beta &= 4\beta && \text{für } -0,75 < \beta < -0,5 \end{aligned} \quad (6)$$

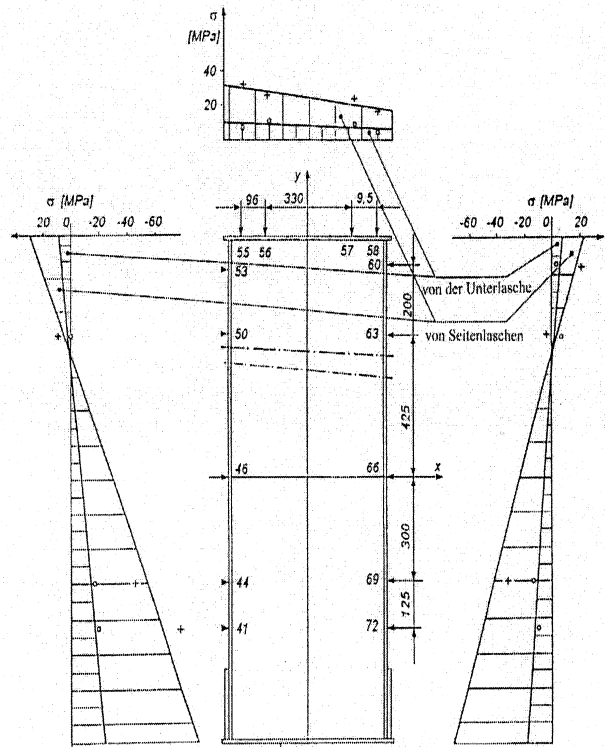
Für den besprochenen Fall  $A_{el} = 13,34 \text{ [cm}^2\text{]}$ ,  
 $A'_{ell} = 26,77 \text{ [cm}^2\text{]}$

Die in einzelnen Phasen der Verdichtung des Trägers auftretenden Spannungen und deren summarische Werte sowie Uniformzonen sind in **Bild 4** dargestellt:



**Bild 4:** Zusammenstellung von Spannungen vor und nach der Verdichtung des Trägers.

Während der Verdichtung wurden tensometrische Messungen im Moment des Aufschweißens der Unterlasche und der Seitenlaschen durchgeführt. Die Stelle, wo die Tensometer aufgeklebt wurden und die Verteilung der Spannungen auf den Wänden des Stegs sind in **Bild 5** dargestellt.

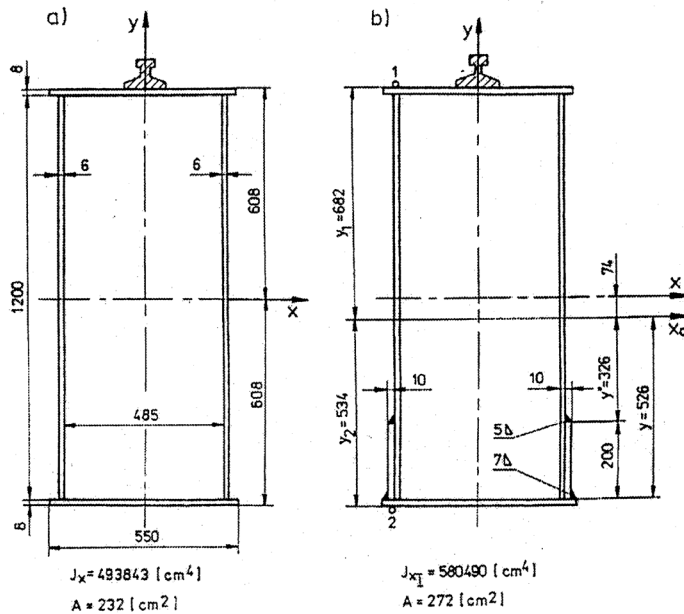


**Bild 5:** Anordnungen von Tensometern und Verteilung der Spannungen bei der Verdichtung in zwei Phasen

### 3 Spannungszustand in den Trägern der Kräne, der durch das Aufschweißen von Laschen hervorgerufen wird bei dem das „Schlagen“ des Trägers vorangeht

Den Gegenstand der Analyse bildet der Träger des Krans mit der Weite von  $L = 19 \text{ [m]}$  und mit der Tragkraft von  $Q = 200 \text{ [kN]}$ . Die Träger dieses Krans hatten Dauerbiegungen, deren Werte betragen für den Träger auf der Seite der Speisung  $f_z = 14 \text{ [mm]}$ , und auf der Seite des Antriebs  $f_n = 21 \text{ [mm]}$ . Den Prozeß des Ausgleichens hat man mit Hilfe des „Schlagens“ der Träger bis zu „Nullpfeilen“ der Durchbiegung durchgeführt, und dann

hat man sie durch das Aufschweißen der Seitenlaschen verdichtet. Die geometrische Charakteristiken des Querschnitts des analysierten Trägers zeigt das **Bild 6**.



**Bild 6:** Geometrische Charakteristiken des Trägers, der mit Schlägen verdichtet wurde.

Ähnlich, wie in der im Punkt 2 analysierten Variante der Verdichtung kommen die Höchstspannungen im Querschnitt des Trägers von:

$\sigma_p = -80,6 [MPa]$  - Spannung vom Schlägen.

Spannungen, die von der Verdichtung kommen, werden ähnlich wie im Punkt 2 nach der Formel (1) ermittelt. Sie betragen entsprechend:

$\sigma'_{s1} = 26,2 [MPa]$  - Spannungen im Ober-  
teil,

$\sigma'_{s2} = -121 [MPa]$  - Spannungen im Unter-  
teil.

Die in einzelnen Phasen der Belastung auftretenden Spannungen und summarische Spannungen im Querschnitt des Trägers sind in **Bild 7** dargestellt:

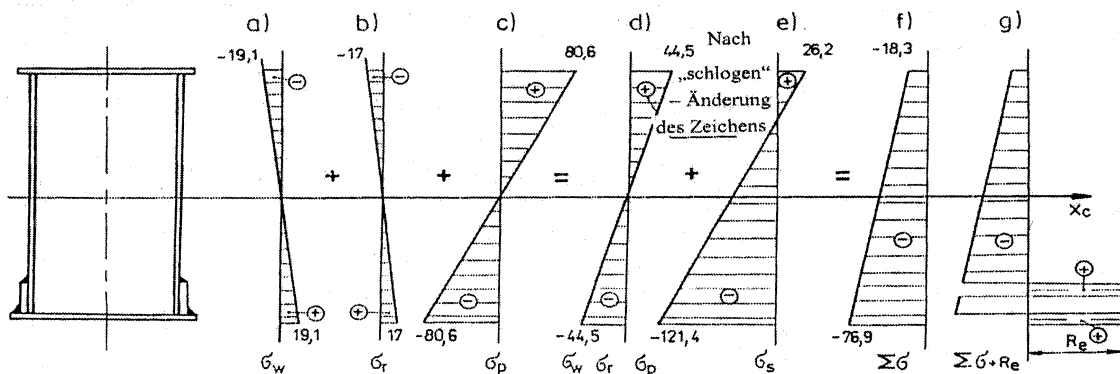
Während des Schlagens und der Verdichtung wurden tensometrische Messungen des Verformungszustands durchgeführt. Die Messpunkte und Diagramme der Verteilung von Spannungen nach „Schlagen“ und Verdichtung zeigt das **Bild 8**.

Auch in diesem Fall der Verdichtung entstehen Uniformzonen, in denen Spannungen gleich der Grenze der plastischen Verformbarkeit  $R_e$  sind. Die Größe der Umformzonen

wurde für diesen Fall der Verdichtung nach der Formel (3) ermittelt, und sie betragen entsprechend:

für die Schweißnaht  $a = 5 [mm]$   $A_{eI} = 9,55 [cm^2]$

für die Schweißnaht  $a = 7 [mm]$   $A_{eII} = 16,35 [cm^2]$



**Bild 7:** Zusammenstellung von gemessenen Spannungen nach Schlägen und Verdichtung.

$\sigma_w = 19,1 [MPa]$  - Spannungen vom Eigengewicht,

$\sigma_r = 17 [MPa]$  - Spannungen vom Gewicht des Gerüsts,

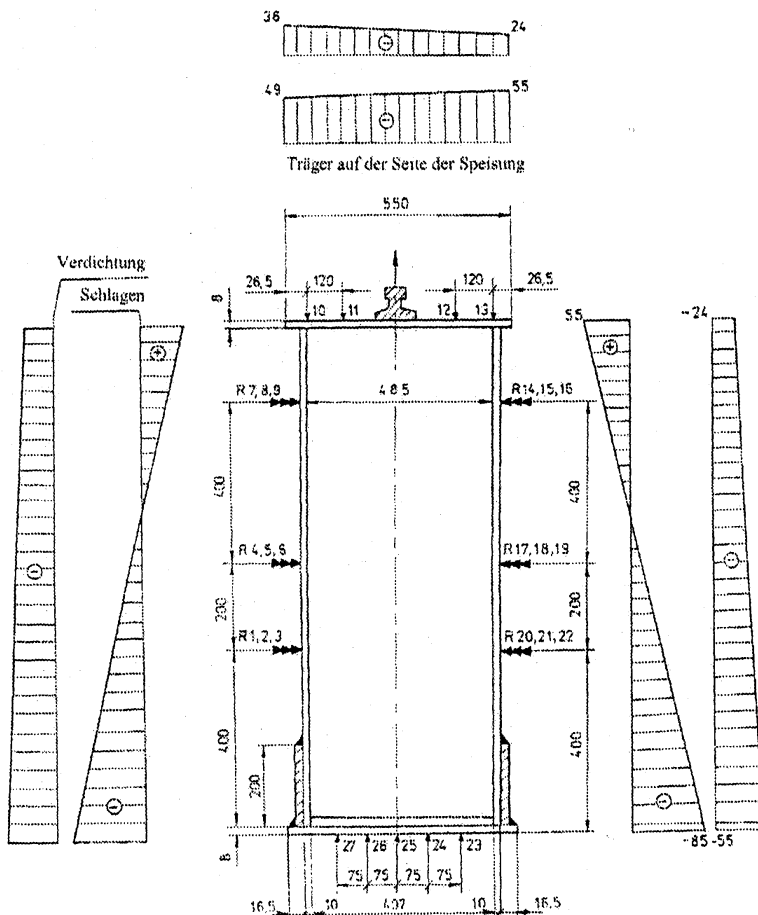
und auch von der Verformung, die durch das „Schlagen“ des Trägers hervorgerufen wird:

Die Größen von diesen Zonen wurden in Bild 7 dargestellt.

#### 4 Schlussfolgerungen

Auf Grund von theoretischen Überlegungen und von durchgeführten Experimenten hat man folgende Schlüsse gezogen:

1. Auf die Träger wirken sich während der Verdichtung verschiedene Distorsionszustände aus, was zur Kumulation der Spannungen führt.



**Bild 8:** Anordnungen von Tensometern und Verteilung der Spannungen während des „Schlagen“ und der Verdichtung des Trägers

2. Die regenerierten Träger befinden sich im Zustand der Einwirkung von Druckspannungen sowohl in Oberteilen als auch in Unterteilen, aber die Spannungen in den unteren Fasern sind größer und betragen ca. 80 [MPa].
3. Im Bereich der Schweißnähte treten die Umformzonen auf, in denen es die Spannung gibt, die der Grenze der plastischen Verformbarkeit mit Pluszeichen  $R_e$  (Dehnungsspannung) erreichen.
4. Solch ein Spannungszustand kann sich auf die Betriebsfestigkeit der Träger auswirken, wenn sie der Nutzbelastung ausgesetzt werden. Deshalb ist das Verhalten von diesen Trägern während des Betriebs zu überwachen.

## 5 Literatur

- /1/ Blum A., Dzik S., Siemieniec A.: Badanie wartosci sil wewnetrznych w procesie spawania nakladek sprejajacych trwale odkształconych dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych. XV wissenschaftliche Tagung der experimentellen Mechanik des Festkörpers. Jachranka 1992, S.23-26.
- /2/ Dzik S., Obrzud K., Wolny S., : Wplyw sprejania na stan naprezenia i odkształcenia skrzynkowego dźwigara suwnicy. ZN AGH Mechanika, Band 13, Heft 4. 1994, S. 507-519.
- /3/ Dzik S., Obrzud K.: Sprejanie dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych odkształconych poprzecznie i posiadajacych trwale ugiecie pionowe. IX Konferencja - Probleme in der Konstruktion und Ausnutzung der Hütten- und Keramikmaschinen. II Zakopane 1996, S. 55-62
- /4/ Dzik S., Obrzud K.: Zagadnienia sprejania dźwigara skrzynkowego suwnicy w przypadkutrwałego odkształcenia pionowego, poprzecznego oraz obrotu przekroju. Konferencja - Probleme der Entwicklung von Arbeitsmaschinen. Zakopane 1997, S. 89-96
- /5/ Dzik S., Obrzud K.: Metodyka regeneracji dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych odkształconych w płaszczyźnie poziomej. Przegląd mechaniczny Nr. 5-6, 1999, S. 16-22.
- /6/ Dzik S., Siemieniec A, Wolny S.: Das Richten von Stahlbauwerken durch gezielt aufgeschweißte Verstärklungsaschen. IMW-Mitteilung Nr. 23, TU Clausthal 1998, S. 165 - 170.
- /7/ Dzik S., Wolny S.: Technological compression as a mean to eliminate permanent deflections of the traveling crane carrying girders. Zbornik Slovenskích Prirodovedcov a Technikov. Fakty, Heft 2, Liptovsky Mikulas. 1999, S. 25-29.



# Systemansatz zur automatisierten Projektierung und Fertigung von Leiterplatten

Tepnadse, S.A.; Betaneli A.J.; Wepchwadse, D.A.

*Die Analyse von Fertigungsvorgängen und der automatisierten Projektierung von Platinen der elektronischen Datenverarbeitungsanlage (EDVA) und Radioapparatur wurde gemäß den Prinzipien des Systemansatzes entsprechend vom Standpunkt des Erreichens der gemeinsamen Optimierung durchgeführt. Das verallgemeinerte Kriterium der Herstellungsoptimierung und der automatisierten Projektierung von Platinen wurde unter Berücksichtigung der Einzelkriterien wie Durchführbarkeit, der Erhöhung der Effektivität der Platinen sowie der Verbesserung der qualitativen Merkmale vorrangig erforscht und festgestellt. Die Notwendigkeit der Bildung von integrierten Systemen in der Herstellung sowie der automatisierten Projektierung und der perspektivischen intellektuellen automatisierten Projektierung von Leiterplatten werden hervorgehoben, sowie konzeptionelle Modelle vorgestellt.*

*According to systems principles, the analysis of computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) of circuit boards are presented in this work, where the necessity of creating the integrated systems are shown. It's established and suggested rational shape of the summary criterion of optimization of the computer-aided design and manufacturing of circuit boards with register of particular criterion of the optimum. It's underlined the necessity of the create in future the integrated systems of computer-aided design and manufacturing of circuit boards coming from tasks of the increasing of effectiveness and improvement of the quality index of computer-aided design and manufacturing of circuit boards. The conceptual models of perspective intellectual systems of future generations circuit boards of computer-aided design and manufacturing and their construction are offered.*

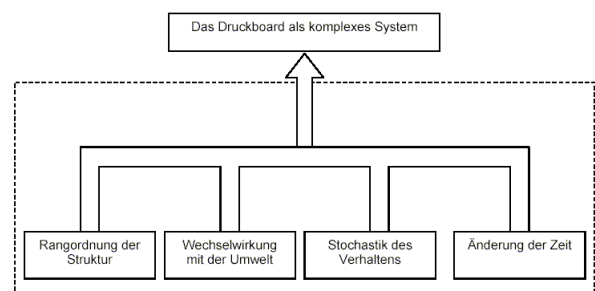
## 1 Einleitung

Die moderne elektronische Datenverarbeitungsanlage (EDVA) und Radioapparatur ist ohne Verwendung von Leiterplatten undenkbar. Ebenfalls undenkbar ist deren Projektierung und Herstellung ohne Automatisierung von Vorgängen sowie ohne Arbeitsschritte, die anhand von computer aided design (CAD) und computeraided manufacturing

(CAM) durchgeführt werden. Die Automatisierung der Projektierung und der Fertigung der Platinen kann nicht nur die Fertigungsdauer verringern, sondern auch ihre Qualität und Funktionssicherheit steigern. Dabei kann sich der qualifizierte Fachmann aus der nichtschöpferischen, routinemäßigen Arbeit befreien. Dies gibt ihm Gelegenheit, Zeitressourcen frei zu nutzen und sich schöpferisch den Projektierungs- sowie Fertigungsvorgängen zu widmen.

## 2 Die Platine als komplexes System

Die modernen Konstruktionsarten einer Leiterplatte und ihre fertigungstechnischen Prozesse sind durch die Eigenschaften eines komplexen Systems gekennzeichnet: die Rangordnung (Aufgliederung der Hierarchie) der Struktur, die Wechselwirkung mit der Umwelt, das stochastische Verhalten sowie die Änderung der Zeit (siehe **Bild 1**). Daraus lassen sich Schlüsse hinsichtlich der Entscheidung der Planung, Projektierung sowie der Fertigung ziehen, ebenso über die Möglichkeit und Unabdingbarkeit der Verwendung des gefundenen Systemansatzes.



**Bild 1:** Darstellung einer Platine als komplexes System

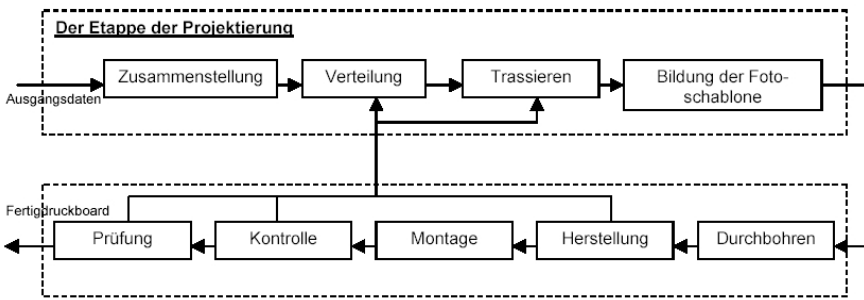
## 3 Systemansatz

Bei gemeinschaftlicher Organisation von Projektierungs- und Fertigungsvorgängen ist der Systemansatz einer der modernsten und methodischsten Prinzipien des Forschens. Das Prinzip besteht nicht nur darin, die in den einzelnen Schritten anfallenden Aufgaben der automatisierten Projektierung (Zusammenstellung, Verteilung, Trassieren, Bildung einer Fotoschablone) und die Aufgaben der automatisierten Fertigung (Bohren, Herstel-

lung, Montage, Kontrolle, Prüfung) in wechselseitiger Verbindung zu absolvieren, sondern auch die wechselseitige Verbindung zwischen dieser Etappen herzustellen. (siehe **Bild 2**)

$P(s)$  – das Optimierungskriterium der Verteilungsaufgabe;  
 $T(s)$  – das Optimierungskriterium der Aufgabe des Trassierens;

$F(s)$  – das Optimierungskriterium der Bildung einer Fotoschablone;  
 $C(s)$  – das Optimierungskriterium des technologischen Arbeitsganges des Durchbohrens.  
 $M(s)$  – Optimierungskriterium des technologischen Arbeitsganges der



**Bild 2:** Schema der wechselseitigen Verbindung Herstellung und Projektierung

Soweit die Aufgaben der Projektierung und die Schritte der Fertigung die Optimierungsaufgaben darstellen und unter dem Einfluss der zufälligen Faktoren stehen, beruht der Systemansatz auf Wahrscheinlichkeits-, statistischen und Optimierungsmethoden, deren Anwendung mit einem hohem Rechenaufwand verbunden ist.

Für die Lösung der konkreten Optimierungsaufgabe ist es nötig:

- das Kriterium der Optimierung auszuwählen,
- die mathematischen Formeln der Zielfunktionen aufzustellen,
- die Extremwerte der Zielfunktion zu bestimmen.

Die rationelle Art des verallgemeinerten Kriteriums (des Ganzheitskriteriums) der Optimierung von Projektierung und Fertigung einer Leiterplatte ist aufgrund der statistischen Analyse und der experimentellen Forschungen festgestellt. Dabei sind die Einzelkriterien der Optimierung von konkreten Aufgaben vorgesehen:

$$Q(s) = [K(s), P(s), T(s), F(s), C(s), M(s)] .$$

Hierbei gilt:

$S$  – das Optimierungsobjekt ( Platine);  
 $Q(s)$  – das verallgemeinerte Kriterium der Optimierung;  
 $K(s)$  – das Optimierungskriterium der Aufgabe der Zusammenstellung;

Montage.

Jedem Kriterium entspricht eine der Zahlen  $\mu_i, i = 1, 2, \dots, n$ . Sie bezeichnet ihre Wichtigkeit im Vergleich zu den anderen Kriterien. Dies gibt uns Gelegenheit, uns die ergänzende Funktion vorzustellen:

$$Q(s) = \sum_{i=1}^n \mu_i Q_i(s)$$

wobei  $\mu_i \geq 0;$   $\sum_{i=1}^n \mu_i = 1$

Die bestimmte Formel bietet die Möglichkeit, die Einzelkriterien in einem Ausdruck zu vereinigen. In

$$Q(s) = \mu_1 K(s) + \mu_2 P(s) + \mu_3 T(s) + \mu_4 F(s) + \mu_5 C(s) + \mu_6 M(s).$$

diesem Fall erhalten wir

Die Werte für  $\mu_i$  (Gewichtskoeffizienten) werden von Experten abgeschätzt.

Die Lösung der gemeinsamen Optimierungsaufgaben von Projektierung und Herstellung der Leiterplatten wird durch die Einführung der verallgemeinerten Optimierungskriterien erreicht, wobei man eine Aufgabe, die viele Kriterien hat, auf skalare Optimierung zurückführt.

Die Verwirklichung der vollen Optimierung ist deshalb aufgrund der großen Anzahl von Einzelkriterien, Variablen und Einschränkungen schwer. Aus diesem Grund ist die angegebene Art des verallgemeinerten Kriteriums eine der annehmbarsten Varianten einer Lösung, was die Ergebnisse der experimentellen Erforschungen und der statistischen Analyse auch hinreichend bewiesen.

Vom Standpunkt der Automatisierung her beschreibt das Verfahren der automatisierten Projektierung und Herstellung von Leiterplatten in der

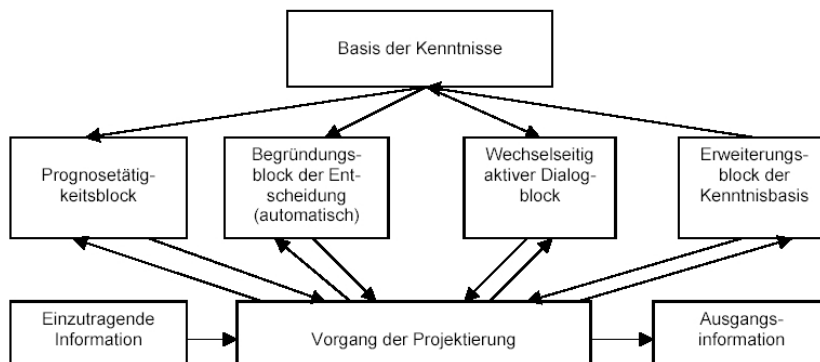
einheitlichen Verkürzung nicht nur die Vervollkommnung und Entwicklung von einzelnen Funktionen der Systeme der automatisierten Projektierung sowie Fertigung, sondern auch die Schaffung von integrierten Systemen.

#### 4 Das konzeptionelle Strukturmodell des Systems zur automatischen Projektierung einer Platine

Das moderne System der automatisierten Projektierung (CAD) wird durch das Vorhandensein einer Datenbank gekennzeichnet. Die Unterscheidungsmerkmale von ausarbeitenden Systemen sind: das Vorhandensein der Kenntnisse sowie die Verwendung der künstlichen Intelligenz.

In solchen Systemen muss die Basis dazu in der Lage sein, die Bestandteile der intellektuellen Tätigkeit des Menschen zu modellieren. Das Expertensystem muss all diese Kenntnisse und Erfahrung darstellen und nutzen, was in der Projektierung von Leiterplatten gewährleistet wird. Sie muss die optimale Entscheidung aufgrund der Analyse von Regeln treffen. Im Zuge der Analyse werden die einheitlich behandelt.

Das Schema des konzeptionellen Modells der Struktur solcher Systeme ist (siehe **Bild 3**) dargestellt. Die einzelnen Blöcke stellen die Aufgaben der bestimmten Funktionen dar.



**Bild 3** : Schema des konzeptionellen Systems zur intelligenten Projektierung von Leiterplatten

Der Prognosefähigkeitsblock bestimmt die Möglichkeit des positiven Entschlusses aufgrund der bestehenden Information über die zu projektierende Platine, das erforderliche Verzeichnis der auf dem niedrigeren Niveau stehenden Erzeugnisse (integrierte Mikroschaltkreise, Transistoren u.a.), für die Effizienz der Projektierung der Platine. Im Dialogbereich muss der Block der rationalsten Form der Projektierung (z. B. die beidseitige oder mehr-

schichtige Platine) die Projektierungsmethode (automatische, automatisierte) bestimmen. Ebenso werden ähnliche Aufgaben gelöst.

Der Begründungsblock der automatischen Entscheidungen informiert über die Verzweigungspunkte des Projektierungsprozesses, kompromisslose Entscheidungen und Parameter, die die Auswahl der verschiedenen Entscheidungen beeinflussen. Solch eine Information ist für den Nutzer des Systems notwendig, um bei der Analyse des Fortgangs der Projektierung und bei der Entscheidungsfindung die möglichen Änderungen darin einzutragen.

Das Unterscheidungskriterium des Dialogs von perspektivischen Systemen ist die wechselseitige Aktivität. Dies muss mittels des Blocks des wechselseitigen aktiven Dialogs ausgeführt werden. Dieser Block muss dem Nutzer im Fall der komplizierten Situation helfen, die richtigen Entscheidungen zu treffen. Zu dieser Zeit hat der Computer nicht nur die Rolle des Konsulenten, sondern die Rolle eines Experten, der dem Nutzer die alternativen Varianten mit Empfehlungen anbietet. Im Fall der Notwendigkeit kann der Nutzer zusätzliche Information verlangen oder einfügen, die für die Entscheidungstreffung notwendig wird.

Er kann im Fall der Notwendigkeit die vorherigen Etappen der Projektierung wiederholen, wo Integrationsmöglichkeiten für aktuellere Faktoren und zusätzlich einzutragende Information vorgesehen sind.

Der Block der Erweiterung der Kenntnisdatenbank muss aufgrund der zu projektierenden Leiterplatten den Zustand der Kenntnisdatenbank analysieren, um die Richtigkeit der Prognosefähigkeit zu schätzen und sie entsprechend korrigieren zu können.

Die Basis der Kenntnisse kann auch autonom erweitert werden, z. B. am Anfang der Projektierung der Platine der neuen Art (das früher keine Analogien aufwies).

#### 5 Die Systeme der automatisierten Fertigung Computer Aided Manufacturing (CAM)

Nach der Projektierung der Platine in den Systemen der automatisierten Projektierung ist es notwendig, folgende technologische Arbeitsgänge auszuführen: das Durchbohren, die Herstellung, die

Montage, die Kontrolle und die Prüfung. Zurzeit werden all diese Arbeitsgänge überhaupt in den Systemen der automatisierten Herstellung auf den entsprechenden technologischen Abschnitten ohne Dialoghaltung mit den Systemen der automatisierten Projektierung ausgeführt. Das birgt gewisse Probleme bezüglich der Qualität und Sicherheit der hergestellten Platine. Die Notwendigkeit der raschen und qualitativen Herstellung von Platinen verlangte, die Systeme der automatisierten Projektierung sowie der automatisierten Fertigung zu vereinen. Dies führte dazu, dass das Ziel über die Bildung der automatisierten Projektierung und die Integralsysteme der automatisierten Herstellung aktuelle Bedeutung gewann.

## **6 Das konzeptionelle Modell der integrierten Systeme von automatisierter Projektierung und Fertigung von Leiterplatten (CAD/CAM)**

Die Aufgabe der Synthese von Projektierung und Fertigung einer Platine ist keine triviale Aufgabe.

Die Bildungsgrundlagen integrierter Projektierungs- und Herstellungssysteme sind folgende: Bildung der einheitlichen Informationsbasis, Ausarbeitung von Methoden der automatisierten, strukturellen Synthese, die Adaptation dem Wechsel der Herstellungstechnologie und Projektierungsmethoden gegenüber, die gemeinsame Organisation der Lenkung von Prozessen der Projektierung und Fertigung, Ausarbeitung der Theorie der Projektierung von integrierten Systemen und der Ergebnisse der Publikationsanalyse.

Auch die geringe Anzahl an Publikationen aus diesem Forschungsbereich weisen auf den unzureichenden Stand der Entwicklung der Theorie sowie der integrierten Systeme hin.

In den modernen Systemen der automatisierten Projektierung sind die Vorgänge der Projektierung und Fertigung getrennt – die Platine wird zunächst voll projektiert, danach erfolgt die Herstellung.

Im Unterschied zu diesen Systemen sind die Vorgänge im Projektierungs- und Fertigungssystem nach dem angebotenen konzeptionellen Modell ineinander integriert. Das bedeutet, dass die Projektierung im realen Maßstab fortläuft, der durch die Fertigungsvorgänge bestimmt ist. Die einzelnen Etappen der Projektierung müssen in diesem Fall durch Dialog mit den Fertigungsvorgängen so umgestaltet werden, dass die realen Eigenschaften dieser Arbeitsgänge und Vorgänge operativ die Vorgänge der Projektierung korrigieren könnten.

In solch einem Fall wird das System der automatisierten Projektierung nach dem Produktionsabschnitt in die Bereiche, die aufgrund der Kommunikation mit dem Projektierungsprozess in Verbindung stehen müssen, geteilt. Sie bilden die Kennzeichnung der Betriebsanlagen. Sie wandeln die zu produzierenden Leiterplatten in Informationssignale um, die ihrerseits den Projektierensvorgang korrigieren.

Solch ein Komplexansatz garantiert unter sämtlichen Möglichkeiten aller möglichen äußeren Faktoren die Funktionsgewährleistung der Platinen.

## **7 Zusammenfassung**

Aufgrund der durchgeführten Analyse können intelligente Systeme automatischer Projektierung: das intelligente „Systemdenken“ des Systems sowie das intellektuelle Denken des Fachmanns eine produktive Symbiose bilden.

Dies bewirkt eine beachtliche Verbesserung der Qualität im Bereich der Projektierung sowie eine raschere und effiziente Herstellung.

Die Integrierten Systeme der Projektierung und Herstellung werden unter den Bedingungen der Wechselwirkung von Prozessen dieser Bereiche im gemeinsamen Zyklus durchgeführt, was eine Steigerung der Effektivität, Qualität und Sicherheit garantiert.

## **8 Literatur**

- /1/ W.N. Ilin : „Der Gebrauch des künstlichen Intellekts im System der automatisierten Projektierung“, Moskau, „Radio und Verbindung“, 1997;
- /2/ D.A. Wepchwadse : „Das konzeptionelle Modell der Bildung von Systemen der perspektivischen automatisierten Projektierung von Druckboards“, Tbilissi, „Wissenschaft und Technologien“, № 7-9, 2001, S. 15-17;
- /3/ D.A. Wepchwadse : „Der Systemansatz von Druckboards zur automatisierten Projektierung hinsichtlich des Betriebes“, Tbilissi, „Wissenschaft und Technologien“, № 10-12, 2001, S. 56- 59.

## Der Einfluss konstruktiver Aspekte sowie Betriebscharakteristika auf die Lärmintensität eines Hubschraubers

Betaneli, A.J.; Apchaidse A.A.; Tawadse, N.G.

*Die vorliegende Abhandlung stellt die Arbeit des Institutes für Flugwesen der Georgischen Technischen Universität dar, deren Zielsetzung darin bestand, den Einfluss konstruktiver Aspekte sowie bestimmter Betriebscharakteristika auf die Lärmemission von Hubschraubern zu erforschen.*

*Die primären Lärmquellen wurden festgestellt sowie deren Eingehen in die Gesamtintensität des Lärms eingestuft.*

*Der Einfluss bestimmter Betriebszustände auf die Lärmemission eines Hubschraubers wurde ergründet, eine Spektralanalyse der emittierten Signale für verschiedene Flugzustände durchgeführt (siehe **Tab. 1**, Literaturverweis /3/).*

*The submitted paper represents the work of the institute of Aviation of the Georgian Technical University, whose objective it was, to classify the influence of constructional aspects as well as certain operating characteristics on the noise emission of helicopters.*

*The primary sources of noise were determined as well as their entering total intensity of the noise was classified.*

*The influence of certain operating conditions on the noise emission of a helicopter was fathomed, a spectrographic analysis of the emitted signals for different flight conditions was accomplished (see **Tab. 1**, Bibliography /3/).*

### 1 Einleitung

Maschinenakustische Produkthanforderungen gewinnen aufgrund verschärfter gesetzlicher Bestimmungen sowie steigender Marktanforderungen immer mehr an Bedeutung. Die maschinenakustischen Eigenschaften eines Produktes werden weitestgehend in der Konstruktion festgelegt.

Die Aero-Akustik, auf dessen Gebiet Forschungsarbeiten vom Institut für Flugwesen der Georgischen Technischen Universität Tbilissi durchgeführt wurden, ist ein Teil der Maschinenakustik.

Der unangenehme Einfluss des Aero-Lärms auf den Menschen, den er in der Kabine eines Flugkörpers (nahes Lärmfeld) oder auf angrenzendem Gelände eines Flugplatzes (fernes Lärmfeld) er-

fährt, ist sowohl von der konstruktiven Charakteristik als auch vom Flugzustand abhängig. Der von modernen Flugzeugen erzeugte Lärm ist ein Zusammenspiel der Strömungsgünstigkeit der Flugzelle sowie des Lärms von Haupt- und Hilfsanlagen. Darunter ist der Lärm von Treibwerken, sowohl auf der Erde als auch beim Flugvorgang wichtiger.

Allerdings ist das aerodynamische Lärmniveau auf den einzelnen Etappen des Fluges, z. Bsp. auf der Voretappe zur Landung eines Schwergewichtsflugzeuges, welches mit Turbinen-Luftstrahltriebwerken ausgestattet ist, die dann im niedrigeren Leistungsbereich arbeiten, höchst wichtig.

Vom aero-akustischen Standpunkt her ist es daher von Bedeutung, die Ursachen des Lärms beispielsweise eines Hubschraubers sowie die Eigenarten der Fortpflanzung des Lärms zu ergründen. Beides ist verknüpft mit der Akustik seiner Hubschraube, den Charakteristiken des Motors sowie den Betriebszuständen des Hubschraubers.

Der vorliegende Beitrag stellt die Arbeit des Institutes für Flugwesen der Georgischen Technischen Universität und deren Hauptergebnisse auf diesem Forschungsgebiet dar.

### 2 Lärm erzeugende Hauptquellen

Aus Forschungen ergab sich, dass der vom Motor, der Transmission sowie vom Getriebe erzeugte Lärm bei Verwendung eines Turbinen-Luftstrahltriebwerkes für das ferne Lärmfeld nicht von entscheidender Bedeutung sind, da die von ihm erzeugten, hochfrequenten mechanischen Schwingungen rasch in der Atmosphäre verschwinden. Im nahen Lärmfeld erfolgt es umgekehrt; diese Schallquellen stellen die Lösung des Problems dar.

Die Steigerung der Motorleistung des Hubschraubers, des Rotorantriebes und der Umdrehungsgeschwindigkeit der Hubschraube ruft die bedeutende Steigerung der Lärmintensität und die scharfe Änderung ihrer Charakteristik hervor, was mit einer vermehrten Strömungsablösung auf den Schraubenblättern verbunden ist. Es ist auch bemerkens-



wert, dass sich die Spektralcharakteristiken des Lärms von Hub- und Steuerluftschrauben voneinander stark unterscheiden. Dies ist auf die stark unterschiedliche Umdrehungsfrequenz und das unterschiedliche Abmaß zurückzuführen. Die vergleichsweise niedrige Geschwindigkeit der Hubschraube, der große Durchmesser sowie die komplizierte räumliche Bewegung der Rotorblätter in den Strömungsverhältnissen sowie die geringe Strömungsgünstigkeit bedingen die Rückverschiebung des Lärmspektrums der Schraube im Diapason der niedrigen Frequenz und rufen die Modulation von Schallschwingungen hervor.

Die aerodynamischen Eigenarten der Schrauben eines Hubschraubers und die von ihnen ausgehenden akustischen Quellen haben komplexeren Charakter als die eines Flugzeuges. Ein Aspekt besteht darin, dass die Achse der Hubschraube des Hubschraubers fast senkrecht zum Flugvektor gerichtet

sich je nach Art des Wechsels der aerodynamischen Kraft in die ununterbrochenen und impulsiven Ausstrahlungen teilen; nach dem Spektrum der Ausstrahlungen: in den harmonischen und breiten Diapason.

Oft wird die Ausstrahlung des harmonischen Spektrums als Lärm der Umdrehung sowie die Ausstrahlung mit breitem Diapason als stürmischer Lärm bezeichnet.

Im Unterschied zu den Turboschraubflugzeugen gewinnt bei der Behandlung des Lärmfeldes der Sinn dieses Fachausdruckes an Klarheit. In diesem Fall sind die Bestandteile, die den harmonischen und breiten Diapason des Lärms aufweisen, entsprechend eine Superposition verschiedener Bestandteile von impulsiven und ununterbrochenen Ausstrahlungen. Die erste Tafel stellt die Hauptquellen des Lärms der Schraube eines Hubschraubers sowie deren Charakteristik dar. (siehe **Tab. 1**)

Art des Lärms	Quelle des Lärms	Maximum der Richtung der Ausstrahlung	Spektrum der Schallausstrahlung
Lärm der ununterbrochenen Umdrehung	Zugkraft	$\varphi_M = 20 \div 60^\circ$ $\beta_M = 0$ (Dipol)	mit dem diskreten + breiten Diapason $f_M = 1/T$
Der impulsive Lärm der Umdrehung – das Zusammenwirken des Schraubenblattes und des Wirbels  – Kompressionsfähigkeit der Luft	Zugkraft von Blättern	$\varphi_M = 30^\circ$ $\beta_M = 20 \div 30^\circ$ (Dipol)	mit dem diskreten + breiten Diapason $f_M = 1/\tau$
	Widerstandskraft	$\varphi_M = 0$ $\beta_M = 0$ (Dipol)	mit dem diskreten + breiten Diapason $f_M = 1/\tau$
Auspufflärm (ununterbrochen) der Umgegend (der Luft)	Abgasstoß	gleichmäßig im Raum (Monopol)	mit dem diskreten + breiten Diapason $f_M = 1/\tau$
Zusammenwirkung (ununterbrochen)	Tensor der Spannungen	gleichmäßig im Raum (Dipol)	mit dem diskreten + breiten Diapason $f_M = 1/T$

Anmerkung: T – Periode der Folge von Blättern der Schraube;  $\tau$  - Dauer des Druckimpulses;  $\varphi_M$  – Charakteristischer Winkel der Ungleichmäßigkeit der Ausstrahlung in der vertikalen Ebene des Hubschraubers;  $\beta_M$  – Analoge Winkel in der horizontalen Ebene.

**Tab. 1:** Hauptquellen des Lärms der Schraube eines Hubschraubers

ist und nicht ihm parallel, wie es im Fall der Flugzeugschraube ist. Die zweite Eigenart besteht darin, dass die Interferenz der Turbulenzfährte der Hubschraube in Erscheinung tritt, die von der Kabine des genug großen Ausmaßes, welche nicht weit entfernt liegt, bedingt wird.

Hubschrauber mit zwei kleinen Hubschrauben haben weiterhin die Eigenart, dass beide Schrauben miteinander durch die aufgenommenen Strömungen in Wechselwirkung stehen.

Die Ausstrahlung, die aufgrund der Wechselwirkung zu dem nicht stationären Umkreis der Hubschrauben des Hubschraubers entstanden ist, kann

### 3 Der Einfluss des Betriebszustandes auf die Lärmintensität des Hubschraubers

Unter Berücksichtigung der Eigenarten der Lärmerzeugung sowie Lärmfortpflanzung im Umkreis kann man den Schluss ziehen, dass die Charakteristiken der akustischen Ausstrahlung vom konkreten Betriebszustand (Kreuzflug, Landeanflug, „Hängenbleiben“ auf niedriger Höhe, Landung sowie Start), als auch von der Lage des Schalldruckempfängers im nahen oder fernen Lärmfeld des Hubschraubers bedeutend abhängig sind.

Der maximale Betrag des Gesamtlärmes, der beim Kreuzflug in verschiedenen Höhen vom Hubschrauber zum Beobachter (der sich auf der Erde aufhält) erreicht wird, wird gerade über seinem Kopf gemessen. Die Dauer des anregenden Signals ist im Fall des Hubschraubers höher, als die Dauer des analogen Signals, das beim Überflug des Strahlflugzeuges gemessen wird. Dies ist durch die geringere Fortbewegungsgeschwindigkeit des Hubschraubers zu erklären.

Die Erforschung der Eigenarten des von der Schraube des Hubschraubers erzeugten Lärmes beruht auf der Strömungsgünstigkeit, die die Achsenrichtung der Schraube hat, was im Fall von Flugzeugen, welche durch einen Kolbenmotor angetrieben werden, in Erscheinung tritt. Für sie kann die Schätzung des Gesamtniveaus des Schalldruckes im Hauptbereich der Ausstrahlung (50-500 Hz), bei den Flügen in niedrigen Höhen (z. Bsp. 30-350m), durch die empirischen Formeln ausgedrückt werden:

$$L = 16 \log N_{\text{Schr}} - 20 \log d_{\text{Schr}} - 3(n-2) + 38 V_R / a_0$$

$N_{\text{Schr}}$  – aufgebrachte Leistung an der Schraube

$d_{\text{Schr}}$  – der Durchmesser der Schraube

$n$  – die Anzahl der Blätter

$$V_R = d_{\text{Schr}} \pi n_R$$

$n_R$  – Umdrehungszahl der Schraube.

Die Verwendung eines solchen Modells ist für die Hub- und Steuerschrauben möglich, jedoch nur im Zustand des Fluges mit geringer Geschwindigkeit. Im horizontalen Flugzustand, für den Fall, dass die Kreuzgeschwindigkeit  $V_c \geq 70 \text{ m/sek}$  und die Kreisgeschwindigkeit der Blattenden der Schraube  $V_R \geq 210 \text{ m/sek}$ , treten bedeutende Ungleichmäßigkeiten des Angriffswinkels der Blätter und der Luftströmungsgünstigkeit auf den hinteren und vorderen Seiten der Ebene der Rotorumdrehung in Erscheinung.

Beim Umdrehungsvorgang bewegt sich das einzelne Blatt in ständigen Wechselzuständen, die durch die Neigung der Rotorebene zur Richtung der Verschiebung des Hubschraubers erzeugt werden. In Zusammenhang mit der Zunahme der  $V_c$ - oder  $V_R$ -Geschwindigkeit steigt die Geschwindigkeit der Blattenden, und sie kann auf der vorderen Seite der Rotorscheibe Schallgeschwindigkeit erreichen.

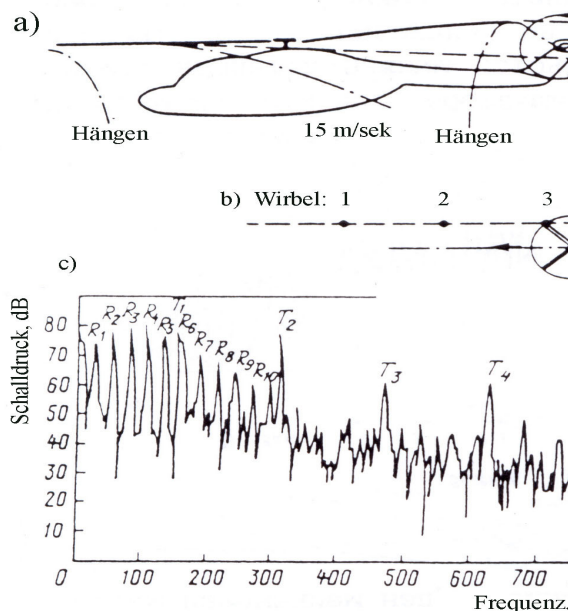
Es ist angemessen, für Blattenden dieser Geschwindigkeiten, Blätter zu verwenden, die ein trans-schallgeeignetes, dünnes Profil haben, zu verwenden. Auf der hinteren Seite der Scheibe können sich bei niedrigen Kreuzgeschwindigkeiten die Angriffswinkel von Blättern solchen kritischen Bedeutungen nähern, für die das Abreißen des Stroms in Erscheinung tritt. In solchen Fällen werden die Ungleichmäßigkeiten des Stroms und die Turbulenzwirbel auf der hinteren Seite der Schraube erzeugt.

Bei der Bestimmung des Gesamtlärmes des Hubschraubers muss deshalb auch die Existenz solcher Bestandteile berücksichtigt werden. Wie z.B. die akustischen Signale, die mit der nicht stationären Belastung der Schraube, mit der Dicke der Blätter und mit der impulsiven Ausstrahlung verbunden sind.

Die Geschwindigkeiten der Rotorumdrehung und die des horizontalen Flugs des Hubschraubers sind die Hauptfaktoren, die den akustischen Druck auf die Schraube der gegebenen geometrischen Form bestimmen.

Der impulsive Lärm, der von Blättern der Schraube erzeugt wird, hängt von seiner Orientierung zum Vektor der Bewegung und von der Verschiebungsrichtung beim Treffen im Wirbelfeld ab. Die Schallwellen, die von der Stoßwelle erzeugt werden und die für die Schraube kennzeichnend sind, sowie die bei der Landung und Manövern erzeugten Schallwellen werden als die spezifischen Kennzeichen des Lärms, den der Hubschrauber ausstrahlt, behandelt. Jede Turbulenz, die von Schraubenblättern verursacht wurde, wird durch vier Blätter der Steuerschraube überkreuzt (siehe **Bild 1 a,b**). Die betragsmäßig größten Zusammenwirkungen treten dann in Erscheinung, wenn die Ebene der Blattumdrehung zu der Richtung der Fortpflanzung von Wirbeln  $90^\circ$  beträgt. Dies ruft das Entstehen von Gruppen von Impulsen hervor, die sich in den gleichen Intervallen wiederholen. Die Periode ihrer Wiederholung wird vom Zeitabschnitt bestimmt, in dem in der Ebene der Umdrehung von Blättern der nächste Wirbel getroffen wird. Der Gesamtlärm des Hubschraubers enthält in diesem Fall die vordergründigen Harmoniken, die von der Steuerschraube erzeugt werden, siehe **Bild 1 c**.

**Bild 1 a** zeigt die Trajektorien von Wirbeln, die von den Hubschrauberblättern erzeugt werden, im Zustand des horizontalen Flugs und des „Hängenbleibens“.



**Bild 1 (a,b,c):** Lärm, resultierend aus der Zusammenwirkung von Hub- und Steuerschrauben eines Hub-

**Bild 1 b** stellt die Kreuzpunkte der Trajektorien von Hub- und Steuerschraubenblättern dar.

**Bild 1 c** zeigt das Spektrum mit engem Bereich der Ausstrahlung im Zustand der Landung des Hubschraubers in einer Entfernung von 5 Kilometer (die Geschwindigkeit des Steuerschraubenblattes beträgt 77 km/sec); Das Intervall zwischen den zentralen Frequenzen- 1,6Hz; Effektive Breite- 5,5Hz; R: – die Maximalbeträge des Lärms der Hubschraube; Ti- die Maximalbeträge des Lärms der Steuerschraube.

Der an den Blattenden der Hubschraube, die sich in Trans-Schall- und Überschallbereichen befindet, anliegende verdichtende Strom ist eine bedeutende Quelle der Schallausstrahlung sogar im Zustand des Hängenbleibens des Hubschraubers, wenn auf die Blätter die stationäre und symmetrische Belastung wirkt. Sogar der an den Blattenden gebildete Verdichtungssprung, der für bestimmte Machzahlen in Erscheinung tritt und durch die geometrische Form des Blattendes bestimmt wird, beeinflusst außerdem bedeutend den Lärm im fernen Lärmfeld.

Im Zustand des horizontalen Flugs mit genug hohen Geschwindigkeiten (die Geschwindigkeit der Blattenden nähert sich dann der Schallgeschwindigkeit (Machzahl  $M > 0,8$ ), tritt die intensive Ausstrahlung des Lärms auf die Weise des schneidenden scharfen Geprassels in Erscheinung. Der zu dieser Zeit erzeugte impulsive Lärm wird durch die spitze Amplitude charakterisiert und die akustische Energie pflanzt sich vor allem in der Umdrehungs-

bene des Rotors fort, der Flugrichtung des Hubschraubers entlang.

Es ist bemerkenswert, wie sich aus den Forschungen ergab, dass das hohe Niveau des Gesamtlärms der Schraube des Hubschraubers das ornithologische Problem ausschließt, was im Fall von Flugzeugen in Erscheinung treten kann.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der von uns errungenen Forschungsergebnisse kann man folgende Schlüsse ziehen:

Die Lärmspektralcharakteristiken des Hubschraubers sind hauptsächlich den entsprechenden Charakteristiken von Luftschrauben gleichartig. Der Hauptunterschied zwischen den Arten des Lärms, den Flugzeuge mit Kolbenflugmotoren und mit Hubschraube erzeugen, besteht darin, dass der Lärm des Hubschraubers häufig den impulsiven Charakter hat und dieser macht es schwer, die Eigentümlichkeiten der Generationsbedingungen der Spektralcharakteristiken und die Fortpflanzung zu erforschen, wie das auf **Bild 1 c** dargestellte Beispiel über die Spektralanalyse des Lärms des Hubschraubers für die Frequenzen des engen Bereichs bestätigt.

Im Lärmspektrum tritt ein Ruck von Frequenzen von diskreten Bestandteilen mit der Wirkung von Doppler und dem Wechsel von Charakteristiken  $\varphi_M$  und  $\beta_M$  sowie der Richtung des Schallsignals in Erscheinung. Dies ergibt sich aus dem Phänomen: „der Hubschrauber nähert sich dem Beobachter oder entfernt sich von ihm beim Vorgang des Flugs“. Die Durchschnittsfrequenz der Folge von Blättern für die Hubschraube des Hubschraubers ist  $R \approx 20\text{Hz}$ , aber für die Steuerschraube  $T \approx 100\text{Hz}$ .

Im Allgemeinen hängen diese Frequenzen von der Geschwindigkeit der Umdrehung der Schraube und von der Anzahl an Blättern ab. Das Lärmspektrum des Hubschraubers enthält außer dem Hauptton die Harmoniken, die für die Hub- und Steuerschrauben kennzeichnend sind. Auf die generations- und tonhaltenden Bestandteile üben die aerodynamischen Bedingungen einen Einfluss aus. Der Lärm des impulsiven Charakters kann auch in den Verhältnissen des Flugs bei durchschnittlichen Geschwindigkeiten erzeugt werden, was die konvektive Wechselwirkung der Strömung, die vom

Endteil eines Blattes abgerissen ist, an der turbulenten Strömung, die durch die Bewegung des anderen Blattes erzeugt wird, bedingt.

Das akustische Spektrum des Hubschraubers enthält sowohl die diskreten Bestandteile, als auch die Bestandteile, die einen breiten Bereich zeigen. Das diskrete Spektrum entspricht den entsprechenden Harmoniken der Frequenzen der Folge von Blättern von Hub- und Steuerschrauben. Aber das Spektrum, was durch den breiten Bereich charakterisiert wurde, umfasst praktisch den ganzen Diapason der Hörbarkeit. Die ferne akustische Zone des Hubschraubers ist dem Flugvektor gegenüber nicht symmetrisch. Dies wird vor allem bei Vor- und Rückwärtsbewegungen durch die verschiedenen Bedingungen der Erzeugung von Schallwellen im Umkreis bedingt. Die höheren Niveaus des Schalldrucks im Lärmspektrum des Hubschraubers sind im Diapason der niedrigen Frequenz (weniger als 300 Hz) spürbar, aber die höhere Lärmintensität des Hubschraubers in diesem Bereich wird im Diapason der durchschnittlichen und hohen Frequenz wiedergefunden, die dem Maximum von diskreten Bestandteilen des impulsiven Lärms entsprechen.

Der scharfe, spitze Zuwachs des Auftriebs, die turbulenten Ströme und Strömungsstöße auf den Enden von Drehblättern rufen beim Start des Hubschraubers beim Manöver- oder Kreuzflug auch die Bildung von diskreten und impulsiven Signalen Lärm hervor. Dieser muss dem Mechanismus, der den zusätzlichen Lärm erzeugt und der mit der Wechselwirkung der Zelle und der Hubschraube verbunden ist, hinzugefügt werden.

Es folgt also daraus, dass die akustischen Charakteristika des von verschiedenen Hubschraubern erzeugten Lärms, sich voneinander bedeutend unterscheiden. Hiermit zeichnet sich der Lärm durch das hohe Niveau im Diapason der niedrigen Frequenz aus, der sich auf fernen Strecken fortpflanzen kann.

## 5 Literatur

- /1/ Dietz, P.; Gummersbach, F.: Lärmarm Konstruieren XVIII: Systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele, Dortmund/Berlin, 2000
- /2/ Tepnadse, S.A.; Betaneli, A.J.: Apchaidse A.A., Die Analyse der Gesetzmäßigkeiten der aerodynamischen Lärmerzeugung von Flugzeugen, IMW- Institutsmitteilung Nr. 28 (2003), TU Clausthal, S.123-126
- /3/ Saginadze, N.R. ;Betaneli, A.J.: On the Possibility of Improving the Birdproofness of Aircrafts, Georgian Engineering News, 2000, №1, pp. 76-81

## **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 ca. 15 wissenschaftlichen Mitarbeitern/-innen aus den Bereichen Maschinenbau, Technomathematik und Geophysik. Weitere 11 Mitarbeiter/-innen und 8 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 Telemetrieinrichtung 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 Werkstatteinfrastuktur 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 4 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 sowie einem schallarmen Raum zur Erfassung und Auswertung des von Maschinenstrukturen abgestrahlten Schalldruck- und Schalleistungspegels ausgestattet. Neben Schmalbandanalysen mittels eines FFT-Analysators bietet ein verfügbarer Bandpassfilter die Möglichkeit der Terz- und Oktavanalyse. Mittels eines Handschallpegelmessers können auch schnelle Vorortmessungen durchgeführt 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 Rechnerausstattung umfasst mehrere Server, welche die insgesamt ca. 130 Rechner des Institutes vernetzen. Diese umfassen u.a. verschiedene Internetserver (WWW/FTP), einen Windows Domänencontroller, einen Server für Datenbankdienste 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 und CATIA V5 sowie die FEM-Programme MARC/MSC.PATRAN, ANSYS 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 1.1.2000

### Veröffentlichungen 2000

Schäfer, G.; Birkholz, H.; Garzke, M.: Numerische und experimentelle Untersuchungen zum Festigkeitsverhalten von Membrankupplungen. AiF-Abschlussbericht, Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal, April 2000

Henschel, J.: Dimensionierung von Windentrommeln. Dissertation, TU Clausthal 1999.

Schäfer, G.; Dietz, P.: Strategies for the Design of Process Engineering Machines under special mechanical, thermal and chemical Conditions. 6th International Design Conference DESIGN 2000, 23.-26.5.2000, Cavtat/Dubrovnik, Kroatien.

Dietz, P.; Haje, D.: Development of low noise Products – Computer guidance for the Designer. 6th International Design Conference DESIGN 2000, 23.-26.5.2000, Cavtat/Dubrovnik, Kroatien.

Birkholz, H.; Dietz, P.; Dehner, E.; Garzke, M.: TWINTORS-Diaphragm couplings for turbo machines. 6th International Design Conference DESIGN 2000, 23.-26.5.2000, Cavtat/Dubrovnik, Kroatien.

Garzke, M.; Dietz, P.: Torque transmission capability of internal high pressure assembled press fits. 6th International Design Conference DESIGN 2000, 23.-26.5.2000, Cavtat/Dubrovnik, Kroatien.

Otto, S.; Dietz, P.; Garzke, M.: Development of calculation basis for dimensioning axial pin connections with clearance. 6th International Design Conference DESIGN 2000, 23.-26.5.2000, Cavtat/Dubrovnik, Kroatien.

Ort, A.: Entwicklungsbegleitende Kalkulation mit Teilebibliotheken. Dissertation, TU Clausthal 1998.

Dietz, P.; Garzke, M.; Schellbach, J.: FEM-Analyse innenhochdruckgefügter Welle-Nabe-Verbindungen. 1. MSC-Technologie-Konferenz, 5./6.6.2000, Bad Kissingen.

Rouibah, K.; Schmitt, R.; Caskey, K.; Goltz, M.: The SIMNET Parameter Based Approach Eases Inter-Company Engineering Change Management. International Conference on Concurrent Engineering – ICE 2000, 28.-30.6.2000, Toulouse.

Heimannsfeld, K.; Johnson, J.; Herzog, E.; Düsing, C.: Beyond Tool Exchange – Current Status and Future Implications of the Emerging ISO Standard

AP233. 2<sup>nd</sup> European Conference on Systems Engineering (EuSEC 2000), Sept.2000, München.

Goltz, M.; Schmitt, R.: Product Data Controlled Workflow in the Supply Chain. ProSTEP Science Days 2000.

Goltz, M.; Schmitt, R.; Vanden Bossche, M.: Managing the Development and Engineering Changes of Complex Products in a Distributed Engineering Environment. eBusiness and eWork 2000. 18.-20.10.2000, Madrid.

Dietz, P.; Tan, L.; Schäfer, G.; Garzke, M.: Elastisch-plastische Auslegung geschwächter Pressverbindungen. Seminar „Welle-Nabe-Verbindung: Preßverbindungen für höchste dynamische Belastungen“, VDI Bildungswerk, 24./25.10.2000, Chemnitz

Schmitt, R.: Unternehmensübergreifender Engineering Workflow - Verteilte Produktentwicklung auf der Grundlage eines parameterbasierten Daten- und Prozeßmanagements. Dissertation, TU Clausthal 2000

### Veröffentlichungen 2001

Düsing, C.: The emerging ISO Standard STEP AP-233 - A key enabler for systems engineering across different domains. International Symposium on Systems Integration; Baden Baden; 2001

Düsing, C.: Neue Möglichkeiten der Produktentwicklung mit STEP - AP-233 3. Workshop Konstruktionstechnik; Rostock; 2001

Müller, N.; Trenke, D.: Rapid Prototyping und Rapid Tooling am Institut für Maschinenwesen, Begleitband zur Informationsveranstaltung, IMW, 02.02.2001, Clausthal-Zellerfeld

Trenke, D.: Die Rapid Tooling Verfahrenskette, Vortrag, 8. Fachausschuss der Deutschen Keramischen Gesellschaft, CUTEC, 10. Mai 2001, Clausthal-Zellerfeld

Trenke, D.: Anwendung von Rapid Prototyping und Rapid Tooling in der Produktentwicklung, Informationstechnologie - Grundlagen und Anwendungen, Tag der Forschung 2001, TU Clausthal, 25. Mai 2001, Clausthal-Zellerfeld

Mupende, I.: Beanspruchungs- und Verformungsverhalten des Systems Trommelmantel - Bordscheiben bei mehrlagig bewickelten Seiltrommeln

- unter elastischem und teilplastischem Werkstoffverhalten. Dissertation, TU Clausthal, Cuvillier Verlag Göttingen, 2001
- Dietz, P.; Mupende, I.; Otto, S.: Der Einfluss des Rillungssystems auf die Bordscheibenbelastung Zeitschrift Fördern und Heben März 2001
- Otto, S.: Bauelement zur Bewegungsumwandlung in Verbrennungsmotoren Kurbelschleife TU Contact Juni 2001
- Wächter, M.: BLK-Projekt: Länderübergreifende Entwicklung und Erprobung integrierter modularer Studienangebote unter Einbeziehung informations- und kommunikationstechnischer Medien am Beispiel der Ingenieurwissenschaften, Abschlussbericht AP4 Internationalisierung, 2001
- Dietz, P.; Tawil, M.: 3D-Produktmodellierung in der Entwicklungskette - Aufwand und Nutzen. VDI-Tagung "Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung 2001 - Effiziente 3D-Produktmodellierung - Fortschritte und Fallstricke", 19.-20. Juni 2001, Stuttgart - anlässlich CAT Engineering 2001
- Heider, G.: Konstruktive Gestaltung von Steuerungen für Hochleistungskolbendampfmaschinen. Dissertation TU Clausthal 2001
- Große, A.: Interdisziplinäre Werkstoffauswahl durch Aufbau eines Material Data Mart. Dissertation TU Clausthal 2001
- Garzke, M.: Auslegung innenhochdruckgefügter Pressverbindungen unter Drehmomentbelastung. Dissertation, TU Clausthal, VDI Verlag 2001
- Schäfer, G.: Betriebs- und Verschleißverhalten von Zahnwellen-Verbindungen. Seminar „Zahnwellenverbindungen und Pressverbindungen“, VDI Bildungswerk, 27./28.03.2001, Chemnitz
- Schäfer, G.: Berichte aus der Praxis zur Fertigung von Zahnwellenverbindungen. Seminar „Zahnwellenverbindungen und Pressverbindungen“, VDI Bildungswerk, 27./28.03.2001, Chemnitz
- Birkholz, H.: Die Auswahl der geeigneten Welle-Nabe-Verbindung - Längsstift-Verbindungen als Alternative? Seminar „Zahnwellenverbindungen und Pressverbindungen“, VDI Bildungswerk, 27./28.03.2001, Chemnitz
- Dietz, P.; Garzke, M.: Numerische und experimentelle Untersuchungen an innenhochdruckgefügten Pressverbindungen unter Drehmomentbelastung, 3. Workshop Konstruktionstechnik, 20./21.09.2001 Rostock-Warnemünde
- Schäfer, G.: Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellenverbindungen, 3. Workshop Konstruktionstechnik, 20./21.09.2001 Rostock-Warnemünde
- Düsing, C.: Neue Möglichkeiten der Produktentwicklung mit STEP - AP-233, 3. Workshop Konstruktionstechnik, 20./21.09.2001 Rostock-Warnemünde
- Dietz, P.; Grünendick, T.: Bauteilkonstruktion mit kombinierten Werkstoffen - Möglichkeiten und Grenzen am Beispiel verfahrenstechnischer Maschinen, 3. Workshop Konstruktionstechnik, 20./21.09.2001 Rostock-Warnemünde
- Schäfer, G.: Elastisch-plastische Auslegung geschwächter Preßverbindungen, Seminar „Preßverbindungen für höchste dynamische Belastungen“, VDI Bildungswerk, 23./24.10.2001, Chemnitz
- Schäfer, G.; Grünendick, T.: Preßverbindungen durch Innenhochdruckfügen, Seminar „Preßverbindungen für höchste dynamische Belastungen“, VDI Bildungswerk, 23./24.10.2001, Chemnitz
- Gummersbach, F.: Lärmarm konstruieren XIX. Schalltechnische Informationen unter konstruktiven Gesichtspunkten, Dissertation, TU Clausthal, Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven, 2001
- Beisheim, N.: Entwicklung eines wissensbasierten Informationssystems zur Durchführung präventiver Sicherheitsanalysen am Beispiel der Konstruktion verfahrenstechnischer Anlagen und Maschinen, Dissertation, TU Clausthal, VDI Verlag 2001
- Heimannsfeld, K.: Modellbasierte Anforderungen in der Produkt- und Systementwicklung, Dissertation, TU Clausthal, Shaker Verlag Aachen 2001
- Dietz, P.; Grünendick, T.: Bauteilkonstruktion mit kombinierten Werkstoffen - Möglichkeiten und Grenzen am Beispiel verfahrenstechnischer Maschinen. Konferenz-Einzelbericht, Tagung, Würzburg, 18.-19. Okt. 2001, VDI-Berichte, Band 1595 (2001) Seite 121-148 (28 Seiten, 21 Bilder, 15 Quellen), VDI-Verlag, Düsseldorf
- Dietz, P.; Wächter, M.: BLK-Projekt - Länderübergreifende Entwicklung und Erprobung integrierter modularer Studienangebote unter Einbeziehung informations- und kommunikationstechnischer Medien am Beispiel der Ingenieurwissenschaften, Abschlußbericht AP4 Internationalisierung, 2001
- Dietz, P.; Gummersbach, F.: Systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele. Bremerhaven : Wirtschaftsverl. NW, Verl. f. Neue Wiss., 2001



## 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. 8<sup>th</sup> 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, 9<sup>th</sup> 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 !?, Mai 2004

Dietz, P.: Design criteria for multilayer wound winch drums following lightweight design principles. 8<sup>th</sup> 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

## Autoren

*Backhaus, Stefan:* Jahrgang 1975, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.6.2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. backhaus@imw.tu-clausthal.de

*Betaneli, Archil:* Jahrgang 1925, Professur für Flugzeugbau an der Georgischen technischen Universität Tblissi (Georgien), im Rahmen der Kooperation mehrfacher Gast am IMW.

*Birkholz, Hagen:* Jahrgang 1967, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, von 1.9.1997 bis 31.12.2003 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. Promotion im Juni 2004 über die Auslegung von Längsstiftverbindungen mit mehreren Mitnehmerelementen unter Drehmomentbelastung hagen.birkholz@reintjes-gears.de

*Boryczko, Alexander:* Jahrgang 1959, studierte Maschinenbau an der TH Gleiwitz, seit 1992 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der FH Hannover, Promotion 2003 am IMW. alexander.boryczko@mbau.fh-hannover.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

*Düsing, Carsten:* Jahrgang 1972, studierte Geophysik an der TU Clausthal, seit 1.2.1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. Promotion im Dezember 2004 über Produktwissensmanagement in erweiterten Unternehmen. duesing@imw.tu-clausthal.de

*Dzik, S.:* Jahrgang 1946, Lehrstuhl für Festigkeitslehre und Konstruktion der Bergakademie Krakau.

*Grünendick, Torsten:* Jahrgang 1967, studierte Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität der Bundeswehr München, von 1993 bis 1996 Fachgruppenleiter bei einem Luftfahrzeug-Triebwerks-Instandsetzer in Erding, ab 1996 dort Leiter der Qualitätssicherung, seit 1.8.1997 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. Promotion im Juli 2004 über die Berechnung innenhochdruckgefügter

Pressverbindungen.

gruenen@imw.tu-clausthal.de

*Guthmann, Anke:* Jahrgang 1976, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.5.2004 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW. guthmann@imw.tu-clausthal.de

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

*Müller, Dirk:* Jahrgang 1969, studierte Technomathematik an der TU Clausthal, seit 1.1.2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. dmuller@imw.tu-clausthal.de

*Müller, Norbert:* Jahrgang 1949, studierte allgemeinen Maschinenbau an der FH Frankfurt und TH Darmstadt, Leiter Zentralaufgaben Konstruktion der Pittler AG, wiss. 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

*Mupende, Ilaka:* Jahrgang 1964, studierte allgemeinen Maschinenbau an der Universität von Kinshasa, Demokratische Republik Kongo, Gastwissenschaftler am IMW von Oktober 1996 bis Oktober 2000, seit November 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW, Promotion im Januar 2001 über das Beanspruchungs- und Verformungsverhalten des Systems Seiltrommel unter elastischem und teilplastischem Werkstoffverhalten. mupende@imw.tu-clausthal.de

*Nsenga Biansompa, Elie:* Jahrgang 1967, studierte allgemeinen Maschinenbau an der Universität von Kinshasa, Demokratische Republik Kongo, seit 1.4.2001 Gastwissenschaftler am IMW. nsenga@imw.tu-clausthal.de

*Qingsong, Hua:* Jahrgang 1975, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Liaoning, VR China, seit 1.4.01 Gastwissenschaftler am IMW. mwqh@imw.tu-clausthal.de

*Ring, Christopher:* Jahrgang 1973, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.5.2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW. ring@imw.tu-clausthal.de

*Rolshofen, Wolfgang:* Jahrgang 1975, studierte Geophysik an der TU Clausthal, seit 1.5.2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

rolshofen@imw.tu-clausthal.de

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

schaefer@imw.tu-clausthal.de

*Siemieniec, Adam:* Jahrgang 1929, Professor am Lehrstuhl für Technische Mechanik der Bergakademie Krakau.

ad\_siem@uci.agh.edu.pl

*Sover, Alexandru:* Jahrgang 1975, studierte Maschinenbau an der Nord-Universität Baia Mare/Rumänien, seit 18.8.2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

sover@imw.tu-clausthal.de

*Trenke, Detlef:* Jahrgang 1969, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.10.2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

trenke@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