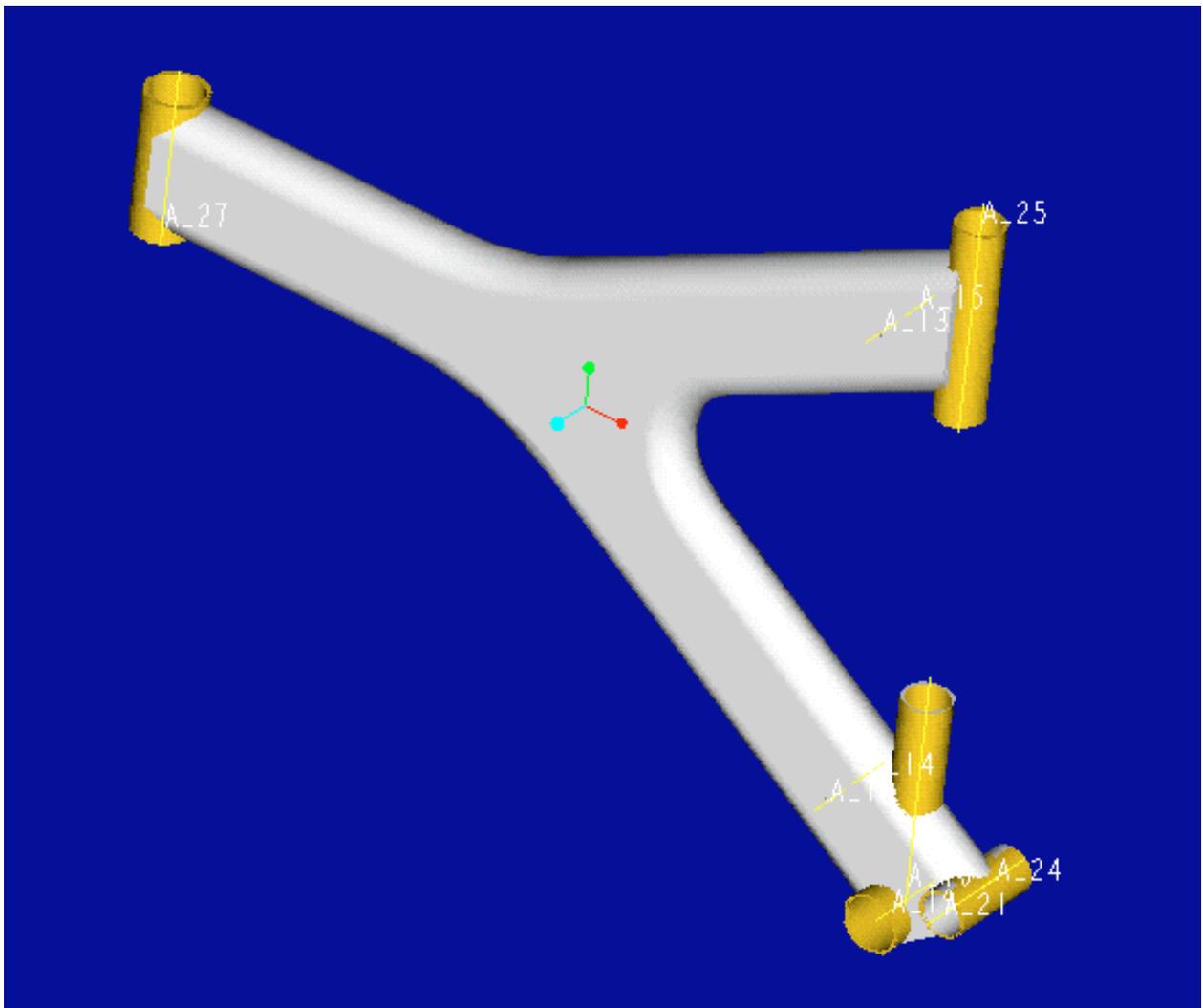


Institut für Maschinenwesen

Prof. Dr.-Ing. Peter Dietz

Mitteilung Nr. 22 (1997)



Mitteilungen aus dem
Institut für Maschinenwesen
der
Technischen Universität Clausthal
Nr. 22

(November 1997)

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Peter Dietz

Redaktion und Layout:

Dr.-Ing. Günter Schäfer
Dipl.-Ing. Steffen Penschke

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
Email: dietz@imw.tu-Clausthal.de

ISSN 0947-2274

Titelbild:

Am Institut für Maschinenwesen wurde ein Fahrradrahmen für die Fertigung in Feinblech konstruiert. Das Titelblatt zeigt das CAD-Modell (Pro/ENGINEER) eines Rahmens mit Mountainbikegeometrie. Eine projektübergreifende Arbeitsgruppe im Sonderforschungsbereich 362 „Fertigen in Feinblech“ nutzt den Rahmen als Referenzteil zur Untersuchung konstruktiver, logistischer und technologischer Aspekte der Feinblechfertigung (siehe auch Artikel S. 33 ff).

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
 Aufsätze	
 Dietz, P.:	
Gedanken zum Wissens- und Technologietransfer in Deutschland.....	3
 Konstruktion und Berechnung von Maschinenelementen	
 Burgtorf, U.; Garzke, M.; Mupende, I.:	
Berechnung innenverzahnter Naben unter Fliehkraftbeanspruchung	15
 Burgtorf, U.; Garzke, M.; Schäfer, G.:	
Spielbehaftete Längsstift-Verbindungen – eine unterschätzte Welle-Nabe-Verbindung?.....	19
 Grünendick, T.:	
Schweißen in der Luftfahrtindustrie	25
 Grünendick, T. ; Klemp, E.:	
Was hat ein Strahltriebwerk mit einem Heißgaslüfter gemeinsam?.....	31
 Konstruktionssystematik und rechnerunterstützte Produktentwicklung	
 Penschke, St.; Heinen, F.; Griesbach, B.:	
Entwicklung und Fertigung eines Mountainbikerahmens in Blech	33
 Isliker, M.:	
Bewegungssimulation am Beispiel einer Stewart Plattform.....	39
 Große, A.:	
Analyse der Werkstoffauswahl in der industriellen Praxis und Konsequenzen für die rechnerunterstützte Stahlauswahl.....	43
 Ort, A.:	
ProManual – Erstellung elektronisch verfügbarer Produkthandbücher.....	51
 Bönig, S.; Heimannsfeld, K.:	
KOMB – A new approach to hazard analysis in plant design	55
 Gummersbach, F.:	
Bereitstellung von konstruktionsspezifischen Hilfsmitteln zur Konstruktion lärmarmen Produkte – Systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele.....	63
 Penschke, St.; Ort, A.:	
Product Knowledge Management and Design Support	69
 Klemp, E.:	
Rapid Prototyping – Vom Prototyp zum Werkzeug	79
 Experimentelle Methoden und meßtechnische Untersuchungen	
 Schmidt, A.; Jeschke, D.:	
Parameterstudie zur Terzfilterung mittels der Fast-Fourier-Transformation.....	81

Henschel, J.; Mupende, I.:	
Konstruktion eines Prüfstandes zur Messung des Querelastizitätsmodul von Drahtseilen	85
Bönig, S.; Klemp, E.; Romann M.:	
SIMDES – Verfahrenstechnische Behandlung des Sorbens in einer Niedertemperaturrauchgasentschwefelungsanlage	89

Institut

Institutsbetrieb

Heimannsfeld, K.:	
Integration homogener Rechnerstrukturen am IMW.....	93
Schmitt, R.:	
Systemmigration im CIM-Labor des IMW abgeschlossen.....	97

Hochschulkontakte

Brandt, A.:	
SOCRATES/ERASMUS ECTS – Einführung an der TU Clausthal	99
Betaneli, A. J.; Saginadse, N. R.:	
Lösungskonzept der Funktionsstruktur des Flugzeugs.....	103

Ausstattung etc.

Technische Ausrüstung, Kooperationsangebote und Forschungsschwerpunkte des Institutes.....	107
Veröffentlichungen des Institutes seit dem 1.1.1994.....	110
Mitarbeiter des Institutes.....	112

Vorwort

In diesem Jahr werden Sie erstmals auf den begleitenden Weihnachtskarten mindestens zwei Unterschriften erkennen. Das hängt damit zusammen, daß im Institut für Maschinenwesen im Rahmen der Umstrukturierung des Fachbereichs Maschinen- und Verfahrenstechnik eine neue Professorenstelle „Rechnerintegrierte Produktentwicklung“ eingerichtet und mit Herrn Prof. Dr.-Ing. N. Müller seit dem 1. Oktober 1997 besetzt ist. Alte IMW'ler kennen Herrn Müller aus seiner Zeit an diesem Institut 1985 bis 1990, wo er unter anderem KCIM-Forschung einwarb und sich um den Aufbau des CIM-Labors bemühte.

Mit dieser Erweiterung des Instituts werden die Aufgaben auch eine neue Verteilung finden und sicherlich in allen Bereichen wachsen. Die Kompetenz des Institutes auf dem Gebiet der rechnergestützten Konstruktion, der Schnittstellen, der CAD-Teilebibliotheken usw. kann sich dadurch nur vergrößern, andererseits werden wir genügend Freiraum finden zur Erweiterung der Aktivitäten um die Maschinenelemente, die verfahrenstechnischen Maschinen, die Maschinenakustik und die Konstruktionsmethodik.

Vieles hat sich in unserer Universität im letzten Jahre getan - leider etwas auf Kosten des Zeitkontingents des Instituts, weil ich durch die Doppelbelastung einfach zeitlich nicht mehr alles schaffen konnte. Die Struktur der Hochschule wurde verändert - statt sieben Fachbereiche haben wir nun nur noch vier. Dabei wurden jeweils ein naturwissenschaftlicher Fachbereich und ein ingenieurwissenschaftlicher zusammengelegt - mit der Absicht, daß durch diese in keiner anderen Universität vorhandene Kombination von Fachwissen sich neue Formen der Zusammenarbeit in Lehre und Forschung ergeben. Als Ergebnis können wir auch einen neuen Studiengang melden: Die Physikalischen Technologien bilden in der Zusammenarbeit von natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fachgebieten ein Angebot, wie man es eventuell mit dem amerikanischen „materials science and technology“ vergleichen kann. Ähnliche Umstrukturierungen geschehen in der Chemie, aber auch neue Studiengänge wie das Wirtschaftsingenieurwesen, die Wirtschaftsmathematik, die Energiesystemtechnik und die Kunststofftechnik zeugen davon, daß sich Clausthal von einer Bergakademie in eine moderne Universität

gewandelt hat, die ihre traditionellen Stärken um ökonomische und ökologische Kompetenzen erweitert hat.

Die Studentensituation hat sich erfreulicherweise verbessert. Mit den Anmeldungen dieses Jahres von ca. 520 Neuanfängern haben wir zwar noch nicht unser Klassenziel einer dauerhaften Auslastung der Technischen Universität Clausthal mit 3600 Studierenden erreicht, sind aber auf dem besten Weg dazu. Erstaunlich ist dabei, daß neben dem Maschinenbau auch klassische Fächer wie die Physik oder der Bergbau einen deutlichen Zuwachs verzeichnen können. Meines Erachtens ist das ein Zeichen dafür, daß die auch in den letzten Rankings wieder hervorragend abgeschnittene Einschätzung der Technischen Universität Clausthal Früchte trägt und daß unsere seit etwa einhalb Jahren intensiv betriebenen Werbemaßnahmen jetzt Erfolg zeigen.

Im Bereich der Studien-Weiterentwicklung machen wir zur Zeit erhebliche Anstrengungen. Eines der Programme betrifft die Internationalisierung unserer Studiengänge. Im letzten Jahre habe ich einige Reisen hinter mir, die mögliche Kooperationen mit südamerikanischen Ländern betreffen - es besteht die Aussicht, mit Hilfe des DAAD ein Aufbaustudium für Ingenieurstudiengänge zu errichten, das Sprachprogramme mit einschließt und uns zu einem erheblichen Ausländeranteil verhelfen soll. Zum anderen haben wir gerade ein Sponsoringprogramm bei den Freunden der TUC angeregt, das besonders Ausländern den Anreiz für ein Studium in Clausthal bieten soll. All das ist sehr mühsam, von endlosen Diskussionen mit Kollegen und der Verwaltung geprägt - aber die jeweiligen Veröhnungsfeiern sind das Schönste daran.

Der Job als Rektor hat mir so eine Reihe von Nebenbeschäftigungen eingebracht, die auch für die Arbeit des Instituts ganz interessant sind. Der wichtigste dabei ist die Leitung der Arbeitsgemeinschaft für Technologietransfer und Innovation in Niedersachsen. Die vielen Kontakte mit Handelskammern und Industrie haben mir gezeigt, daß hier noch ein großes Potential in der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis liegt, das zur Zeit immer noch nicht ausreichend genutzt wird. Vielleicht liegt dies an der noch immer unzureichenden Information

über Forschungskompetenz an den Hochschulen, vielleicht kommen wir auch nur sehr schwierig über die üblichen Vorurteile des „Elfenbeinturms“, des Innovationsstaus usw. hinweg. Die Schaffung einer Datenbank mit gezielter Suche nach Kontakten über Fachbegriffe hat aber schon viel gebracht - auch Industrieaufträge an das Institut. Einer der Aufsätze befaßt sich mit diesem Problem des Technologietransfers und der Gemeinschaftsforschung zwischen Industrie und Hochschule.

Kommen wir - für die alten Freunde und Eingeweihten - zu den Institutsinterna:

Die Klimaanlage scheint sich zur unendlichen Geschichte auszudehnen, Lärm macht sie das ganze Jahr über, aber kühl ist sie nur im Winter und wenn sie zusätzlich abgestellt ist. Die Angehörigen des Staatshochbauamtes nehmen schon erhebliche Umwege in Kauf, um nicht am Institut vorbeizukommen und dabei unweigerlich von Frau Kurz erwischt zu werden.

Dafür haben wir aber jetzt eine funkelneue Eingangstreppe mit rutschfestem Terrazzo und einem Geländer, das nach geringfügigen Änderungen auch bald die Zustimmung des Sekretariats finden wird. Wie diese Treppe den Winter und Herrn Schubert überstehen wird, wird sich noch zeigen.

Im Forschungsbereich hat sich seit dem letzten Jahr wieder einiges belebt: Mit 31 wissenschaftlichen Mitarbeitern einschließlich der Gastwissenschaftler sind wir nahezu wieder auf Höchststand, drei weitere werden wir in Kürze einstellen. Ursache ist die nach einem „Antragsloch“ im letzten Jahr wieder verstärkt einsetzende Forschungstätigkeit.

Der SFB 180 zeigt in dieser seiner letzten Phase noch einmal heftige Bewegung im maschinenbaulichen Bereich. So sind wir mitten im Bau eines Reaktionsverdichters für 400 Grad und 400 bar bei widerlichsten chemischen Umweltbedingungen zum Recyclen von Kunststoffen mittels überkritischem Wasser. Für die Konstruktion neuartiger Schneidmühlen werden Versuche zusammen mit der Cutec vorgenommen und im Rahmen einer industriellen Forschung basteln wir an einer kontinuierlichen Reaktionsmühle. Die Ergebnisse des SFB sollen in eine anwendungsnahe Forschung mit der Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen einfließen, deren Beantragung wir zur Zeit vorbereiten.

Auf dem Gebiet der Maschinenelemente haben wir uns weiter mit dem Problem der Welle-Nabe-Verbindung beschäftigt und arbeiten zur Zeit an einer Idee sehr raumsparender und für die Massen-

fertigung besonders geeigneter Verbindungen. Darüber hinaus sind neben den Zahnwellenverbindungen auch Ausgleichkupplungen und ihre Betriebsfestigkeit Thema für unsere Prüfstände.

Einen weiten Bereich auch in diesen Institutsnachrichten nehmen die rechnergestützten Methoden in Konstruktion und Produktion ein - dies hängt im wesentlichen mit den zur Zeit gerade „reif“ werden den Forschungsarbeiten zusammen und soll kein symptomatisches Beispiel für die Institutsentwicklung sein. Sowohl im Bereich der Maschinenakustik wie bei der Fertigung in Feinblech bemühen wir uns um Konstruktions-Beratungssysteme, die konstruktionsintegrierte Risikobetrachtung und Fehleranalyse ist Gegenstand und die Schnittstellenproblematik (STEP) betreiben wir auch weiter. Alles dies in nationalen und internationalen Projekten, mit denen wir - schon der internationalen Treffen wegen - viel Freude haben.

Einer der Höhepunkte in diesem Jahr war ein wissenschaftlicher Ausflug einer großen Anzahl von Institutsmitgliedern nach Tbilissi mit interessanten Diskussionen in der dortigen Universität. Wir werden diese Kontakte noch weiter verstärken und haben als Anfang zwei georgische Studenten mitgebracht, die zur Zeit ganztägig damit beschäftigt sind sich beim Sekretariat beliebt zu machen.

Wie immer soll die Abfolge von Aufsätzen mit nicht sehr tiefsinnigen wissenschaftlichen Hintergründen Ihnen ein wenig die Weihnachtszeit verschönern helfen und besonders die alten Freunde des Instituts auf dem Laufenden halten „was sich hier so tut“. Wir würden uns freuen wenn auch diese Mitteilungen helfen uns die alten Kontakte zu erhalten und neue zu knüpfen und laden Sie wie immer herzlich zu einem Besuch in den schönen (und zur Zeit schon wieder verschneiten) Oberharz ein.

Clausthal, im Dezember 1997

Gedanken zum Wissens- und Technologietransfer in Deutschland

Dietz, P.

Der vorliegende Beitrag ist der Ausschnitt aus einem Vortrag, der im Rahmen eines Kongresses „EXTENSION II – Encuentro Latinoamericano, I Congreso Nacional“ Ende November 1997 in Mendoza, Argentinien gehalten wurde und die Darstellung des deutschen Technologietransfers zwischen Universitäten und Gesellschaft zum Inhalt hat.

This text is a clipping of a lecture which was discussed within the framework of the Congress „EXTENSION II – Encuentro Latinoamericano, I Congreso Nacional“ at the end of November 1997 in Mendoza, Argentina. It gives an overview of the technology transfer between the Universities and the society in Germany.

1 Grundlagen und Motivation zum Technologietransfer in Deutschland

Eine kritische Analyse der industriellen Situation Deutschlands ergibt, daß unser hoher Lebensstand zwar in erster Linie auf technologisch hochstehenden Erzeugnissen beruht, die im internationalen Wettbewerb in der Vergangenheit eine Spitzenstellung einnahmen, daß wir aber einen nachhaltigen Trend zu mehr Arbeitslosigkeit uns eingestehen müssen, weil wir ganz offensichtlich in dynamischen Wachstumsgebieten nicht mehr so erfolgreich reagieren wie früher. Obgleich in den letzten 10 Jahren 85 % der neuen Arbeitsplätze in F- und E-intensiven Branchen entstanden sind, müssen wir zunehmend feststellen, daß uns die kreativen „Macher“ aus den USA und aus Südostasien den Rang abzulaufen beginnen. Diese Entwicklung kann durch etablierte Industrieländer wie Deutschland nur abgefangen werden, wenn es uns gelingt, jene Teile der Produktion im eigenen Land zu belassen, die mit einer hohen Wertschöpfung versehen sind, d.h. komplexe Technologien und Produkte, die international wettbewerbsfähig sind.

Wir brauchen Produktinnovationen - neue Produkte und Verfahren, die Nutzen stiften und auf dem Weltmarkt mit Gewinn verkaufen lassen.

Hier wird aber auch schon ein Unterschied in den Aufgabenstellungen unterschiedlicher Länder

sichtbar. Wenn wir in **Bild 1** den Lebenszyklus eines Produkts betrachten, so erkennen wir, daß in Europa sich in Zukunft eine Konzentration auf die Entwicklung neuer und innovativer Techniken ergeben wird, deren Produkte unter Umständen überhaupt nicht mehr im eigenen Land gefertigt werden, während eine der Aufgaben aufstrebender Länder wohl darin liegt, die Produktion für die Versorgung des eigenen Landes und den Export zu steigern.

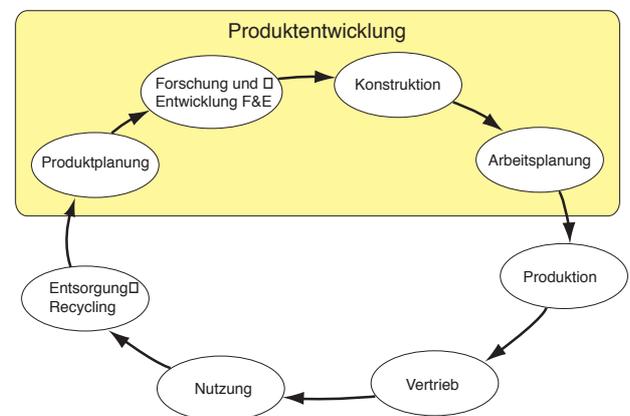


Bild 1: Bedeutung der Produktentwicklung im Produktlebensdauerzyklus

Da aber – unabhängig von diesen übergeordneten Gesichtspunkten – der in den Unternehmen seit Jahrzehnten geübte Vorgang der Schritt-für-Schritt Weiterentwicklung den heutigen Anforderungen an Innovation und Schnelligkeit nicht mehr gewachsen ist, muß nach neuen Methoden gesucht werden, um die Herausforderungen der Zukunft zu bewältigen. Man spricht allgemein von den drei strategischen Erfolgspositionen:

- innovatives Klima,
- unternehmerische Kraft und
- lebenslanges Lernen

die in den Unternehmen entwickelt und gepflegt werden müssen, um daraus genügend Innovationskraft zur Zukunftssicherung zu erhalten.

In einer Situationsanalyse zur Produktentwicklung in Deutschland /1/ wurde die Einordnung von 16 Erfolgsfaktoren in ein Portfolio in einer weit angelegten Befragungsaktion ergründet, deren Ergebnis **Bild 2** zeigt. Während Qualitätsbewußtsein,

Grundlagenwissen und die Anwendung moderner Entwicklungswerkzeuge zu den Stärken unserer Industrie gehören, lassen sich aber auch ausgesprochene Schwächen feststellen, die sich als kritische Erfolgsfaktoren in der Portfolio-Darstellung links oben befinden. Defizite weisen damit aus Sicht der Industrie besonders verhaltensbezogene Faktoren wie Kunden- und Marktorientierung, Pioniergeist und Zusammenarbeit im Unternehmen auf.

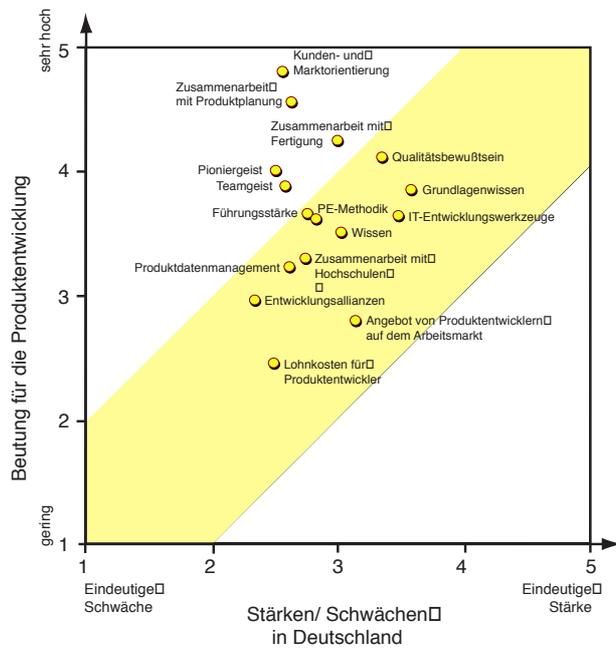


Bild 2: Portfolio nach Kompetenzen /1/

Dieses Ergebnis wird von einer weiteren Umfrage bestätigt, die sich mit der Beurteilung der Berufsfähigkeit von Produktentwicklern befaßt (Bild 3). Während das Grundlagenwissen allgemein positiv anerkannt wird und das branchen- und produktspezifische Wissen oft als zu stark betont wird, gibt es offensichtlich Defizite in Fähigkeiten, die mit einer systemübergreifenden planerischen Durchführung von Entwicklungsaufgaben zu tun haben. In der Beurteilung dieser Fragen gab es im übrigen erhebliche Unterschiede zwischen Industrie und Hochschullehrern, die diesen auf die Persönlichkeit gemünzten Kompetenzen wesentlich weniger Bedeutung beimessen.

Die Ergebnisse dieser Umfragen sind nicht zuletzt geprägt dadurch, daß der gesamte Entwicklungsprozeß sich in einer Umstrukturierung befindet, wie sie noch vor wenigen Jahren nicht denkbar ist. Methoden wie das Concurrent Engineering führen zum Aufbrechen der arbeitsteiligen Unternehmensorganisation, mit der Ablösung des tayloristischen Arbeitsprozesses ändern sich auch die Aufgaben und Kompetenzen des den Entwicklungsprozeß

leitenden Ingenieurs und schließlich führen grundlegende Strategien wie das Sustainable Development oder die Kreislaufwirtschaft zu völlig neuen Aufgaben und Betrachtungsweisen in der Produktentwicklung /2/. All diesen Strukturveränderungen gemeinsam ist die Schaffung eines Innovationsflusses zwischen den einzelnen Abteilungen während der Entwicklung: Alle Objekte der Produktentwicklung können parallel mit verschiedenen Obligationen bearbeitet werden, auch die Entscheidungsstruktur wird nicht hierarchisch vorgegeben, sondern entwickelt sich mit dem Fortschreiten der Produktentwicklung.

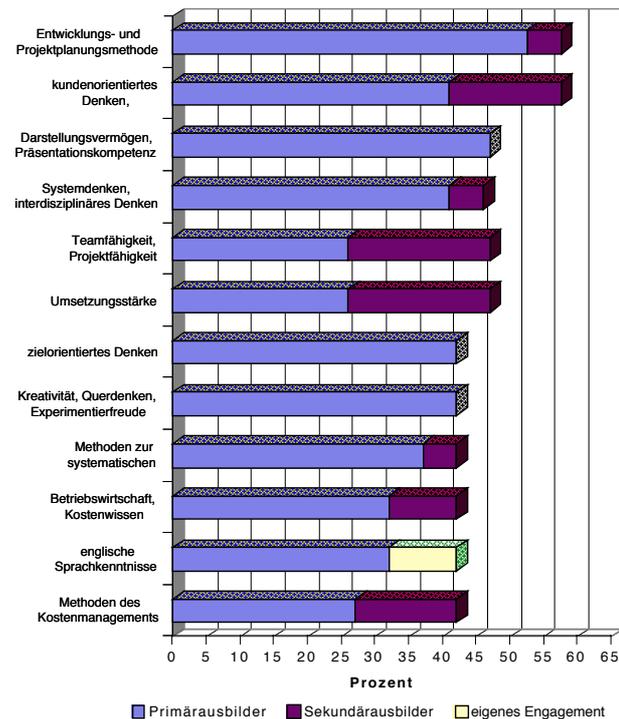


Bild 3: Ausbildungsdefizite in der Produktentwicklung nach /1/

Diese Aufgabenstellungen stellen eine Herausforderung für die Universitäten und ihre Zusammenarbeit mit der Wirtschaft dar. Einerseits erwächst aus der Veränderung von Aufgaben in der industriellen Entwicklung auch ein zum Teil völlig neues Kompetenzbild des Ingenieurs und damit wiederum die Forderung nach einer entsprechenden Vorbereitung der Ingenieure mit einer entsprechenden Beeinflussung der Lehrstruktur, andererseits sind die Universitäten als Hort zukunftsweisender Forschung aufgerufen, diese Methoden zu untersuchen und so weiter zu entwickeln, daß die Wirtschaft neue Impulse erhält.

Lassen Sie mich an dieser Stelle einige Voraussetzungen mitteilen, die meines Erachtens insbesondere für die Zusammenarbeit zwischen Hochschule

und Industrie wichtig sind und sich besonders auf die Ingenieurwissenschaften beziehen:

1. Die Verantwortung über die Erziehung, Wissenschaft und Kultur obliegt in Deutschland den Ländern. Es gibt keine Universidad Federal, es gibt aber eine Konferenz der Minister zur Abstimmung der Ausbildung.
2. Eine deutsche Universität erfüllt immer Aufgaben in Lehre, Forschung und Weiterbildung. Es gibt keine reinen Lehruniversitäten, dies ist oftmals den Fachhochschulen vorbehalten. Diese Kombination sichert einerseits, daß die wesentlichen Forschungen in den Universitäten stattfinden. Die staatliche Finanzierung der Universitäten und eines Großteils der Forschung garantiert, daß insbesondere die Grundlagenforschung öffentlich ist und nicht den Interessen der Industrie unterliegt. Andererseits ist damit sichergestellt, daß die neusten Erkenntnisse der Forschung in die Lehre einfließen, sodaß im Normalfall an den Universitäten und bei der Ausbildung für die Wirtschaft ein aktueller Stand der Technologie vorhanden ist.
3. Insbesondere im Ingenieurwesen rekrutiert sich der Nachwuchs der Hochschullehrer durch Persönlichkeiten, die in der Industrie Erfahrungen gesammelt haben. Es gibt in diesem Sinne keine „Universitätskarrieren“. Wer den Studierenden erklärt, wie man eine Maschine konstruiert muß selbst in der Industrie hierüber Erfahrungen gemacht haben. Dies bedeutet auch, daß die Hochschullehrer, weil sie aus meist guten Positionen in der Industrie an die Universität berufen werden, allgemein etwas besser bezahlt sind als in anderen Ländern. Und das bedeutet auch, daß jeder Ingenieur nach seinem Studium oder seiner Promotion die Universität verlassen muß, um eine Stellung in der Industrie anzunehmen oder selbst eine Existenz zu gründen.
4. Der deutsche Hochschullehrer ist Beamter auf Lebenszeit, er ist zu Lehre und Forschung verpflichtet. Durch die Einwerbung von Forschungsvorhaben hat er außer der wissenschaftlichen Reputation keine persönlichen Vorteile, nur bei der direkten Übernahme von Zusammenarbeit mit der Industrie kann er im Rahmen einer sogenannten Nebenbeschäftigung zusätzliche Verdienste einwerben.

Damit hat sich zwischen Universitäten und Industrie ein partnerschaftliches Verhältnis entwickelt, das sich in Deutschland bewährt hat. Die Universitäten

bereiten die Studenten mit einem berufsqualifizierenden Abschluß auf den Eintritt in die Industrie vor und haben meist vorwettbewerbliche Forschungsaufgaben, andererseits nutzen sie die neusten Erfahrungen aus der Industrie für ihre Lehre (**Bild 4**).

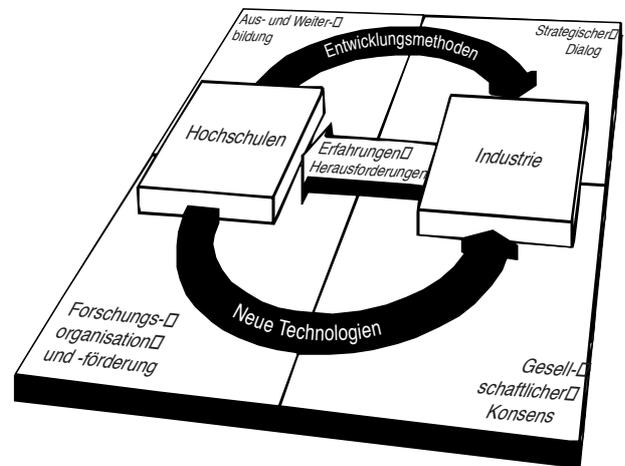


Bild 4: Industrie und Universität /3/

Unter den oben geschilderten Veränderungen der Arbeitswelt ergeben sich für die Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Industrie neue Aufgaben und neue Arbeitsformen, die zu einer Veränderung der bisherigen Gepflogenheiten führen. Hinzu kommt noch ein weiterer Aspekt: In den vergangenen Jahren wirtschaftlicher Restriktion haben die Unternehmen ihre Personalkapazitäten für Forschung und Weiterentwicklung so drastisch zurückgefahren, daß sie die bei einem erneuten wirtschaftlichen Aufschwung zu bewältigenden Aufgaben nicht allein bestreiten können. Sie sind auf die Mithilfe externer Institute, Ingenieurbüros oder Universitäten angewiesen, um eine anwendungsbezogene Forschung und die Entwicklung neuer Produkte zu betreiben. Die traditionellen und möglichen Gebiete der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Wirtschaft sollen im folgenden nach den einzelnen Betätigungsfeldern:

- „über die Köpfe“ (Primärausbildung),
- Weiterbildung (Sekundärausbildung),
- Informationsbereitstellung (Kompetenznetzwerke),
- gemeinsame Forschungsvorhaben und
- Beratungen, Auftragsforschung

kritisch beleuchtet werden und Vorschläge für eine künftig veränderte Zusammenarbeit erarbeitet werden.

2 Aus- und Weiterbildung

Die zunehmende Komplexität des industriellen Prozesses führte geschichtlich zur Aufgabenteilung und Spezialisierung, die sich auch in der universitären Ausbildung der Vergangenheit niederschlug. Moderne Arbeitsmethoden der Produktentwicklung und ihre Ausschöpfung des Potentials gruppenspezifischer Effekte führen zu typischen Rollenverteilungen in den Konstruktionsteams (vergl. /2/). Sie geben einen deutlichen Hinweis darauf, daß die erfolgreiche Zusammenarbeit nicht nur vom Fachwissen der Beteiligten abhängt, sondern auch von ihrem Verständnis für Gruppenarbeit, Entscheidungsverhalten, Kommunikations- und Managementtechniken.

Damit ändert sich das Kompetenzbild des Ingenieurs: Fachwissen ist eine Seite, daneben verlangt man aber in gleicher Weise eine Systemkompetenz in andere Fachgebiete hinein, die Beherrschung von modernen Problemlösungsmethoden und nicht zuletzt Führungseigenschaften. Diese neue Betrachtungsweise des Berufsbildes für den verantwortlichen Konstrukteur führt zur Forderung nach mehr Kompetenz in übergreifenden Aufgaben und damit auch zu einer entsprechenden Forderung an Ausbildung und Wissen in den Bereichen Management, Methodik, rechnergestützte Hilfsmittel und gesellschaftlicher Zusammenhänge. Die Wirtschaft fordert eine gezielte Aus- und Weiterbildung zur Verbesserung der:

- Fachkompetenz (z. B. Technologie, Werkstoffkunde, Maschinendynamik, EDV und Fremdsprachen),
- Methodenkompetenz (z. B. methodisches und kostengünstiges Konstruieren, Wertanalyse, FMEA, QFD, Controlling und Managementtechniken) und
- Sozialen Kompetenz (Teamarbeit, Kommunikation, Mitarbeiterführung und Entscheidungsverhalten).

Die Hochschulen sind in ihrer heutigen Ausbildungsstruktur diesen Forderungen nicht gewachsen, da sie sich nach einer naturwissenschaftlich ausgerichteten Grundausbildung stark einer Spezialisierung in technischen Fächern widmen und das methodische Wissen oder gar eine Ausbildung der integrativen Kompetenzen demgegenüber weit zurücktritt. Die Realisierung eines veränderten Ausbildungssystems nach den in /2/ formulierten Forderungen an die Lehre zur Erreichung berufsqualifizierender Kompetenzen erscheint unter Er-

haltung der bisherigen Hochschulstrukturen möglich, sie erfordert aber ein erhebliches Maß an inter-fakultativem Verständnis und an Zusammenarbeit bei der Durchleuchtung der Studiengänge und ihrer Umstrukturierung. Dabei wird der Anteil der Fachkompetenz deutlich zurückgefahren zugunsten einer Ausbildung in Methoden, Management und Systemwissen. Dies ergibt einige Schwierigkeiten bei der Gewährleistung der Berufsqualifikation, wobei z.B. das wichtige Thema der Fremdsprachen völlig ausgeklammert ist und als eine Kompetenz betrachtet wird, die außerhalb des normalen Curriculums erworben werden muß.

Es ist allgemein bekannt, daß das in der Primärausbildung erworbene Wissen und die Fähigkeiten Voraussetzungen für einen qualifizierten Berufseinstieg bilden. Es ist aber weiterhin bekannt, daß zu diesem Wissen ein spezielles Fachwissen erworben werden muß, um die Industrietätigkeit erfolgreich durchzuführen, und daß heute technologisches Wissen nach 5 Jahren bereits veraltet ist und erneuert werden muß. Zur Aufgabe der Primärausbildung kommt daher die Forderung nach lebenslangem Lernen und damit die Anforderungen nach einem Angebot in der Weiterbildung. Zur Zeit wird geschätzt, daß das während der Primärausbildung erworbene Wissen und Können zu etwa 50 % für die Arbeit im Unternehmen genutzt wird, die weiteren 50 % müssen aus einem Lernvorgang während des Arbeitens und aus der Weiterbildung bezogen werden.

Kundenorientierte Lehrrangebote

Keine vorgefertigten Seminare („Bauchladen“), sondern individuelle „Inhouse-Trainings“. Alle Formen des arbeitsplatznahen Lernens werden zulegen.

Problemintegrierende Lehrinhalte

Gefragt sind Lehrrangebote, die problemorientiert eine Verbindung von fachlichem, methodischem und sozialem Lernen ermöglichen.

Stand der Technik

Entsprechend dem prognostizierten Wandel der universitären Ausbildung werden „Auffrischungskurse“ mit dem neuesten Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis eines speziellen (angewandten) Fachgebietes zunehmen.

Effektive Lernmethoden

Abgesehen von Ergänzungs- und Aufbaustudien ist eine konzentrierte Wissensvermittlung in ein- bis zweitägigen Veranstaltungen anzustreben.

Lernort

Die Bedeutung des Lernortes „Arbeitsplatz“ steigt, da er schnellen Wissenstransfer verspricht.

Bild 5: Trends in der Weiterbildung

Auch hier sind die Universitäten aufgefordert zu einer Wissensvermittlung, die dem aktuellen techni-

schen Stand entspricht und die als eine Grundaufgabe der Hochschulen anzusehen ist. In Bild 2 war deutlich zu sehen, welche Defizite bei der Berufsfähigkeit von der Sekundärausbildung geschlossen werden sollen, **Bild 5** zeigt die für eine effektive Weiterbildung unabänderlichen Grundaufgaben.

Die Aufzählung dieser Voraussetzungen, die gleichzeitig einen Trend zu den in Deutschland erfolgreichsten Weiterbildungsveranstaltungen aufzeigen, zeigen deutlich, daß die Universitäten sich mit diesen Angeboten dem Bedarf anpassen müssen und daß dieser Bedarf sich deutlich von den Vorgehensweisen und Inhalten der Primärausbildung unterscheidet. Dies gilt sowohl für den Aufbau der Veranstaltung, für das vermittelte Wissen und die Art der Präsentation als auch für die Termingestaltung und den Ort. Deutlich wird auch, daß das Lernen über den sogenannten „virtuellen Campus“, d.h. die Nutzung von Internet, E-mail und anderen rechnergestützten Medien an Bedeutung zunimmt, da diese es gestatten, einen Großteil der Wissensvermittlung am Arbeitsplatz oder im häuslichen Bereich vorzunehmen.

- Erfüllung des Pflichtangebots in den Studiengängen vorrangig
- Kapazitätsberechnung ausschließlich für vorhandene Studiengänge verplant
- Schwacher finanzieller Anreiz für Hochschullehrer, freiwillige Mehrbelastung ohne zusätzliche Ressourcen, Schwierigkeiten bei Dienstreisegenehmigungen usw.
- Hoher Vorbereitungsaufwand für maßgeschneiderte Angebote (Der „Bauchladen“ des Vorlesungsangebots läßt sich nicht anwenden)
- Marketing und Akzeptanz

Bild 6: Hemmnisse für die Weiterbildung an Hochschulen

Leider ist das Angebot der Hochschule an Weiterbildungsmaßnahmen nicht besonders gut ausgebildet, weit weniger als dies z.B. in Ländern zu finden ist, bei denen die Erwachsenenbildung einen weit höheren Stellenwert hat. Dies hängt mit historisch gewachsenen Gegebenheiten zusammen, die zur Aufgabenbeschreibung der Universität als Primärausbildung und zu formalen Schwierigkeiten führen, die von Problemen bei der Dienstreisegenehmigung bis hin zur Abrechnung der Einnahmen reichen (**Bild 6**). In Deutschland werden die Weiterbildungsaufgaben zur Zeit von wenigen großen und professionellen Weiterbildungsinstituten durchgeführt, die gezielt auf Hochschullehrer zugehen, diese aber in eigenen Institutionen be-

schäftigen. Es ist aber abzuwarten, daß in den nächsten Jahren das Prinzip des lebenslangen Lernens die Hochschulen vor neue Aufgaben stellt und daß sich dabei die Angebote verbessern werden.

3 Informationsbereitstellung und Kompetenznetzwerke

Eine der wesentlichen Standpunkte des Technologietransfers ist die Vermittlung von Informationen, meist von einem universitären Institut in die Industrie. Hierzu gibt es sicherlich wie in allen Ländern eine ganze Reihe von Lösungen, die von der persönlichen Kontaktaufnahme über die Verbindungen der Alumni zu ihrer alten Universität bis hin zu einer organisierten Form von Beratungsstellen bei den Industrie- und Handelskammern oder die Gründung staatlich organisierter Innovationsberatungsstellen erreicht. Dabei sind Hochschule und Industrie als gleichrangige gesellschaftliche Partner anzusehen, die in einen Dialog zur Lösung eines fachlichen Problems eintreten.

Hierzu wurden beispielsweise an nahezu allen Universitäten Deutschlands Technologie-Transferstellen eingerichtet, die als Anlaufstelle für die mittelständische Industrie dienen, die regelmäßig über besonders praxisnahe Forschungsergebnisse der Hochschulen berichten und die für jede Hochschule eine Vermittlungsfunktion übernehmen. Diese Personalstellen sind als besonders geförderte Stellen der Länder ausgewiesen, so daß man eigentlich ein flächendeckendes Angebot an Anlaufstellen hat, die sich insbesondere für die kleine und mittelständische Industrie eignen. **Bild 7** zeigt die Standorte in Niedersachsen.

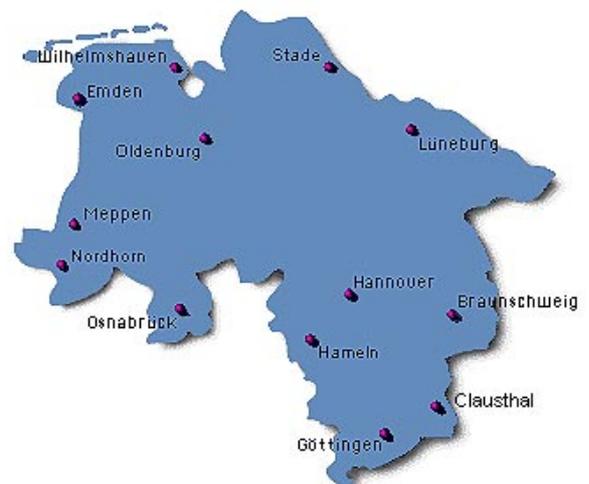


Bild 7: Technologiezentren in Niedersachsen

Grundgedanke bei der Einrichtung der Technologie-Transferstellen und bei der staatlichen Förderung von Kooperationen ist das Problem, daß gerade kleine und mittelständische Unternehmen für das Überleben im weltweiten Konkurrenzkampf Produkte unter Anwendung der neuesten Technologien entwickeln müssen oder sich zur Gewährleistung des wirtschaftlichen Zieles modernster Fertigungstechnologien bedienen müssen. Meist haben aber gerade diese Unternehmen nicht die Personalkapazität, die den Vorsprung sichern kann. Es liegt daher nahe, mit den Universitäten, die aufgrund ihres Forschungsauftrages sich mit den Spitzenleistungen der Entwicklung beschäftigen, in einen Dialog zu treten, Informationen auszutauschen oder bei ganz bestimmten Fragen in gemeinsamer Kooperation Probleme zu lösen (**Bild 8**).

Wie bei jedem Dialog gibt es aber das Problem der Partnersuche, hier verbunden mit dem Aufbau einer Vertrauensbasis zwischen Unternehmer und Wissenschaftler, da nur diese zu einer dauerhaften Zusammenarbeit führen kann. Doch gilt es auch eine Reihe gängiger Vorurteile abzubauen z.B.

- Innovationsstau: Die Hochschulen behaupten, daß die von ihnen geleisteten innovativen Erkenntnisse in der Wirtschaft nicht umgesetzt werden und ungenutzt in den Schreibtischen der Forscher liegen.
- Elfenbeinturm: Die Wirtschaft behauptet, daß die in den Forschungsstätten erarbeiteten Erkenntnisse am Bedarf der Industrie vorbei entwickelt werden und nur akademischen Wert besitzen.
- Terminproblem: Die Wirtschaft behauptet, daß die Wissenschaftler aus dem einfachsten Problem eine Doktorarbeit machen wollen und damit die Entwicklung viel zu lange Zeit kostet.

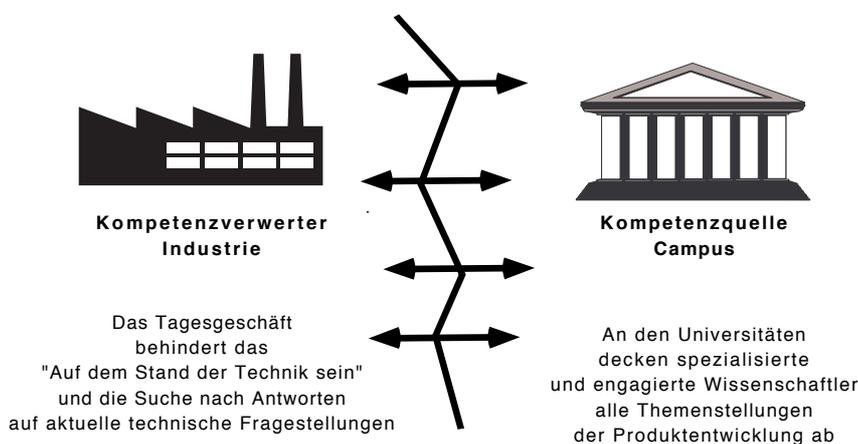


Bild 8: Aufgabenstellung der Technologie-Transferstellen

- Preis: Es herrscht allgemein die Meinung, daß der Wissenschaftler für eine Auskunft sehr viel Geld haben will, das die Wirtschaft nicht aufbringen möchte.

Diese Vorurteile abzubauen und damit eine Atmosphäre für eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zu schaffen, ist eine langwierige, mühevolle und manchmal frustrierende Aufgabe, die langfristig angelegt sein muß und Kontinuität in den handelnden Personen erfordert. Hinzu kommt, daß sowohl von den Anforderungen als auch von den Möglichkeiten für ein Problem eine hohe Variabilität vorherrscht, die nach einer Organisation mit hoher Informationsdichte und mit gezieltem Zugriff verlangt. An einem Beispiel soll die Lösung für ein solches Informationsnetz ausgeführt werden.

In Niedersachsen gibt es eine Zusammenarbeit von 5 Gruppen, die AGTIF (Arbeitsgemeinschaft der niedersächsischen Technologievermittler und Innovationsförderer), die an einem Austausch von Informationen zur Stärkung der Industrie interessiert sind (**Bild 9**):

- Technologie- und Gründerzentren,
- Industrie- und Handelskammern,
- Hochschulen,
- spezielle Technologietransfereinrichtungen und
- außeruniversitäre Forschungseinrichtungen.

Die Beteiligung dieser 5 Gruppen garantiert zunächst hinreichend Kompetenz, um dem Unternehmer eine umfassende Beratung und Mitarbeit zu bieten, die sich nicht nur auf technologische Fragen beschränkt, sondern auch Auskunft zur Finanzierung, zur Gestaltung von Verträgen oder zur Suche nach weiteren industriellen Partnern in einem Projekt gibt.

Unterstützt wird diese Gruppe durch ein staatlich finanziertes Büro, die NATI GmbH (Niedersächsische Agentur für Technologietransfer und Innovation), das die eigentlichen koordinierenden Aufgaben übernimmt. Wichtig ist, daß dieses Büro selbst als eine neutrale Schnittstelle zum Austausch von Informationen dient und keine eigenen Interessen hat, beispielsweise die Akquirierung eigener Entwicklungsaufträge verfolgt oder bestimmte Universitäten bevorzugt.

Die Mitglieder dieser Organisation bilden Arbeitsgruppen, die die Methoden der Zusammenarbeit strategisch erarbeiten, wie z.B. die Aufstellung von Informationsdiensten, die Beratung von Unternehmen in rechtlichen Fragen, die Organisation von Weiterbildung und Qualifizierung usw. (**Bild 10**).

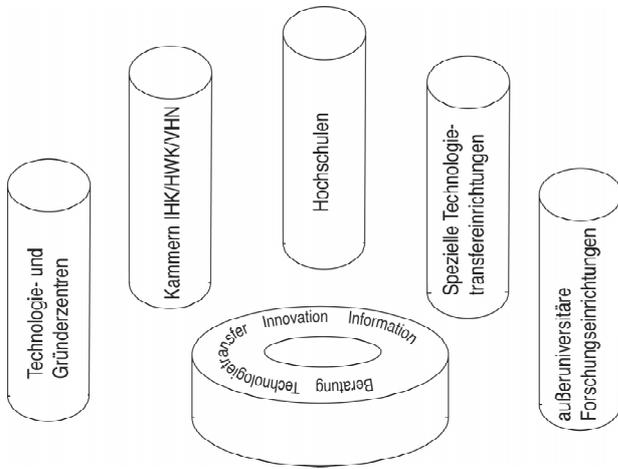


Bild 9: Die 5 Partner des Niedersächsischen Technologietransfers

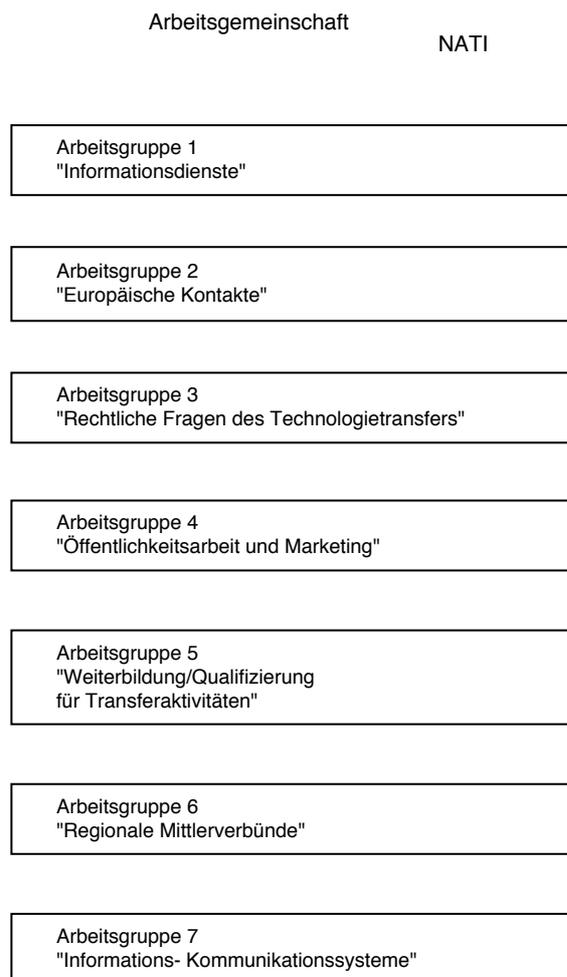


Bild 10: Die Arbeitsgruppen des Niedersächsischen Technologietransfers

Ein einfaches Beispiel möge zur Erläuterung der Vorgehensweise dienen:

Ein Unternehmer hat Plastikteile an die Automobilindustrie zu liefern und für ihre Qualität bezüglich Haltbarkeit und Steifigkeit von - 40⁰ bis + 60⁰ zu garantieren. Über entsprechende experimentelle Einrichtungen, d.h. Zugprüfmaschinen und Klimakammern, verfügt ein solcher Unternehmer normalerweise nicht, aber die Universität, die in seiner Nähe liegt.

Der Unternehmer wendet sich nun an seine Industrie und Handelskammer und schildert kurz sein Problem. Die Industrie- und Handelskammer erfragt über die oben genannte Agentur eine Liste von Kompetenzen und Einrichtungen, über die die Hochschulen im gesamten Bundesland verfügen und kann dem Unternehmer eine oder mehrere Stellen nennen, an die er sich wenden kann.

Daraufhin tritt der Unternehmer mit der entsprechenden Forschungsstelle direkt in Verbindung und vereinbart mit dieser Umfang und Preis der gewünschten Untersuchung. Wenn er wünscht, kann er sich in Fragen der Vertragsgestaltung oder im Falle eines Patentes ebenfalls an seine Organisation, die Industrie- und Handelskammer, wenden und erhält eine kostenlose Beratung oder die Vermittlung zu speziellen Partnern wie Wirtschaftsförderer, Technologieparks, Erfinderzentren usw.

In diesem Falle war es möglich, innerhalb weniger Wochen und mit wenig Geld mit dem Unternehmer eine Kunststoffmischung zu entwickeln, die den Anforderungen der Automobilindustrie genügte.

Die technischen Möglichkeiten zur Aufstellung eines solchen Kompetenznetzes sind einfach, sie entwickelten sich von einem Telefondienst bei der Geschäftsstelle bis zu einem heute auf dem Internet vorgehaltenen Datenbestand, bei dem über einen Thesaurus und nach Stichworten die entsprechenden Informationen gesucht werden, die dann zu einem persönlichen Kontakt führen. Auf diese Weise ist ein Kommunikationsmittel geschaffen, mit dem nicht nur der Technologietransfer zwischen Hochschule und Unternehmer realisiert werden kann, sondern die darüber hinausgehenden Partner auch mit weiteren Beratungen zur Realisierbarkeit, Finanzierung oder in Rechtsfragen zur Verfügung stehen. Das Kompetenznetz wird zur Zeit erweitert um eine rechnergestützt aufgebaute Literatur- und Patentrecherche, so daß Unternehmen wie Hochschulen den jeweils aktuellen Stand erfragen können (**Bild 11**).

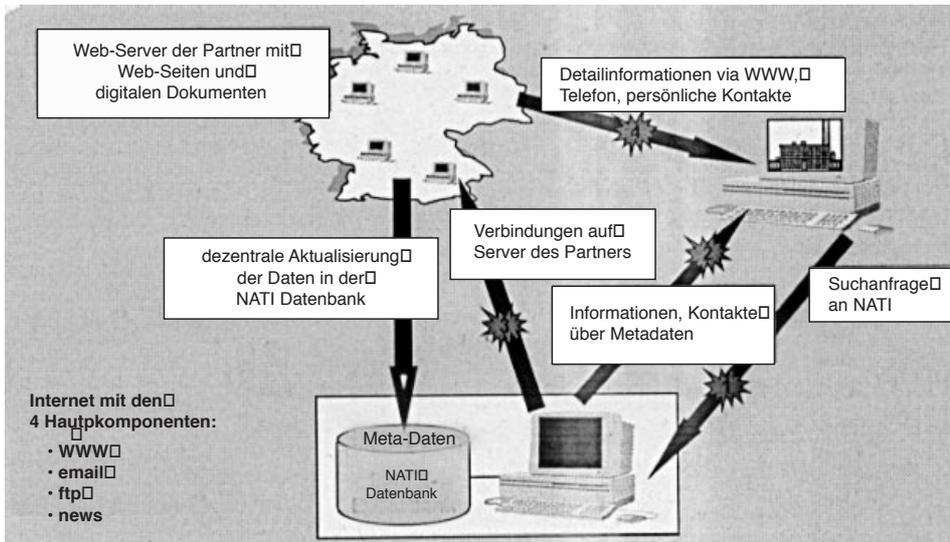


Bild 11: Aufbau des Niedersächsischen Kompetenznetzwerkes

Ähnliche Organisationen, die vor allem die Möglichkeiten des Internet nutzen, gibt es in weiteren Aktivitäten. So existiert z.B. ein ursprünglich für Journalisten geschaffenes Expertennetz, in dem Sachgebiete von Wissenschaftlern aufgelistet sind und über einen Thesaurus der zuständige Wissenschaftler gesucht werden kann und dann direkt über E-Mail zur Verfügung steht. Solche Netze gestatten auch, daß Unternehmer sich selbst und ihre Produkte bzw. Dienstleistungen im Netz darstellen und damit auch ein Kontakt geschaffen werden kann, der über die einzelnen Beratungen hinausgeht.

- Abstimmung und Koordination der unterschiedlichen Transfer- und Beratungsaktivitäten
- Erleichterung des Zugangs zu und der Beschaffung von Informationen für Transfervermittlung und Innovationsberatung
- Trägerübergreifende Information der Öffentlichkeit über Potentiale und Ansprechpartner des Technologietransfernetzes
- Informationen zu Förderungsprogrammen

Bild 12: Ziele und Vorteile des Zusammenschlusses zu Kompetenznetzwerken

Im Gegensatz zu den oben genannten Netzen, die im wesentlichen auf einer staatlichen Förderung des Informationsaustausches beruhen, kann man mit der Vermittlung von Partnern auch ein wirtschaftlich arbeitendes Unternehmen aufbauen. In einem Bundesland in Deutschland existiert ein solches Unternehmen, das Hochschullehrer unter Vertrag nimmt und damit zu Dienstleistungen für die Industrie in ihrem Auftrag verpflichtet. Dieses Unternehmen übernimmt auf der Basis des geschilderten Problemfalls die Vermittlung und schließt auch

die Verträge mit beiden Partnern unter Einschluß einer Provision. In **Bild 12** sind die Grundlagen und Ziele eines Kompetenznetzes noch einmal zusammengefaßt.

4 Gemeinsame Forschungsvorhaben

Eines der in Deutschland wichtigsten Instrumente der Zusammenarbeit ist die Durchführung gemeinsamer Forschungsvorhaben, wobei diese Kooperation oft gefördert wird aus Mitteln des Staates oder der Industriegemeinschaft. Die für uns in der Forschungsförderung wichtigsten Möglichkeiten sind:

Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Neben dem Programm zur Grundlagenforschung, das den weitaus größten finanziellen Umfang umfaßt, ist ein Forschungsziel die Umsetzung von Erkenntnissen der Grundlagenforschung in ein marktgerechtes Produkt.

Im Normalfall erstellt ein Forschungsinstitut in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen einen Antrag, der von unabhängigen Gutachtern beurteilt wird. Bei positivem Gutachten wird das Forschungsinstitut gefördert, der industrielle Partner erhält für seine Aufwendungen keine Förderung.

Beispiel: Im Rahmen einer Grundlagenforschung wurde die Klassierung von Partikeln untersucht und ein sehr schnellaufender Rotor entwickelt, der eine Trennung von Partikeln in der Größe von 1 µm vornehmen kann. Die Grundlagenforschung ergab, daß der Prozeß funktioniert und daß der Rotor geeignet ist. Diese Forschung wurde als Grundlagenforschung von der Bundesrepublik Deutschland fi-

nanziert und stellt einen Fortschritt in der Technologie dar (**Bild 13**).

Grundlage des jetzigen Antrags zusammen mit einem Unternehmen ist der Bau und die Erprobung einer marktfähigen Maschine für diesen Prozeß. Das Forschungsinstitut übernimmt die personellen Aufwendungen zur Entwicklung, Konstruktion und Erprobung dieser Maschine, das Industrieunternehmen baut die Anlage und stellt alle Versuchseinrichtungen zur Verfügung. Das Projekt ist für eine Laufdauer von zwei Jahren geplant.



Bild 13: DFG-Forschungsprojekt Windsichter

Förderung in einem Programm zur Stärkung der Innovation der deutschen Industrie mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Es handelt sich meist um sehr große Vorhaben, die von einem Industrie-kreis gesteuert werden und bei denen meist eine Reihe von Universitätsinstituten beteiligt sind.

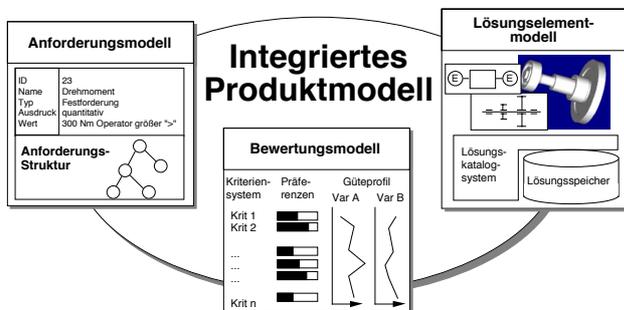


Bild 14: BMBF-Projekt K-CIM

Beispiel: Unter Leitung des DIN wurde ein Konsortium zur Rechnerintegrierten Konstruktion und Fertigung gebildet, in dem vorwiegend die Automobil- und die Elektroindustrie Deutschlands vertreten war. 4 Universitätsinstitute in Deutschland erhielten

abgestimmte Forschungsaufträge im Wert von ca. 20 Millionen DM zur Entwicklung von rechnergestützten Methoden für die Entwicklung und Fertigung von Produkten, insbesondere die Entwicklung genormter Schnittstellen (**Bild 14**).

Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen. Hier handelt es sich um Auftragsforschung für die Industrie, die besonders zur Stärkung der mittelständischen Industrie dient. Diese Forschungsart gibt es in verschiedenen Modellen:

Modell und Beispiel 1: Ein mittelständisches Unternehmen beschäftigt sich mit Ventilatoren, die unter sehr hohen Temperaturen arbeiten, z.B. zum Bau von Brennöfen für die Keramikindustrie bei 1350⁰C (**Bild 15**). Für die Entwicklung dieses Lüfters besitzt dieses Unternehmen nicht die erforderliche Kapazität an Personal, Rechnern und Labor. Durch Vermittlung beispielsweise über ein Kompetenznetz beauftragt dieses Unternehmen ein Universitätsinstitut mit der Entwicklung eines solchen Ventilators und seiner Anbindung an einen Antrieb und erhält aus staatlichen Mitteln bis zu 40% der Kosten für diesen Auftrag zurück. Alle Rechte an dieser Konstruktion hat der Unternehmer.



Bild 15: AIF-Projekt Heißgaslüfter

Modell und Beispiel 2: Der Verschleiß an Zahnwellenverbindungen z.B. in Automobilgetrieben ist ein Problem, das alle Getriebehersteller beschäftigt. In einer Kommission der Getriebehersteller wird beschlossen, daß ein Forschungsvorhaben an ein Universitätsinstitut vergeben wird (**Bild 16**). Die Gemeinschaft der Getriebehersteller zahlt an das Institut die Hälfte, die staatliche Förderung zahlt die

andere Hälfte. Die Ergebnisse müssen veröffentlicht werden und stehen jedem zur Verfügung.

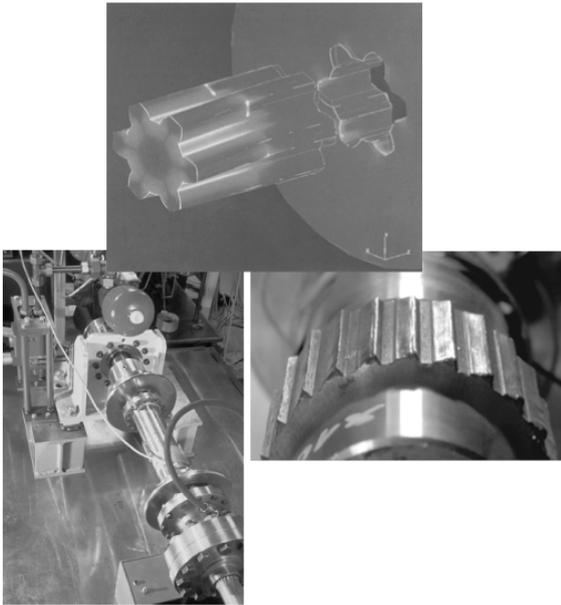


Bild 16: AIF-Projekt Zahnwellenverschleiß

Förderung über die Europäische Gemeinschaft. Es gibt eine Reihe von Programmen der Europäischen Gemeinschaft, die fast alle auf der internationalen Zusammenarbeit von Unternehmen beruhen. Förderungsprogramme befassen sich mit der Informationstechnik, mit der Medizin, mit neuen Werkstoffen, mit Umweltproblemen und mit der Fertigungstechnik. Die Förderung ist meist mit einem Anteil von 50 bis 60% geregelt, der andere Anteil muß über die Industrie aufgebracht werden. Aus dem ganzen Programm möchte ich drei Beispiele nennen:

Beispiel 1: Im Programm ESPRIT, das sich mit Informationstechnologien beschäftigt, wurde ein Projekt bewilligt, das sich mit der Bereitstellung von Norm- und Katalogteilen beschäftigt. Ziel ist die Übernahme von Teilen aus internationalen Bibliotheken in ein CAD-System mit dem besonderen Problem der Entwicklung einer genormten Schnittstelle. Die Arbeitsgemeinschaft bestand aus zwei Universitäten und fünf Wirtschaftsunternehmen, die Förderung durch die EG war zu 50% (**Bild 17**).

Beispiel 2: Im Rahmen der Energie- und Umweltforschung beschäftigte sich ein Projekt mit der Entschwefelung von Rauchgasen

nach einem neuen Verfahren. An diesem Projekt sind drei Universitäten beteiligt. Da es ein Grundlagenprojekt ist, wird es in diesem seltenen Fall zu 100% gefördert. Notwendig war aber eine Erklärung der Internationalen Industrie, daß sie dieses Projekt durch Erfolgskontrollen begleitet und daß bei erfolgreicher Entwicklung dieses Verfahren ohne weitere Kosten für die EG angewendet wird (**Bild 18**).

Beispiel 3: Hier handelt es sich um ein Programm der EG zur Unterstützung der Zusammenarbeit kleiner und mittelständischer Unternehmen. Das Projekt ist nicht sehr wissenschaftlich, die Hochschulen haben mehr eine Beratungs- und Ausarbeitungsfunktion. Im vorliegenden Beispiel war eine Reihe europäischer Museen der Meinung, daß man die Besucherfrequenz erheblich steigern könne, wenn in diesen Museen Dinosaurier rumliefen. Da man die Tierchen heute so selten sieht, haben sich 16 Unternehmen europaweit zusammengeschlossen, um ein solches Tier als Roboter künstlich herzustellen und an die Museen zu verkaufen. Die wissenschaftliche Beratung erfolgte durch einen englischen Biomechaniker, der die Bewegungsstudien machte, die Technische Universität Clausthal, die die Konstruktion und Berechnung übernahm, und ein französisches Robotikinstitut, das für die Steuerung zuständig war. Der Roboter wird zur Zeit in Spanien gebaut, die Förderung der EG war 50% (**Bild 19**).

Die genannten Beispiele und Förderprogramme stellen nur einen kleinen Ausschnitt dar, darüber hinaus gibt weitere Möglichkeiten. Es soll mit diesen Beispielen aber herausgestellt werden, daß es Formen einer wissenschaftlich-technischen Zu-

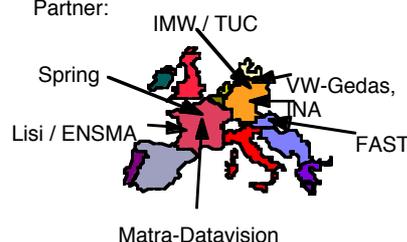


Parts Library Usage and Supply (PLUS)

Eckdaten:

- ESPRIT III Projekt
- Förderung: 1.250.000 ECU
- Arbeitsumfang: 239 MM
- Dauer: 2,5 Jahre; endete 1996

Partner:



Erfolge:

- Aufbau einer Struktur für Teilebibliotheken und deren **Standardisierung** (ISO 13584)
- Direkte **Vergleichbarkeit** von Teilen verschiedener Zulieferer
- **Austauschbarkeit** von Teilen, Teilfamilien, Merkmalen und Bibliotheksstrukturen
- effizientere **Auffindbarkeit** von (Wiederhol-) Teilen während der Konstruktionsphase
- Entwicklung und **Implementierung** von industriellen Teilebibliothekssystemen

Bild 17: EURO-Projekt PLUS

Palaiomation

Eckdaten:

- CRAFT Projekt
- Förderung: 667.000 ECU
- Arbeitsumfang: 127 MM
- Dauer: 2 Jahre, endete 1996

Partner: 4 Museen, 16 SME's, 3 Universitäten

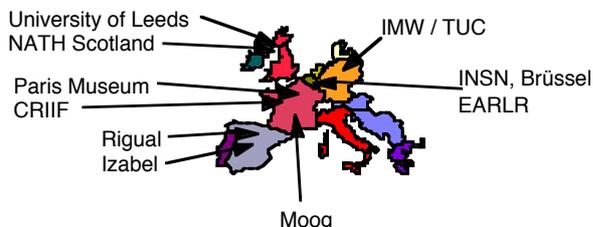


Bild 19: EURO-Projekt Paleomation

sammenarbeit gibt, die für beide Partner interessant ist und zu einem schnellen Technologietransfer führt - und zusätzlich von staatlicher Seite gefördert wird.

Auch eine solche Zusammenarbeit erfordert aber von den beteiligten Partnern, daß man ohne Vorurteile aufeinander zugeht und daß man während des Projektes sich mit den Zielen der Zusammenarbeit identifiziert. Es hat auch hier Beispiele gegeben, daß Universitäten solche Projekte eher als Geldbeschaffung für wissenschaftliche Beschäftigung angesehen haben - diese Universitäten wurden sehr schnell von der weiteren Zusammenarbeit ausgeschlossen.

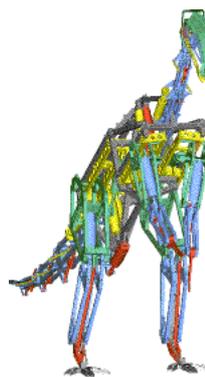
5 Gründungsinitiativen

Lassen Sie mich zum Abschluß dieses Vortrags noch eine Idee präsentieren, die bei uns in Deutschland eine gewisse Modewirkung hat.

Da die großen Unternehmen mit einer gefestigten Produktpalette oft im Zuge von Umstrukturierungen Arbeitsplätze abbauen, müssen zur Erhaltung des wirtschaftlichen Potentials neue Arbeitsplätze in kleinen und mittleren Unternehmen entstehen. Grundsätzlich verfügen solche kleinen Unternehmen über Flexibilität, Kundennähe und Innovationskraft und bieten, wenn sie sich mit neuen Technologien beschäftigen, große Wachstum-

schanen. Der deutsche Staat hat ein Programm aufgelegt, in dem er die Gründung solcher technologisch orientierter Unternehmen fördert.

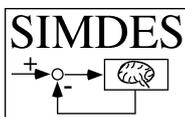
Der Grundgedanke ist, daß neue Technologien, Methoden und Produkte oft in Universitäten bei der Grundlagenforschung entstehen. Die Umsetzung neuer Ideen erfordert aber, wenn sie in Großunternehmen betrieben wird, lange Zeit. Wenn man den jungen und kreativen Leuten mit neuen technologischen Ideen Mut zu einer Existenzgründung macht, hat



man damit für die Wirtschaft insgesamt einen Vorteil an Innovationskraft und Stabilität gewonnen.

Seit etwa 12 Jahren werden daher in Niedersachsen und in anderen Ländern sogenannte Technologiezentren an Hochschulstandorten eingerichtet, in denen junge Unternehmer eine eigene Existenz gründen können.

Ganz konkret bedeutet dies, daß z.B. die Stadt ein Gebäude zur Verfügung stellt, in dem Jungunternehmer zu günstigen Bedingungen bezüglich Miete und Steuern für den Zeitraum von fünf Jahren Büros und Fertigungsstätten einrichten können. Ein solches Zentrum ist meist mit einem gemeinsamen Sekretariat bestückt, in dem Schriftverkehr, Verträge usw. geregelt werden können. Das Clausthaler Technologiezentrum trägt den Namen TECLA. Die Nähe zur Universität garantiert die



Simultaneous Development of Chemical Process, Process Engineering Machinery and Process Control Systems with Special Reference to Low Temperature Desulpharisation

Eckdaten:

- Environment Programme
- Förderung: 700.000 ECU
- Arbeitsumfang: 108 MM
- Dauer: 3 Jahre, endet 1997

Ziel:

- Kombination modernster Technologie zur Entwicklung einer ressourcensparenden Niedertemperaturentschwefelung

Erfolge:

- Entwicklung eines Entschwefelungsprozesses und der verfahrenstechnischen Maschinen
- Intelligente Steuerung des Prozesses mit neuronalen Netzen
- Erhebliche Reduzierung der Schwefeldioxidemission bei vermindertem Sorbeneinsatz

Partner:

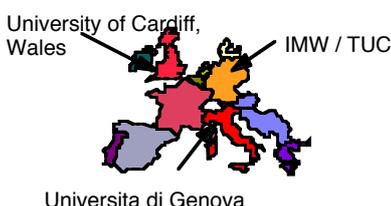


Bild 18: EURO-Projekt SIMDES

Unternehmenseintragungen im Handelsregister				
Niedersachsen	1993	1994	1995	1996
Neueintrag	5738	6949	7155	7433
Löschung	2745	2924	3204	3101
Saldo	2993	4025	3951	4332
Gesamt Deutschland	1993	1994	1995	1996
Neueintrag	105603	93389	89137	89347
Löschung	32942	33411	36504	42630
Saldo	72661	59978	52633	46717
Alte Bundesländer	1992	1994	1995	1996
Neueintrag	77579	72532	71768	73076
Löschung	32204	31896	33868	38129
Saldo	45375	40636	37900	34947

Bild 20: Unternehmenseintragungen im Handelsregister /4/

Fachberatung durch Professoren, die Technologiezentren in Niedersachsen werden beispielsweise von der Gemeinschaft des Kompetenznetzes betreut, von dem ich vorhin sprach. Von dieser Organisation werden auch Seminare veranstaltet, die die Jungunternehmer auf die betriebswirtschaftlichen Grundlagen in einem solchen Unternehmen, auf die Abfassung von Verträgen, auf den Umgang mit Patenten und andere rechtliche und wirtschaftliche Dinge vorbereiten, während die Bankinstitute besondere Kreditbedingungen für Existenzgründer bereitstellen.

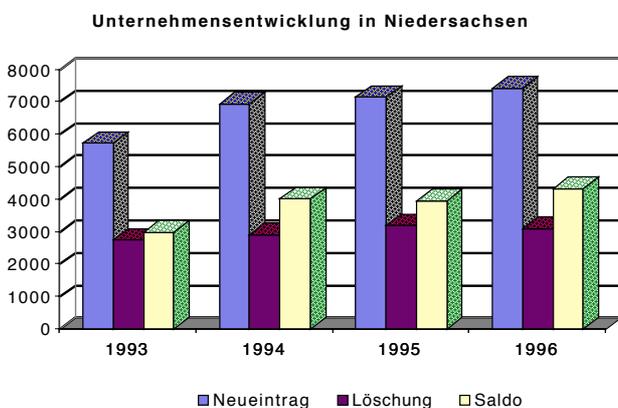


Bild 21: Entwicklung der Neugründungen in Niedersachsen

Zur Zeit gibt es in Niedersachsen 16 Technologiezentren mit etwa 300 Unternehmen. Die Insolvenzrate gerade bei diesen Unternehmen ist erstaunlich gering, was darauf schließen läßt, daß man mit neuen und technologisch orientierten Ideen Erfolg haben kann.

Bild 20 listet die Eintragungen in das Handelsregister der letzten vier Jahre auf und beweist, daß die Neueintragungen überwiegen. Speziell für Niedersachsen ist sogar festzustellen, daß die Unternehmensgründungen einen positiven Trend aufweisen

und die Differenz zwischen Neugründungen und Löschungen als wirtschaftliche Erfolgsgröße für diese Aktion gewertet werden kann (**Bild 21**).

6 Zusammenfassung

Anhand einiger Beispiele habe ich die in Deutschland hauptsächlich angewendeten Methoden zur Realisierung des Technologietransfers zwischen Universitäten und Wirtschaft geschildert. Eine solche Schilderung kann nur bruchstückhaft sein, da damit nur ein kleiner Ausschnitt aus der Fülle der Möglichkeiten gegeben ist und

vor allem die Auswirkungen auf die Gesellschaft, die damit verbundene Beeinflussung von Kultur und sozialem Leben noch nicht dargestellt wurde.

Ich glaube, daß sich trotz der wirtschaftlich unterschiedlichen Bedingungen der Länder einige Ideen auch in in Ländern mit aufstrebender Technologie verwirklichen lassen. Wir haben mittlerweile gelernt in Forschung, Entwicklung und Technologie europäisch zu denken, und haben gelernt, in der Wirtschaft weltweit zu denken.

7 Literatur

- /1/ Grabowski, H. und Geiger, K. (Hrsg.): Neue Wege zur Produktentwicklung. Raabe Fachverlag für Wissenschaftsinformation, 1997
- /2/ Dietz, P.: Concurrent Engineering - Folgen für die Ausbildung. Konstruktion 48 (1996) S. 5 - 11, Springer
- /3/ Berliner Kreis, Wissenschaftliches Forum für Produktentwicklung: Denkschrift zur Stärkung der Innovationskraft in der Produktentwicklung, Paderborn 1996
- /4/ Technologieorientierte Unternehmensgründung. Informationsschrift des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft, Technologie und Verkehr, 1997

Berechnung innenverzahnter Naben unter Fliehkraftbeanspruchung

Burgtorf, U.; Garzke, M.; Mupende, I.

Zahn- und Keilwellen-Verbindungen bilden einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt des Institut für Maschinenwesen. Vorrangig sind dabei Untersuchungen zum Trag- und Verschleißverhalten unter statischen und dynamischen Beanspruchungen zu nennen. Als Ergebnis der umfangreichen Arbeiten liegt u.a. ein Normentwurf /1/ zur Tragfähigkeitsberechnung dieser formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen vor. Im folgenden Artikel wird speziell auf die Berechnung fliehkraftbelasteter Zahn-naben eingegangen.

Splines with clearance fit are being studied at the Institute of Mechanical Engineering. The stress and wear behaviour under static and dynamic loads are a special research topic. Derived from the investigations, a calculation approach for splines has been developed by IMW. This article describes the calculation of spline hubs when under centrifugal load.

1 Einleitung

Innenverzahnte Naben formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen werden im allgemeinen einem komplexen Beanspruchungsmechanismus unterzogen, der sich aus den Teilbelastungen Torsion, Zahnbiegung, Biegung senkrecht zur Nabenachse, Druck und Schub zusammensetzt. Bei Axialkraft bzw. Relativverschiebung von Welle und Nabe (z.B. kupplungsseitige Getriebewelle) tritt zusätzlich axialer Zug bzw. Druck auf, bei schnelldrehenden Verbindungen (z.B. Lamellenkupplungen) ist der Einfluß der Fliehkraft zu beachten. Für den Festigkeitsnachweis wird die resultierende Nabenbeanspruchung im Kerbbereich aus den Teilbeanspruchungen zu einer Vergleichsspannung zusammengesetzt /1/.

Die Beanspruchungen im Kerbbereich der Nabe entstehen durch die aus der Drehmomentübertragung resultierende Flankennormalkraft F , die in eine Umfangskraft F_U und eine Radialkraft F_R zerlegt werden kann, **Bild 1**. Die Umfangskomponente erzeugt im Zahnfuß eine Schubbeanspruchung sowie durch die Zahnbiegung eine Zugbeanspruchung auf der Kraftangriffsseite. Der Berechnungsansatz ist dem eines kurz eingespannten Biegebal-

kens vergleichbar. Die Radialkomponente bewirkt eine Druck- und eine Tangentialspannung, der Berechnungsansatz beruht auf dem mechanischen Ersatzbild eines unter Innendruck stehenden dickwandigen Rohres /1,2/.

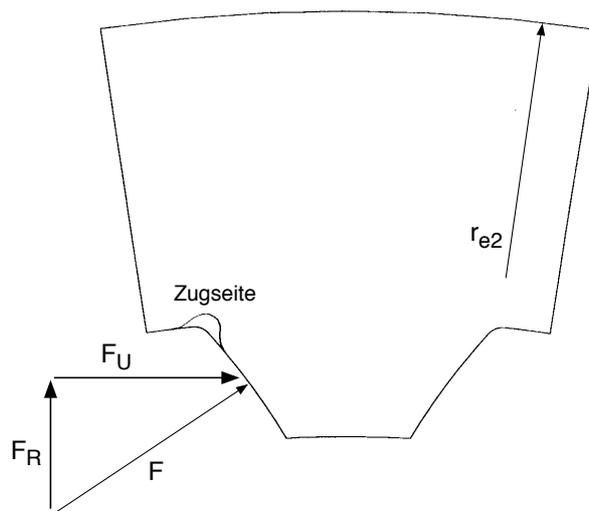


Bild 1: Schematische Darstellung der Flankenkräfte und der hochbeanspruchten Nabenzonen /1/

2 Mechanisches Ersatzmodell fliehkraftbeanspruchter Naben

Üblicherweise erfolgt der klassische Festigkeitsnachweis statisch beanspruchter Bauteile über die Berechnung von Nennspannungen. Zur quantitativen Beschreibung der elastischen Spannungsüberhöhung dient die als Quotient von Kerbgrundspannung σ_{\max} und Nennspannung σ_n definierte Formzahl α_k , Gleichung (2.1):

Gleichung (2.1):

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n} \quad \text{bzw.} \quad \alpha_k = \frac{\tau_{\max}}{\tau_n}$$

Die Formzahl α_k ist eine allein von der Beanspruchungsart und von der Geometrie, nicht jedoch vom Werkstoff abhängige Größe. Mit abnehmendem Kerbradius (erhöhte Kerbschärfe) vergrößert sich die Formzahl.

Die maximalen Fliehkraftspannungen im Zahnfußbereich der Nabe schnelldrehender Zahnwellen-Verbindungen können unter Berücksichtigung der geometrieabhängigen Formzahl über die Berechnungsgleichungen umlaufender Kreisringscheiben ermittelt werden, **Bilder 2 und 3**.

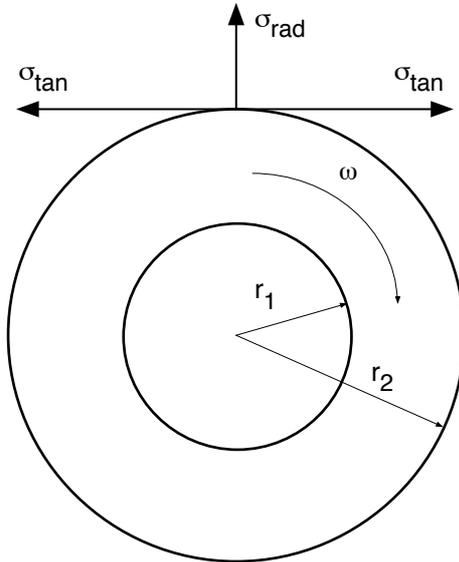


Bild 2: umlaufende Kreisringscheibe

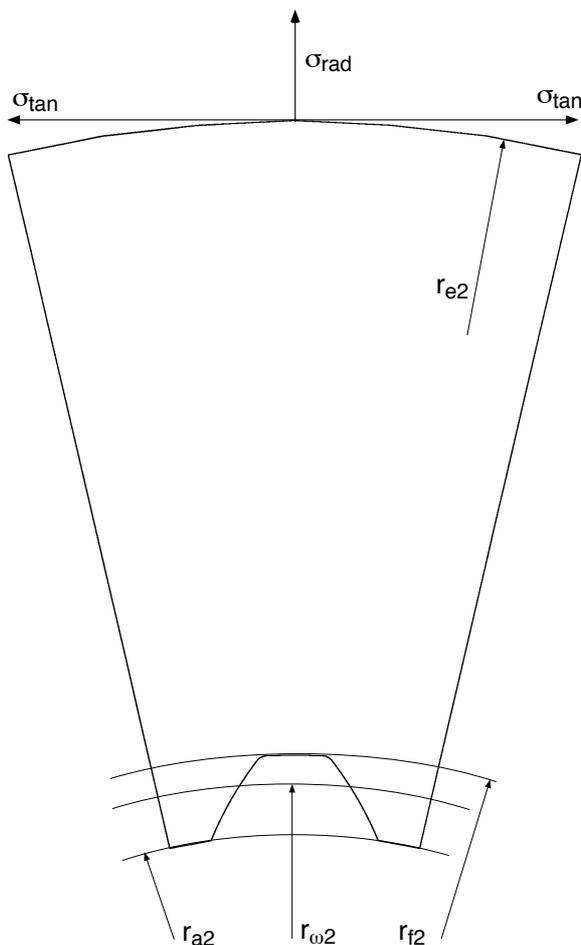


Bild 3: Zahnnahe unter Fliehkraftbeanspruchung

Grundgedanke bei der Berechnung der maximalen Fliehkraftspannung ist die Überführung der innenverzahnten Nabe in ein kreisringförmiges Ersatzmodell mit einem fiktiven Radius $r_{\omega 2}$ zwischen Kopfkreis (r_{a2}) und Fußkreis (r_{f2}), bei dem die Zahnnahe am Aussenradius r_{e2} die gleiche Aufweitung und Tangentialspannung infolge der Fliehkraftwirkung erfährt, wie die Kreisringscheibe mit r_1 und $r_2 = r_{e2}$ (Voraussetzung: gleicher Werkstoff, gleiche Drehzahl).

3 Berechnungsgleichungen

Entscheidend für die Berechnung fliehkraftbeanspruchter Zahnaben sind lediglich die Tangentialspannungen der Kreisringscheibe (Gleichung (3.1)), Radialspannungen (Gleichung (3.2)) treten an den lastfreien Oberflächen nicht auf [3/:

Gleichung (3.1):

$$\sigma_{\tan}(r) = 0,4125 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r_2^2 \left(1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} + \frac{r_1^2}{r^2} - 0,576 \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} \right)$$

Gleichung (3.2):

$$\sigma_{\text{rad}}(r = r_2 = r_{e2}) = 0$$

Die maximalen Tangentialspannungen treten am Innenradius der Kreisringscheibe auf [3/. Mit $r_2 = r_{e2}$ und $r_1 = r_{\omega 2}$ kann Gleichung (3.1) zur Berechnung der Nennspannung einer Zahnnahe überführt werden in Gleichung (3.3):

Gleichung (3.3):

$$\sigma_{\omega n 2}(r = r_{\omega 2}) = 0,825 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r_{e2}^2 \cdot \left(1 + 0,212 \cdot \frac{r_{\omega 2}^2}{r_{e2}^2} \right)$$

Die maximale Fliehkraftspannung einer Zahnnahe kann mit Gleichung (3.4) bestimmt werden:

Gleichung (3.4):

$$\sigma_{\omega \text{max} 2} = \alpha_{k\omega 2} \cdot \sigma_{\omega n 2}$$

Die Formzahl $\alpha_{k\omega 2}$ und der Durchmesser $d_{\omega 2}$ sind Größen, die von der Kerb- und Flankenengeometrie (z.B. Evolvente, Parallelfanke) abhängen und können leicht über die Methode der finiten Elemente (FEM) bestimmt werden. Eine experimentelle Ermittlung (z.B. DMS, Spannungsoptik) ist aufgrund der geringen Kerbgeometrien äußerst schwierig und erfordert einen unverhältnismäßig hohen Versuchsaufwand.

4 Geometrieabhängige Größen für Zahn-nabenprofile nach DIN 5480

Aus den umfangreichen FEM-Untersuchungen (**Bild 4**) ist am Institut für Maschinenwesen ein Berechnungsansatz zur Bestimmung der Formzahl $\alpha_{k\omega 2}$ für fliehkraftbeanspruchte Zahnnaben mit Flanken­geometrie nach DIN 5480 (Eingriffswinkel $\alpha=30^\circ$) ermittelt worden. Dabei wurden folgende Einflußparameter untersucht:

- Zähnezah­l z ($6 \leq z \leq 72$)
- Fußausrundungsverhältnis ρ/m ($0,16 \leq \rho/m \leq 0,3$)
- Profilverschiebungsfaktor x_2 ($-0,45 \leq x_2 \leq 0,05$)

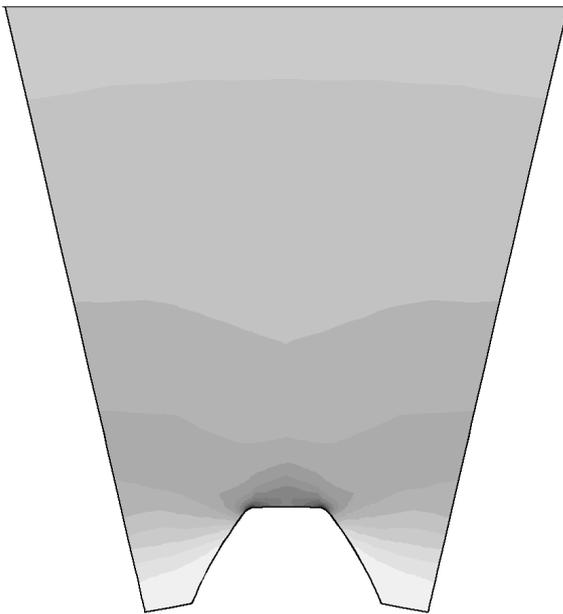


Bild 4: prinzipielle Spannungsverteilung $\sigma_{v,Mises}$ in einer fliehkraftbeanspruchten Zahnnabe DIN 5480 ($z=14$; $\alpha=30^\circ$)

Der Einfluß der die Nabengeometrie beschreibenden Parameter Zähnezah­l und Fußausrundungsverhältnis ist in **Bild 5** dargestellt, der Einfluß der Profilverschiebung kann in erster Näherung vernachlässigt werden. Die Formzahl $\alpha_{k\omega 2}$ nimmt mit zunehmender Zähnezah­l z ab, wobei der Gradient für kleine Zähnezah­len deutlich größer ist als für Verbindungen mit großer Zähnezah­l. Dies liegt u.a. daran, daß für Geometrien mit geringer Zähnezah­l beim Übergang der Nabengeometrie von "i" Zähne auf "i+1" Zähne eine stärkere Änderung der Zahnform auftritt als bei Verbindungen mit kleinem Modul /2,4/, **Bild 6**. Die generelle Tendenz des umgekehrt proportionalen Zusammenhangs zwischen $\alpha_{k\omega 2}$ und der Zähnezah­l z kann mit der Vorstellung erklärt werden, daß sich die Nabengeometrie für große Zähnezah­len der Form einer Kreisringscheibe nähert. Hilfreich ist in diesem Zusammenhang auch die Analogie­betrachtung der abgesetzten Zylinderwelle mit den Durchmessern d_1 und d_2 sowie dem Kerbradius r_k (**Bild 7**). Geht das Durchmesser­verhältnis d_1/d_2 gegen 1 (für $r_k=const.$), so reduziert sich die Kerbschärfe des Wellenabsatzes. Die bekannte Tatsache der spannungsmindernden Wirkung vergrößerter Zahnfußradien /1,2,4/ wird durch **Bild 5** belegt.

Zur Berechnung der Formzahl $\alpha_{k\omega 2}$ fliehkraftbeanspruchter Zahnnaben nach DIN 5480 ($\alpha=30^\circ$, $d_{e2}/d_B \geq 1,5$) kann Gleichung (3.5) verwendet werden, der Radius $r_{\omega 2}$ kann über Gleichung (3.6) abgeschätzt werden:

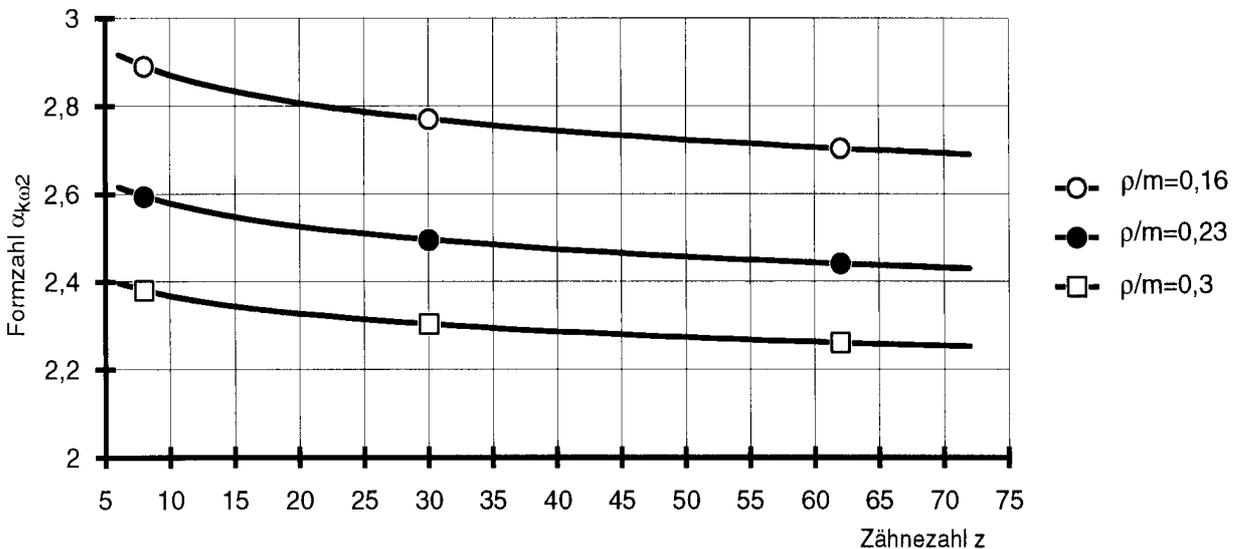


Bild 5: Formzahlen für fliehkraftbeanspruchte Zahnnaben DIN 5480 ($0,16 \leq \rho/m \leq 0,3$; $x_2=-0,45$; $\alpha=30^\circ$)

Gleichung (3.5):

$$\alpha_{k\omega 2} = (-9,64 \cdot \frac{p_2}{m} - 41,7) \cdot z^{(-0,0057 \cdot p_2/m + 0,003)} + 5,5 \cdot \frac{p_2}{m} + 45,45$$

Gleichung (3.6):

$$r_{\omega 2} \approx 0,53 \cdot (r_{a2} + r_{f2})$$

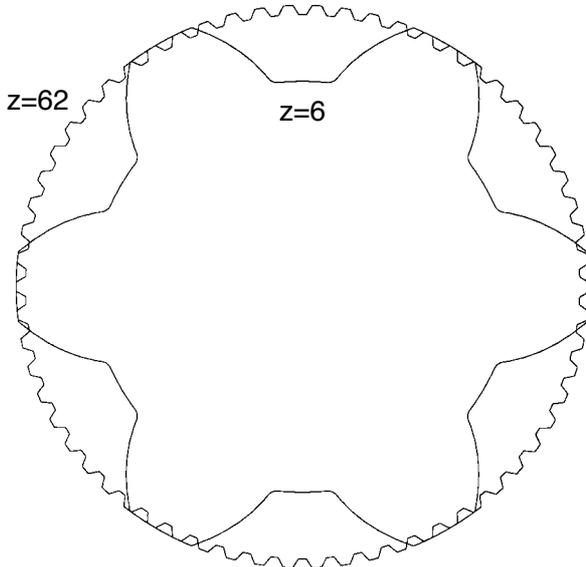


Bild 6: Vergleich der Querschnittsfläche für kleine und große Zähnezahlen bei gleichem d_B
/5/

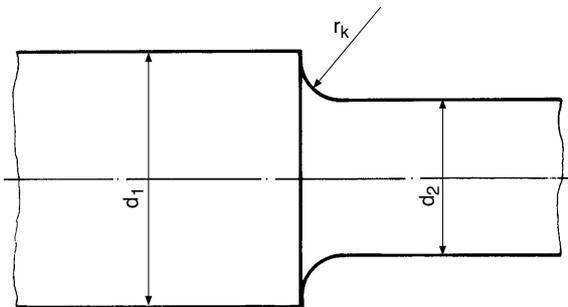


Bild 7: abgesetzte zylindrische Welle

Für Zahngeometrien, die von den hier beschriebenen Randbedingungen abweichen, z.B. anderer Eingriffswinkel oder von der Evolvente abweichende Flankenform, kann in erster Näherung die Formzahl $\alpha_{k\omega 2}$ abgeschätzt werden, Gleichung (3.7):

Gleichung (3.7):

$$\alpha_{k\omega 2} \approx 3$$

5 Literatur

- /1/ DIN 5466E: Tragfähigkeitsberechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen, Beuth-Verlag, Berlin 1996
- /2/ Wesolowski, K.: Dreidimensionale Beanspruchungszustände und Festigkeitsnachweis drehmomentbelasteter Zahnwellen-Verbindungen unter elastischer und teilplastischer Verformung. Dissertation TU Clausthal 1996
- /3/ DUBBEL - Taschenbuch für den Maschinenbau, 18. Auflage, Springer Verlag Berlin 1995
- /4/ Wesolowski, K.: Abschlußbericht zum DFG-Forschungsvorhaben Zahnwellenfestigkeit (Di 289/9-1), Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal Juli 1994
- /5/ Garzke, M.: Beanspruchungsverhalten von Zahnwellen-Verbindungen unter Drehmomentbelastung, Institutsmittellung Nr. 21 (1996), Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen 1996

Spielbehaftete Längsstift-Verbindungen - eine unterschätzte Welle-Nabe-Verbindung ?

Burgtorf, U.; Garzke, M.; Schäfer, G.

Die Längsstift-Verbindungen wurden als Welle-Nabe-Verbindungen ursprünglich nur zur Übertragung kleiner Drehmomente oder als Sicherungselement verwendet. Nach der Montage von Welle und Nabe wurde die Verbindungspartner mit einer Bohrung versehen, in die der Stift schließlich eingepreßt wurde. Zur Verwendung kam pro Verbindung in den meisten Fällen nur ein Stift mit relativ geringem Durchmesser.

In der jüngsten Vergangenheit wurden verstärkt Längsstift-Verbindungen als spielbehaftete Welle-Nabe-Verbindungen eingesetzt bzw. der Wunsch nach dem Einsatz derartiger Verbindungen geäußert. Die Gründe für die Verwendung liegen in der fertigungstechnisch günstigen Herstellbarkeit, die Ursachen für die Verhinderung des Einsatzes liegen in den unzureichenden Dimensionierungsgrundlagen.

Dieser Beitrag zeigt die Vorteile aber auch die Problematik auf, die sich mit der Verwendung von Längsstift-Verbindungen ergeben. Weiterhin zeigt er die Möglichkeit auf, im Rahmen eines Forschungsvorhabens die sichere Anwendbarkeit dieser Welle-Nabe-Verbindungen durch Entwicklung ausreichender Dimensionierungsgrundlagen zu ermöglichen.

Longitudinal pin connections have been originally planned for safety tasks and low torque transmission using a pin with small cross section. In the last time an intensified use of this machine element has been taken into consideration due to lightweight requirements (e.g. hollow shafts) and the easy way of manufacturing. On the other side there are no enlarged calculation approaches for longitudinal pin connections.

This article shows the advantages and describes the problem of using this machine element for torque transmission. An enlarged calculation approach and design rules can be derived from a research project.

1 Einleitung

Das Haupteinsatzgebiet von Längsstift-Verbindungen als Welle-Nabe-Verbindungen erstreckt sich hauptsächlich auf die Verbindung von Naben, He-

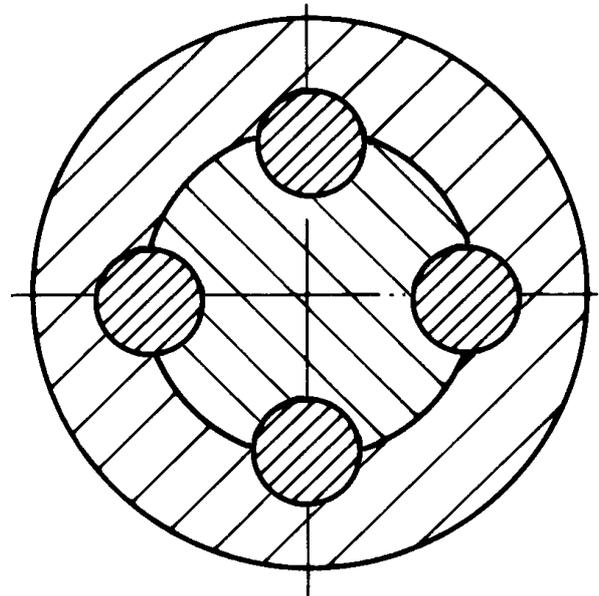


Bild 1: Längsstift-Verbindung mit 4 Stiften

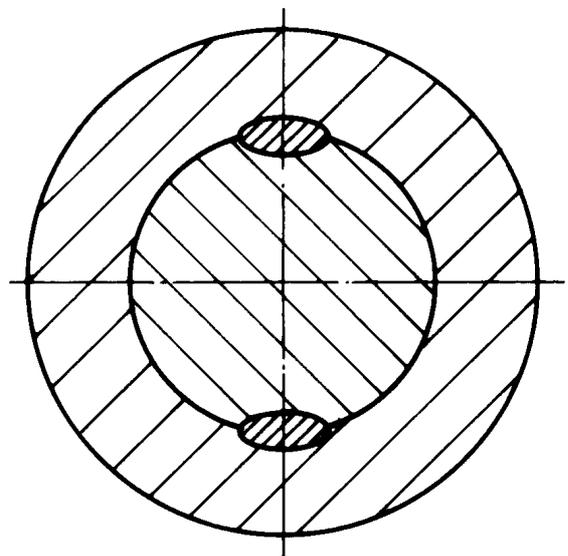


Bild 2: Längsstift-Verbindung mit elliptischen Stiften

beln oder Stellringen auf Wellen oder Achsen, zur Übertragung kleiner Drehmomente und zur Lagesicherung. Dazu werden Stifte mit kleinem Durchmesser verwendet, die mit Längs-Preßsitz und Übermaß in eine nach der Montage der beiden Verbindungspartner ausgeführte Bohrung eingeschlagen werden. Für die Verwendung von Zylinderstif-

ment eingesetzten Längsstift-Verbindung eine vielseitig verwendbare Welle-Nabe-Verbindung zur Übertragung von Drehmomenten. Die Nuten zur Aufnahme des Stiftes sind kostengünstig herstellbar, da die einfache Nutform z.B. eingewalzt (Kostensparnis bei hohen Stückzahlen) und der Längsstift aus Rundmaterial gefertigt werden kann. Die Erzeugung der Stiftbohrung muß nicht mehr nach der Montage erfolgen, die Größe der Verbindungselemente ist damit nicht mehr eingeschränkt.

Im Vergleich zu anderen Welle-Nabe-Verbindungen (Paßfeder, Zahnwelle, Kerbstift-Verbindung etc.) weist diese Verbindung aufgrund der radienförmigen Nut eine günstige Beanspruchungsgeometrie mit geringerer Kerbwirkung auf. Ein in /2/ enthaltener Konstruktionskatalog (**Tabelle 1**) stellt in Form des übertragbaren Drehmoments einen Vergleich zwischen formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen her und weist selbst gepreßte

Längsstift-Verbindungen mit einer hohen Übertragungsfähigkeit aus. In **Bild 3** ist die Beanspruchung (Vergleichsspannung nach Mises) in einer spielbehaftete Längsstift-Verbindung mit 4 Mitnehmern abgebildet. Der vergrößerte Ausschnitt zeigt den höchstbeanspruchten Mitnehmerbereich.

In **Bild 4** sind beispielhaft die Beanspruchungsverläufe in Wellen- und Nabennut einer dünnen (Nabenaußen-/innendurchmesser $Q_A = 1,25$) und dicken ($Q_A = 1,875$) Längsstift-Verbindung dargestellt.

Es zeigt sich, daß die Beanspruchungsverläufe in der Welle unabhängig vom Außendurchmesser sind. In der Nabe treten die höchsten Beanspruchungen an der belasteten Nutkante auf, sie liegen damit nicht – wie bei anderen Verbindungen – im Bereich der geringsten Restwandstärke sondern im Bereich der Verbindungsfuge und lassen sich durch Geometrieoptimierung noch reduzieren.

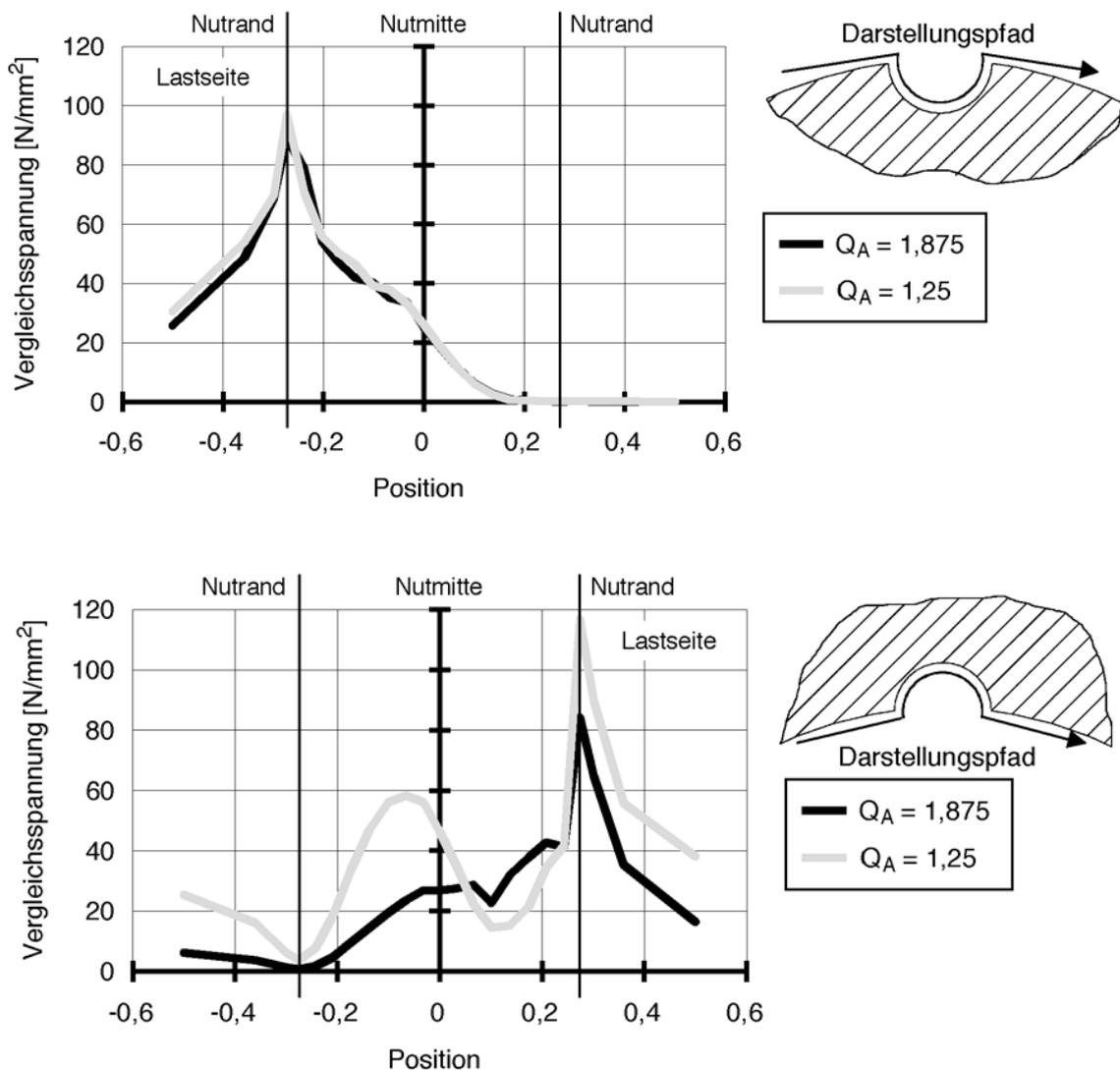


Bild 4: Beanspruchungsverläufe in der Wellen- und Nabennut einer Längsstift-Verbindung

Hinsichtlich der Steigerung der Übertragungsfähigkeit durch Verwendung von mehreren Mitnehmern ergibt sich eine gleichmäßige Lastverteilung aufgrund des aus der Mitnehmerform resultierenden abweichungstoleranten Verhalten – und damit eine erhöhte Ausnutzung durch Erhöhung des prozentualen Traganteils der Mitnehmer. Aufgrund von Fertigungsabweichungen ergibt sich statt einer flächigen Anlage zwischen Mitnehmer und Welle bzw. Nabe nur ein Linienkontakt. Dadurch resultiert eine geringe Steifigkeit für die Verbindung, so daß sich ein zunächst stärker belasteter Mitnehmer verformt (bzw. die Nuten der Verbindungselemente) und sich (bzw. die Nuten) der abweichungsbehafteten Geometrie anpaßt. Trotzdem bleibt eine günstige gleichmäßige Anlagefläche zwischen Mitnehmer und Welle/Nabe erhalten. Damit ist die Übertragung eines überhöhten Lastanteil möglich, bis weitere Mitnehmer wieder einen größeren Lastanteil aufnehmen und den verformten Mitnehmerbereich entlasten. Bei diesem Vorgang trägt die Mitnehmerform durch ihre geringe Kerbwirkung dazu bei, daß trotz eines erhöhten Traganteils kein Versagen – gleichbedeutend mit Abscheren des Stiftes oder Ausbrechen der Nutkanten – auftritt.

Die Anordnung mehrerer Mitnehmer über dem Umfang kann auch beliebig und unsymmetrisch verteilt sein (**Bild 5**), so daß hinsichtlich des Kraftflusses und der resultierenden Beanspruchungen die Mitnehmer günstig positioniert werden können.

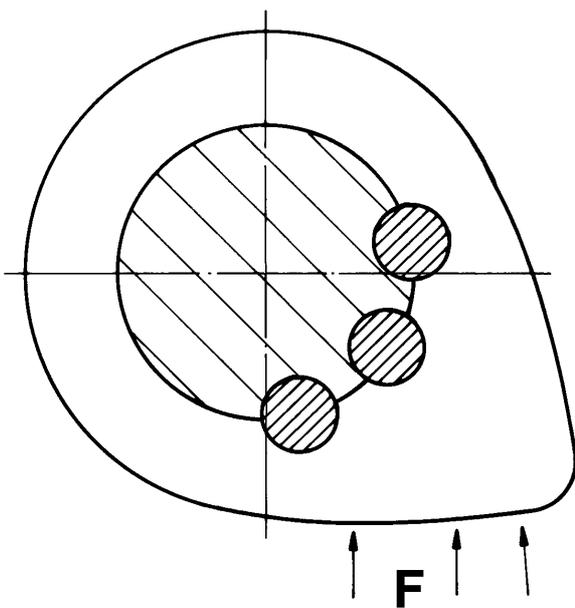


Bild 5: Kraftflussgerechte Anordnungsmöglichkeiten des Stiftes einer Längsstift-Verbindung

Bei den Beanspruchungen über der Verbindungslänge kann nicht von einem konstanten Tragverhalten gesprochen werden, somit ist über der Verbindungslänge durch fertigungstechnische Abweichungen bzw. Verformungen der Verbindungspartner mit einer variierenden Lastaufteilung zu rechnen.

Diese Art der Längsstift-Verbindung, die sich von der üblichen eingepreßten Längsstift-Verbindung durch spielbehaftete Mitnehmer mit großen Durchmesser abhebt, wird bereits in größerem Umfang bei Extruderwellen (**Bild 6**), Nockenwellen und Werkzeugmaschinen eingesetzt.

3 Problematik der Dimensionierung

Der Einsatz dieser Verbindungsart erfordert jedoch eine gesicherte und ausreichend genaue Beanspruchungsermittlung, die eine möglichst gute Ausnutzung der Verbindung ermöglicht. Bisher erfolgt die Auslegung nur auf Flächenpressung und Abscheren des Stiftes /2,6/. Dies setzt voraus, daß der Stift das schwächste Glied in der Verbindung ist – dies ist bei Verwendung eines dem Wellen- bzw. Nabenwerkstoffes von den Festigkeitskennwerten gleichwertigen Stiftmaterials zutreffend. Der Einsatz eines hochfesten, harten Stiftmaterials zur Erhöhung der Übertragungsfähigkeit der Verbindung kann dazu führen, daß die Welle oder die Nabe zum schwächsten Glied der Verbindung wird (z.B. bei einer Hohlwelle oder Nabe mit sehr dünner verbleibender Restwandstärke). Aufgrund fehlender Formfaktoren oder Kerbwirkungszahlen sind jedoch für Welle und Nabe keine Dimensionierungsgrundlagen vorhanden /2/.

In /3-5/ sind Untersuchungen und Berechnungsgrundlagen für Zylinder- und Kerbstifte dokumentiert. Da es sich hier sämtlich um eingepreßte Stifte handelt, beschränken sich die Untersuchungen auf die Höhe und Verteilung der Pressung über dem Stiftumfang.

Durch den Kraftfluß von der Welle über den Stift in die Nabe oder umgekehrt ist mit einem axialveränderlichen Tragverhalten des Stiftes über der Verbindungslänge zu rechnen, was bei der bisherigen Auslegung der Verbindung auf Flächenpressung allerdings unberücksichtigt bleibt.

Weitestgehend unbekannt ist bisher auch der Passungseinfluß auf das Tragverhalten. Der Einfluß der Toleranzen von Nut und Stift beeinträchtigt das Passungsverhalten und damit die Form (Punkt- oder Flächenkontakt) und Anzahl der Anlagestellen

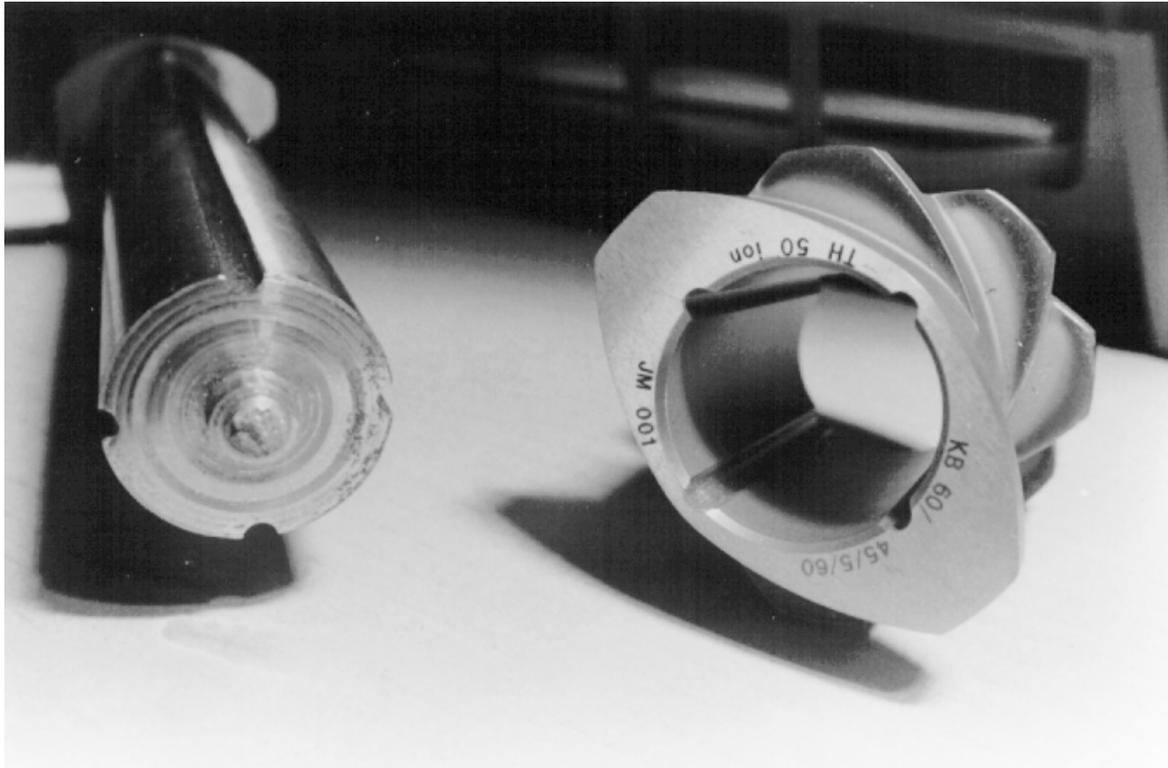


Bild 6: Anwendungsbeispiel für eine spielbehaftete Längsstift-Verbindung - Extruderwelle mit Knetelementen

zwischen Stift und Nuten. Aus Form- und Lagetoleranzen können durch unterschiedliches Anlageverhalten zwischen Stift und Nuten in einigen Teilbereichen hohe Beanspruchungen resultieren. Sie führen jedoch schnell zu plastischen Verformungen und damit wieder zu einer Angleichung der Lastverteilung, so daß sich ein insgesamt beanspruchungstolerantes Verhalten ergibt. Weiterhin sind für eine sichere Auslegung keine Dauerfestigkeitskennwerte vorhanden.

4 Forschungsbedarf

Zur Erschließung eines breiten Einsatzbereichs dieser kostengünstigen und fertigungstechnisch einfach herzustellenden Welle-Nabe-Verbindung ist die Aufstellung von sicheren Dimensionierungsgrundlagen und praktikablen Konstruktionsrichtlinien unumgänglich. Außer der Berücksichtigung unterschiedlicher Werkstoffkennwerte bei Verwendung verschiedener Materialien für Welle, Nabe und Stift muß die Dimensionierung die verschiedenen Belastungsarten (Drehmoment, Querkraft ...), die Nabengeometrie (unsymmetrische Naben: Nocken, Extruderknetelemente ...), Nabenaußendurchmesser (dünne Naben), die Wellengeometrie (Hohlwellen), die Fertigungsqualität, den Traganteil bei Verwendung von mehreren Stiften und das Tragverhalten über der Verbindungslänge berücksichtigen.

Hierzu sind grundlegende Untersuchungen zum Beanspruchungs-, Passungs- und Betriebsverhalten erforderlich.

Im Rahmen von Untersuchungen könnten Formfaktoren in Abhängigkeit von der Geometrie, der Mitnehmeranzahl, dem Durchmesser Verhältnis der Nuten zum Verbindungsfugen-Durchmesser und den Durchmesser Verhältnissen von Welle und Nabe bestimmt werden. Der Einfluß von Form- und Lageabweichungen auf das Tragverhalten und der Einfluß der Verbindungslänge auf die axiale Lastverteilung würden betrachtet. Dabei sollte sowohl eine elastische als auch teilplastische Auslegung der Verbindung berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen würden zu entsprechenden Berechnungsgrundlagen, zulässigen Festigkeitskennwerten und Konstruktionsrichtlinien führen und diese Verbindung auch für mittelständische Betriebe verfügbar machen.

Auf vorhandenen Institutsprüfständen könnten für verschiedene Belastungsarten am Beispiel einiger signifikanter Verbindungsformen Dauerfestigkeitskennwerte ermittelt und die Grundlage für eine dauerfeste Auslegung von spielbehafteten Längsstift-Verbindungen geschaffen werden.

5 Zusammenfassung

Die Weiterentwicklung von umformtechnischen Fertigungsverfahren sowie der Trend zur kostengünstigen Fertigung und zum Leichtbau haben den Wunsch nach Verwendung von spielbehafteten Längsstift-Verbindungen als Welle-Nabe-Verbindungen aufkommen lassen. Sie übertragen hohe Lasten, lassen sich günstig umformtechnisch in beliebigen Größen herstellen, sind einfach zu montieren und somit für die Serienfertigung geeignet. Eine fehlende Dimensionierungsgrundlage für diese Stiftverbindungen läßt sich im Rahmen eines Forschungsvorhabens entwickeln.

6 Literatur

- /1/ Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau. W. Beitz und K.-H. Küttner Springer-Verlag Berlin, 1995
- /2/ Kollmann, F. G.: Welle-Nabe-Verbindungen – Gestaltung, Auslegung, Auswahl. Springer Verlag Berlin, 1984
- /3/ Heide, W. v. d.: Untersuchungen an Kerbstiften und Kerbstiftverbindungen. Dissertation TU Hannover, 1969
- /4/ Schmitz, H.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Stift-Verbindungen. Konstruktion 12 (1960), Heft 1, S. 5-13, 83-85
- /5/ N.N.: Stifte und Stiftverbindungen. Merkblatt 451. Beratungsstelle für Stahlverwendung Düsseldorf, 1982
- /6/ Hinz, R.: Maschinenteile (Band Verbindungselemente, Achsen, Wellen, Lager, Kuppelungen). VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1989

Schweißen in der Luftfahrtindustrie

Grünendick, T.

Schweißverbindungen nehmen in der Luftfahrt zur Neuteilfertigung und Instandsetzung von Bauteilen eine feste Stellung als Verbindungselemente ein, und erfüllen in vielen Fällen die Anforderungen des Leichtbaus bei gleichzeitiger hoher Zuverlässigkeit. Der Artikel gibt einen Überblick über die in der Luftfahrtindustrie angewendeten Schweißverfahren.

Welding joints hold a safe position used as joining elements in the aviation for new component fabrication and for maintenance of components. In most cases they meet the demands regarding lightweight construction as well as for operational dependability. This article gives a general prospect of the most frequently used welding processes in the aviation industry.

1 Einleitung

Man muß in das 18. Jahrhundert zurückblicken, um die Anfänge des Schmelzschweißens zu finden. So geschah es dann auch eher zufällig, daß das Lichtbogenschweißen 1782 mit künstlicher Elektrizität und künstlichem Lichtbogen von Georg Christoph Lichtenberg angewendet wurde. Um 1839 gelang es dann dem Franzosen Desbassayns de

Wasserstoffflamme zu verbinden. Zum Schmelzen von Eisenwerkstoffen reichte diese Flammentemperatur jedoch nicht aus. Erst als Carl von Linde (1895) die Luftverflüssigung erfand, und damit Luft als Verbrennungsbeschleuniger durch Sauerstoff ersetzt werden konnte, wurde dies möglich. Zu diesem Zeitpunkt glaubte jedoch noch niemand daran, daß diese Entwicklungsanfänge zu einer Technologie führten, ohne die die Luftfahrt des 20. Jahrhunderts nicht möglich wäre.

Heute ist das Schweißen, das einen großen Entwicklungsschub durchlaufen hat, kaum mehr wegzudenken. Sein Vorteil liegt in der hohen Übertragungsfähigkeit der Kräfte und des geringen Raumbedarfs. Es ermöglicht somit das Erreichen der immer höher werdenden Forderungen nach Leistung und Betriebszuverlässigkeit. Auch für die Reparatur von Luftfahrzeugbauteilen ist das Schmelzschweißen sehr wirtschaftlich. Es hilft Ressourcen einzusparen und verschlissene Präzisionsteile zu rekonstruieren.

Einen Überblick über die Anwendung der Schmelzschweißverfahren erhält man durch **Bild 1**.

Luftfahrzeugzelle: Verbindungselemente, Cockpit, Reparatur von Rissen in der Außenhaut, usw.



Triebwerk: Verdichter- und Turbinengehäuse, Verdichter- und Turbinenläufer, Schaufeln, Brennkammer, Anbauteile, Abgasrohr, usw.

Bild 1: Anwendungen der Schmelzschweißverfahren, /6/
Richemont erstmals, zwei Bleche aus Blei mit einer

2 Schmelzschweißen

Um den verschiedensten Anforderungen, welche an die Schmelzschweißverfahren gestellt werden, gerecht zu werden, z. B. Verbinden spezieller dünnwandiger Werkstoffe (Titan, Molybdän) oder schwer zugänglicher Bauteile, benutzt man in der Luftfahrtindustrie speziell für die Anwendung ausgesuchte Verfahren. Die Wichtigsten und Bekanntesten sollen hier vorgestellt werden. Angewendet werden die Schmelzschweißverfahren manuell oder vollautomatisch zur Neuteilfertigung, Beseitigung von Produktionsfehlern und Instandsetzung von Bauteilen mit Beschädigungen oder Materialabtrag, die durch den betrieblichen Einsatz verursacht werden. Vereinzelt örtlich begrenzte Beschädigungen werden fast ausschließlich durch manuelles Schweißen beseitigt.

Zum manuellen Schweißen in der Neufertigung und Instandsetzung an Luft- und Raumfahrtgeräte sind nur Schweißer mit einer gültigen Schweißerprüfung nach DIN 29 591 zugelassen. Außerdem muß der Betrieb über eine ordnungsgemäße Ausstattung und eine vom Luftfahrtbundesamt oder Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung anerkannte Schweißaufsichtsperson (Schweißfachingenieur) verfügen.

2.1 WIG

Das Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) wurde in den 40er Jahren in den USA entwickelt und wird wegen seiner hohen Qualität bevorzugt in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt. Beim WIG-Schweißen brennt der Lichtbogen in einer Schutzgasatmosphäre zwischen einer nichtabschmelzenden Wolframelektrode und dem Werkstück. Der Lichtbogen schmilzt den Grundwerkstoff und gegebenenfalls den Zusatzwerkstoff auf. Dabei schützt die Schutzgasatmosphäre, bestehend aus einem inerten Gas wie Argon, Helium oder ihre Gemische die Wolframelektrode und das Schmelzbad vor den Einflüssen der umgebenden Atmosphäre. Metallurgische Veränderungen im Schmelzbad werden dadurch verhindert. Selbst Werkstoffe wie Titan, Tantal, Zirkon und Molybdänlegierungen können mit diesem Verfahren geschweißt werden.

Eine sehr definierte Beeinflussung der Form und Größe des Schmelzbades durch die getrennte Führung von Wärmequelle und Zusatzwerkstoff ermöglicht das Auftrags- und Verbindungsschweißen, insbesondere dünnwandiger Werkstücke.

Bei der Instandsetzung von Triebwerksbauteilen nutzt man diesen Vorteil aus. So werden z. B. an Triebwerksverkleidungen aus Titan, die als Verdichtergehäuse oder Strahlrohrgehäuse bis zu einer Temperatur von ca. 350°C je nach Ti-Legierung eingesetzt werden, Reparaturschweißungen durchgeführt. Als Beschädigungen treten kleine Einbeulungen oder Risse auf. Aber auch Modifikationen können dazu führen, daß Durchführungen durch diese Verkleidungen entfernt und durch Flickchen geschlossen werden müssen. Beim Flickenschweißen müssen die Flickchen vorgebeult werden (1-2% der Öffnungsbreite, **Bild 2**), damit die Schrumpfung im Bauteil ausgeglichen und die Beule in die Ebene gezogen wird, /1/. Die richtige Heft- und Schweißfolge unterstützt diesen Prozeß, **Bild 3**.

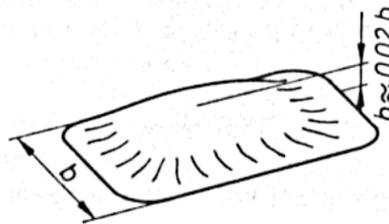


Bild 2: Vorgebeulter Flickchen, /1/

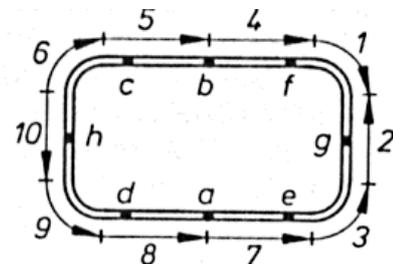


Bild 3: Heft- und Schweißfolge; Heftfolge a-h, Schweißfolge 1-10, /1/

Das oben genannte Strahlrohrgehäuse besteht aus einer α -Titanlegierung, die bei guter Formbarkeit, Schweißbarkeit und mit einem spezifischen Gewicht von ca. 4,7 g/cm³ (Stahl: 7,8 g/cm³) etwa gleiche Festigkeitswerte aufweist wie Stahl. Bei Temperaturen oberhalb etwa 300°C neigt dieser Werkstoff durch Aufnahme der atmosphärischen Gase, Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff zum Verspröden. Es kommt zur Ribbildung. Das Schweißen kann deshalb nur unter Schutzgasabschirmung oder Vakuum erfolgen. Als Schutzgasabschirmung wird eine Gasschlepe, d.h. eine zusätzliche Nachlaufdüse, oder ein Schutzgaszelt verwendet, **Bild 4**. Anschließend muß ein Entspannen des Titanwerkstoffes bei 400°C durchge-

führt werden. Zur Sicherung der Qualität ist entsprechend der Sicherheitsklassen eine Prüfung durchzuführen. Das Strahlrohrgehäuse gehört zur Sicherheitsklasse II und wird einer Rißkontrolle mit fluoreszierenden Eindringstoffen unterzogen.

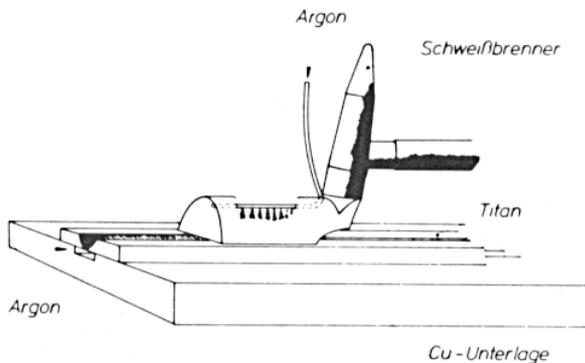
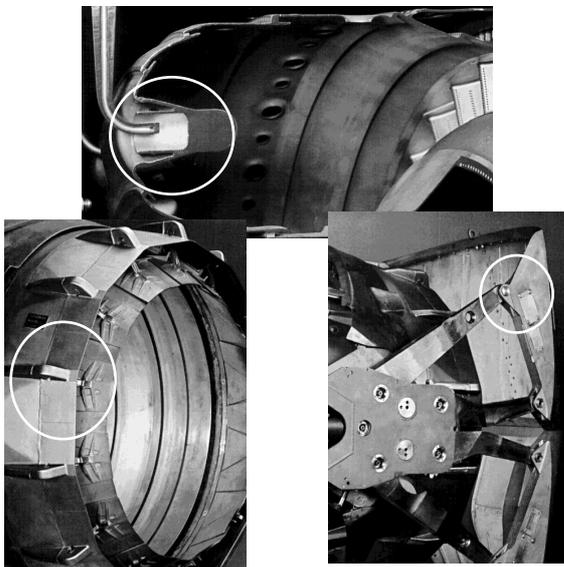


Bild 4: Nachlauf- oder Schleppdüse, /7/

Andere Anwendungen sind im gesamten Bereich des Flugzeugbaus und der Triebwerkstechnik zu finden. So werden defekte Turbinenleit- und Laufschaufelsegmente gewechselt, Risse geschweißt und schadhafte Unterbaugruppen ersetzt, **Bild 5**.

Einschweißen von Verdampfern
(Brennkammer)



Einschweißen von Segmenten
(Schubdüse)

Reparaturschweißen von Rissen
(Schubumkehrklappen)

Bild 5: Beispiele aus der Triebwerkstechnik, /6/

2.2 Laserstrahlschweißen

Als besonders wirtschaftlich haben sich in der Fertigungstechnik Kohlendioxid - Laser (CO₂-Laser) für die Großserienfertigung und Neodym - YAG - Laser

(Nd-YAG-Laser) zum Verschweißen von Feinblech erwiesen. Das Laserlicht wird über Glasfaser-Kabel zur Schweißstelle geleitet und sehr genau fokussiert. Der so auftreffende heiße Strahl bringt das Metall auf Verdampfungstemperatur. Es entsteht ein Metaldampfkanal im Schmelzbad, der ein tiefes Eindringen des Strahls ermöglicht und zur Ausbildung schmaler und tiefer Nähte führt (Tiefschweißeffekt). Zusätzlich bildet sich ein Oberflächenplasma, das einen Teil der Laserenergie absorbiert, aber durch reaktionsträge Edelgase (Argon oder Helium) klein gehalten werden kann, **Bild 6**. Durch die Bewegung des Strahls über die zu schweißende Naht werden die Stoßkanten ohne die Zugabe von Zusatzwerkstoff und unter atmosphärischen Bedingungen verbunden.

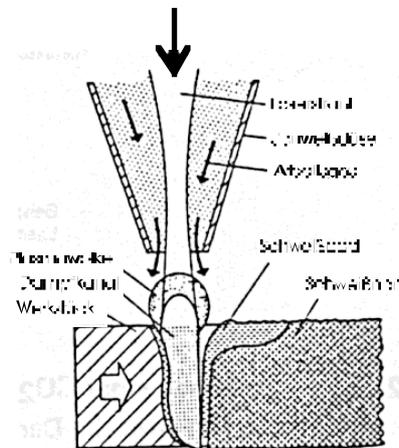


Bild 6: Verbinden mit dem Laserstrahl, /8/

Die wesentlichen Vorteile der Lasertechnologie sind:

- Geringere Rißgefahr durch Beibehaltung der Plastizität.
- Festigkeit der Schweißnaht in Höhe des ungeschweißten Grundwerkstoffes.
- Gegenüber anderen Schweißverfahren sehr geringer Verzug der Konstruktion.
- Ausbildung schmaler und tiefer Nähte sowie sehr geringe Wärmeeinflußzone.
- Gut automatisierbar.

Diese Vorteile nutzt die Luftfahrtindustrie, um kompliziert geformte Bauteile, bei denen es wichtig ist, daß sich das Material nicht verzieht, zu verbinden, /4/. Aber nicht nur zum Verbindungsschweißen wird die Lasertechnologie angewendet, sondern auch zum Auftragsschweißen. Hierzu ein Beispiel:

Turbinenleit- und Laufschaufeln gehören zu den thermisch, chemisch und dynamisch höchstbelasteten Bauteilen eines Triebwerks. Sie sind Tempe-

raturen bis zu 1400°C ausgesetzt. Deshalb werden diese Bauteile aus hochwarmfesten polykristallinen, aber auch einkristallinen Superlegierungen hergestellt und aufwendigen Bearbeitungen unterzogen (z.B. lasergebohrte Kühlluftleitungen). Trotzdem lassen sich Beschädigungen an der Schaufelprofilhinter- und -vorderkante sowie im Blattbereich nicht verhindern. Die Schadensursachen an Schaufeln reichen von Erosion, thermischer Ermüdung über Fremdkörpereinschläge bis hin zur Materialabnutzung durch Verschleiß.

Erlaubt die Beschädigung eine Wiederherstellung der Schaufel und kostet diese weniger als die Neuteilfertigung, wird eine Auftragsschweißung durchgeführt. Hierzu ist ein Wiederaufbau der abgenutzten Flächen nötig, z.B. des Blattbereiches. Wird ein CO₂-Laser hoher Leistungsklasse zum Regenerieren verwendet, lassen sich Beschichtungsraupen mit einer Breite von 1-10 mm und einer Höhe von 0,5-2 mm erzeugen. Der Einsatz von Nd-YAG-Lasern mittlerer Leistungsklassen ermöglicht eine Minimierung des Wärmeeintrags und hochpräzise Beschichtungen mit einer Schichtdicke von 0,1-0,5 mm. Damit lassen sich nicht nur die beschädigten polykristallinen Schaufeln in einen neuwertigen Zustand zurückversetzen, sondern auch Schaufeln aus modernstem Materialgefüge (gerichtete erstarrte Kristalle oder aus einem einzigen Kristall bestehende), **Bild 7**, /2/. Da der Laserantrag auf wenige Zehntelmillimeter genau erfolgen kann, ist nur eine geringe Nachbearbeitung nötig.

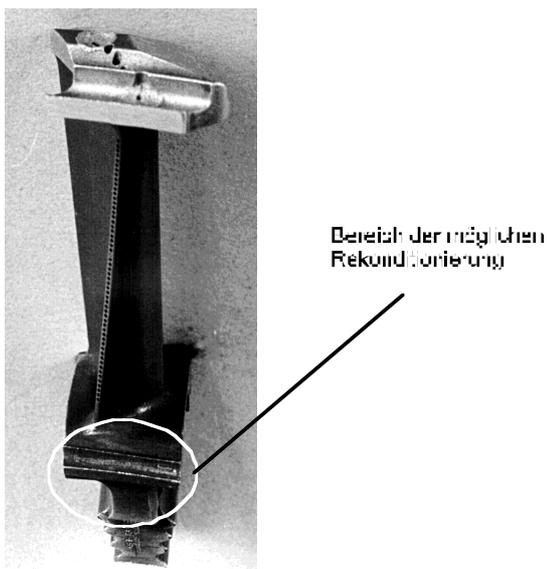


Bild 7: Turbinenschaufel mit Einkristallstruktur

2.3 Elektronenstrahlschweißen

Während beim Laserstrahlschweißen Werkstoffe mit einer Dicke bis ca. 10 mm industriell miteinander verbunden werden, können mit dem Elektronenstrahlschweißen Einschweißiefen bis zu 100 mm und tiefer erreicht werden. Ähnlich wie beim Laserstrahlschweißen tritt hier durch Entstehung eines Metaldampfkanals im Schmelzbad der Tiefschweißeffekt auf. Verursacht wird dies durch die hohe Leistungsdichte des zu einem Fokus von weit unter 1 mm Durchmesser gebündelten Elektronenstrahls. Die Elektronen werden beschleunigt und prallen auf das Werkstück, dabei wird die kinetische Energie zum größten Teil in Wärme umgewandelt. Der Elektronenbeschuss ist jedoch so intensiv, daß die Verdampfungstemperatur des Metalls erreicht wird und sich ein kleines Loch (Dampfkanal) bildet. Wandert der Elektronenstrahl zwischen zwei sich berührenden Stirnflächen, so bleibt eine schmale Naht zurück. Damit es nicht zur Ablenkung des Elektronenstrahles kommt und dies zu Fehlschweißungen führt, müssen alle magnetischen Teile der Vorrichtung und die Bauteile entmagnetisiert werden.

Die extrem hohe Leistungsdichte im Elektronenstrahl von ca. 10⁸ W/cm² schafft die Voraussetzung für eine extrem gezielte Wärmeeinbringung und damit für ein verzugsarmes Schweißen mit schmalen Schmelz- und Wärmeeinflußzonen. Dies wird zum Beispiel bei der Herstellung von fertig bearbeiteten Getrieberädern bzw. Antriebswellen, die ohne mechanische oder thermische Bearbeitung eine Rundlaufgenauigkeit von 2µm erreichen, ebenso ausgenutzt wie bei der Herstellung von Präzisionsteilen, **Bild 8**.

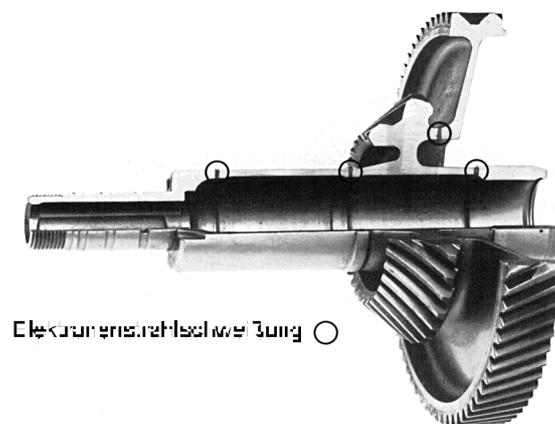


Bild 8: Elektronenstrahlschweißte Welle, /5/

Beim Elektronenstrahlschweißen von Verdichterro-toren, **Bild 9** zeigt einen Verdichterro-tor aus einer

Titanlegierung, werden weitere Vorteile dieses Verfahrens ausgenutzt.

So eignet sich das Elektronenstrahlschweißen zum Schweißen geometrisch schwieriger Werkstücke wie Hohlkörper, I-Profile oder von Werkstücken mit engen Spalten und schwer zugänglichen Schweißkanten. Der oft beim Elektronenstrahlschweißen als Nachteil betrachtete Zwang, im Vakuum zu schweißen, wird beim Verbinden gasempfindlicher Werkstoffe wie Titan, Tantal, Zirkon zum wichtigen Vorteil.



Bild 9: Verdichterrotor, /5/

Am IMW werden derzeit Dauerfestigkeitsversuche an elektronenstrahlgeschweißten Membrankupplungen durchgeführt, **Bild 10** und **Bild 11**. Diese statisch und dynamisch hoch beanspruchten Werkstücke wurden, ohne daß eine nennenswerte Beeinträchtigung der mechanischen Gütewerte vorliegt, geschweißt.

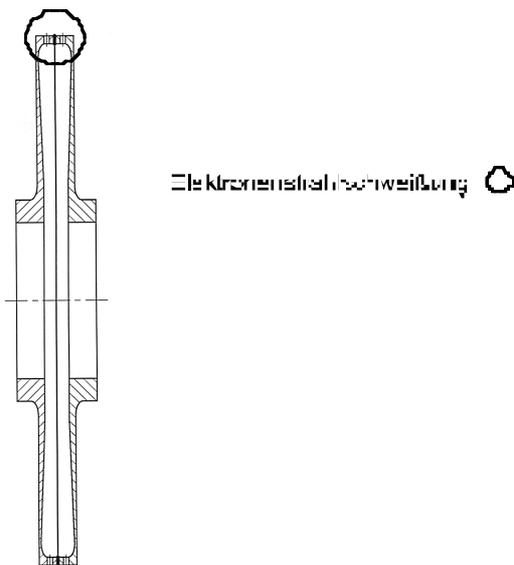


Bild 10: Membrankupplung

2.4 Mikroplasmenschweißen

Das Mikroplasmenschweißen gehört genauso wie das WIG- oder Plasmaschweißen zur Gruppe der Schutzgasschweißverfahren. Es wird zum Verbindungs- und Auftragsschweißen von komplizierten und dünnwandigen Bauteilen eingesetzt. Bei diesem Verfahren brennt ein Hilfslichtbogen zwischen der nichtabschmelzenden Wolframelektrode und der gekühlten Kupferdüse. Der Hilfslichtbogen wird vom Plasmagas (meist Argon) umströmt und durch die Düsenöffnung gedrückt. Der Hauptlichtbogen kann somit sicher und mit niedrigem Schweißstrom gezündet und auf das Werkstück übertragen werden. Die Einschnürung dieses Plasmalichtbogens gewährleistet eine hohe Leistungsdichte, die schmale Schweißnähte und geringe Wärmeeinflußzonen ermöglichen. Ein verzugsarmes Schweißen ist damit durchführbar.

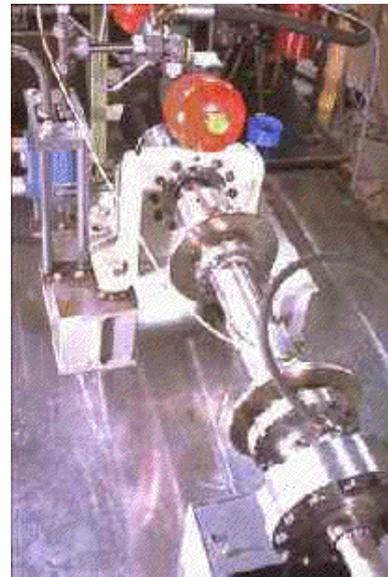


Bild 11: Membrankupplung in einem Torsionsschwingprüfstand

In der Luftfahrtindustrie wird das Mikroplasmenschweißen überwiegend vollautomatisiert mit einem Handhabungssystem, bestehend aus einem Drehtisch, einer Bewegungseinrichtung für den Schweißbrenner und einer Mikroplasmenschweißanlage durchgeführt. Damit können komplizierte Bauteile, wie z.B. Turbinenschaufeln, auftragsgeschweißt werden. Bei Turbinenschaufeln werden Labyrinthdichtstege und Schaufelkonturen, die im Betrieb verschleifen, wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzt. Dabei wird in mehreren auftragsgeschweißten Lagen die alte Kontur aufgebaut und anschließend durch eine Nachbearbeitung in die neuwertige Form gebracht.

Ein gutes Kosten/Leistungsverhältnis erreichen Mikroplasma-schweißanlagen bei der Wiederherstellung von rotationssymmetrischen Bauteilen, wie z.B. bei Labyrinthdichtungen der Turbinen- und Verdichterlauf-scheiben. Bestehen diese Bauteile aus Titan, Cr-Ni-Stählen oder Nickellegierungen, darf ein Formieren nicht vergessen werden, d.h. eine Schutzgasvorrichtung schützt das Bauteil vor den atmosphärischen Gasen. Es kommt ansonsten zur Versprödung bzw. Zunderbildung. Nach dem Auftragsschweißen und anschließender Nachbearbeitung werden die Labyrinthdichtstege mit einem thermischen Metallspritzverfahren beschichtet. Die Bauteile sind danach genauso hochwertig, wie sie es als Neuteil waren, **Bild 12**.

Eine weitere Besonderheit ist das Schweißen von Folien und extrem dünnen Blechen. **Tabelle 1** zeigt das Leistungsspektrum des Mikroplasma-schweißverfahrens /3/.

Verbindungsschweißen	
Stromstärke A	Mikroplasma-schweißen
0,1 ... 10	Folien 0,05 ... 0,2 mm
1 ... 20	Dünnblech 0,2 ... 0,5 mm
5 ... 40	Dünnblech 0,5 ... 1 mm

Tabelle 1: Arbeitsbereiche, /3/

Diese positiven Eigenschaften machen das Mikroplasma-schweißverfahren zu einem in der Luft- und Raumfahrttechnik beliebten Verfahren.

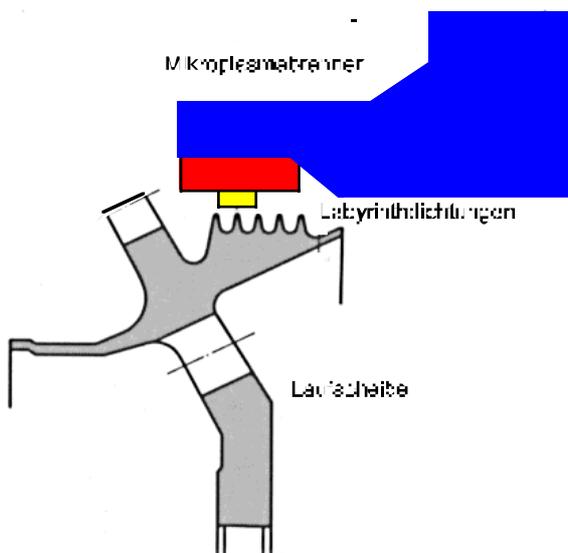


Bild 12: Mikroplasmaauftragsschweißen von Labyrinthdichtungen

3 Zusammenfassung

Hohe Betriebszuverlässigkeit und hoher Wirkungsgrad bedeuten oft hohen und kostenintensiven Fertigungsaufwand. Sie machen eine Rekonditionierung von Bauteilen lohnenswert.

In der Luftfahrtindustrie nutzt man deshalb die unterschiedlichen Einsatzspektren und Vorteile der oben genannten Schweißverfahren zielgerichtet aus. Damit gelang es unter anderem, auch Leichtbaukonzepte zu realisieren. Durch optimale Gestaltung, Reduzierung der Dichte (Ti, Al) oder Steigerung der Festigkeit (höherfeste Stähle) können in Zusammenhang mit diesen Schweißverfahren Baugruppen geschaffen werden, die den modernen ökologischen und ökonomischen Anforderungen entsprechen.

4 Literatur

- /1/ Instandsetzung durch Schmelzschweißen in der Luft- und Raumfahrt, DVS Merkblatt 2708
- /2/ Bieler, H.: Einkristalle reparieren, Sulzer Technical Review, 2/1997
- /3/ Aichele: Leistungskennwerte für Schweißen, DVS-Verlag, 1980
- /4/ Ehrhardt, A.: Flexibles Laserstrahlschweißen für den innovativen Leichtbau, DVS Berichte 186, 1997
- /5/ Elektronenstrahlschweißen, MTU, 1983
- /6/ Das Flugtriebwerk, MTU, 1993
- /7/ Stenke, V.: Formieren - unbedingt notwendig? Sonderdruck 14/93, Linde AG, 1993
- /8/ DVS-Lehrgang Schweißfachingenieur, SLV München, 1995

Was hat ein Strahltriebwerk mit einem Heissgaslüfter gemeinsam?

Grünendick, T., Klemp, E.

Um bei Luftfahrzeugtriebwerken ein Versagen durch Heißgaskorrosion und zu hohen thermischen Belastungen zu verhindern, werden thermische Schutzschichten zur Lösung dieses Problems aufgebracht. Diese Artikel stellt zunächst die Grundlagen der Wärmedämmschichten im Triebwerk dar und projiziert diese dann auf den Heißgasventilator. Ein Ausblick zeigt eine mögliche Anwendung der thermischen Schutzschichten als Welle-Nabe Verbindung.

In order to avoid breakdowns and failures in airplane-engines by hot-gas-corrosion and high temperatures, thermal sprayed protection layers were used to solve this problem. This article explains at the beginning the basics of function layers used in engines and applicatas this knowledge to the hot gas fan. At the end an outview is given in order to show a possible application for the thermal spraying of protection layers in the area of shaft-hub-connections.

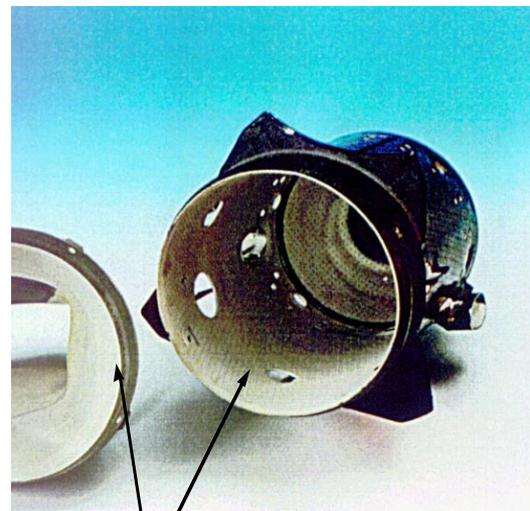
1 Das Strahltriebwerk

Strahltriebwerke finden ihre Anwendung in Luftfahrzeugen. Die Anforderungen, die dabei an ein solches Triebwerk gestellt werden, sind unter anderem die konstante Bereitstellung von hohen Leistungen und eine überdurchschnittlich hohe Zuverlässigkeit, insbesondere in Hinblick auf die Umweltproblematik haben die Anforderungen an einen niedrigeren Brennstoffverbrauch bei gleichzeitig höheren Verbrennungstemperaturen an Bedeutung gewonnen. Daß eine Verringerung des Gewichts zu einer Senkung des Kraftstoffverbrauches führt, ist besonders in der Luftfahrttechnik relevant. Bei Neukonstruktionen muß jede Komponenten hinsichtlich ihres Potentials zur Gewichtseinsparung untersucht werden.

In der Vergangenheit wurden neue Legierungen erprobt und mit Erfolg eingesetzt: Titan- oder neuzeitliche Superlegierungen. Sie bieten bei hohen Werkstoffanforderungen eine große Zuverlässigkeit und zusätzlich die Möglichkeit mit thermischen Spritzschichten, den besonderen Anforderungen an Hochwarmfestigkeit und Heißgas-Oxidationsbeständigkeit zu erfüllen. Daneben können durch Be-

schichtungen, hohe Betriebsstandzeiten erreicht werden. In **Bild 1** ist eine beschichtete Brennkammer zu sehen. Durch diese Beschichtungen wurden die Funktionsflächen der Brennkammern thermisch isoliert und vor Oxidation geschützt.

Hierzu verwendet man sogenannte thermische Barrierschichten (TBC), die aus einer oxidationsbeständigen Grundschicht und einer thermisch isolierten keramischen Deckschicht bestehen.



Funktionsflächen geschützt durch Wärmedämmschichten

Bild 1: Beschichtete Brennkammer

Auf den Grundwerkstoff der Brennkammer - meist eine Nickelbasislegierung wie NiM 75, IN 617 oder Hastelloy X - wird als Grundschicht zunächst eine Ni-Basis-Legierung aufgespritzt und dann ZrO_2 mit verschiedenen Stabilisatoren als Deckschicht. Als Teilstabilisator wird Yttriumoxid [Y_2O_3] (früher CaO, MgO) verwendet. $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$ (93/7) ist voll tetragonal stabilisiert und liefert unter $1400^\circ C$ die besten Ergebnisse. Um höhere Temperaturen zu erreichen, muß die Stabilisator-Verteilung und -Wirkung optimiert werden. ZrO_2 -Schichten sind Sauerstoffdurchlässig, daher wird eine oxidationsbeständige MCrAlY - Haftschrift aufgespritzt. Die Eigenschaften des Schichtsystemes müssen mit denen des Substrates abgestimmt sein, besondere Bedeutung findet dabei der Wärmeausdehnungskoeffizient, dieser liegt für ZrO_2 bei $10 \sum 10^6$ 1/K, für ferriti-

sche Stähle bei $12 \sum 10^6$ 1/K und für andere Keramiken bei ca. $4 \sum 10^6$ 1/K, /1/.

2 Der Heißgaslüfter

Heißgasventilatoren dienen im Industrieofenbereich und in der Verbrennungstechnik dazu, die Prozeßführung zu verbessern, die Produktqualität zu steigern, den Energieeinsatz zu optimieren und Schadstoffe durch gezielte Luftführung zu reduzieren. Das Interesse an solchen Ventilatoren für Gastemperaturen um 1300°C und mehr ist unvermindert groß.

Der Stand der Technik hat sich während der letzten Jahre in Hinblick auf den Einsatz keramischer Werkstoffe praktisch nicht geändert: Derzeit werden Gase bis etwa 800°C mit ungekühlten metallischen Ventilatoren gefördert; bei höheren Temperaturen werden Injektoren mit dem großen Nachteil des Einblasen kalter Treibluft in den Ofenprozeß verwendet. Durch diese Randbedingungen ist es für eine zuverlässige industrielle Anwendung zwingend erforderlich, neben den gesammelten Betriebserfahrungen, die Konstruktion anhand moderner Werkstoffe und neuer Fertigungsverfahren zu optimieren, mit dem Ziel, eine Anwendung bei höheren Temperaturen unter besonderer Berücksichtigung von Kosten und Dauerfestigkeit bzw. Betriebszuverlässigkeit zu erreichen. Um eine Anwendung bei Temperaturen über 1300°C zu ermöglichen, sind viele Detaillösungen an den besonders gefährdeten Stellen notwendig. Hierzu wurden am IMW eine spezielle Welle/Nabe-Verbindung entwickelt, die eine Befestigung eines keramischen Lüfterrades an einer Stahlwelle ermöglicht. Besonderen Einfluß hierbei haben die stark unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der beiden Werkstoffe. Speziell ist darauf zu achten, daß sowohl bei Raumtemperatur als auch bei 1300°C eine sichere und zuverlässige Befestigung gewährleistet ist.

3 Der Vergleich

Neben allen Parallelitäten wie zum Beispiel Luftmassenstrom, Abdichtung des Massenstroms, Verhinderung von Leckverlusten und Anwendung bei hohen Drehzahlen wird bei Heißgasventilatoren ein besonderes Augenmerk auf die Heißgaskorrosionsbeständigkeit und der thermischen Isolation gelegt. Sowohl Strahltriebwerke als auch Heißgasventilatoren benötigen Maßnahmen, um die Funktionsflächen vor der thermischen Überlastung und

Heißgaskorrosion zu schützen. Mit Einführung des thermischen Metallspritzens in die Luftfahrtindustrie in den 60er Jahren sind die Erfahrungen auf diesem Gebiet ständig gewachsen. Diese Entwicklungen haben bei den Strahltriebwerken zu einer hohen Zuverlässigkeit und hohen Funktionalität geführt, zwei erforderliche Eigenschaften, die auf den Heißgaslüfter ebenso zutreffen.

Durch die Ähnlichkeit der Problematik beim Strahltriebwerk hinsichtlich der Heißgaskorrosion und der thermischen Isolation kann eine Übertragung auf den Heißgaslüfter insbesondere bei der Welle/Nabe Verbindung durchgeführt werden. Damit werden die Forderungen nach immer höheren Temperaturen und Förderung von immer aggressiveren Medien erfüllt.

Um ein breiteres Anwendungsgebiet zu erreichen, bietet sich es sich an, die Erfahrungen aus der Luftfahrtindustrie zu nutzen. Dieser Transfer kann den Einsatz des Heißgaslüfters bei höheren Temperaturen gewährleisten, was letztlich auch zur Erlangung höherer Wirkungsgrade führt.

4 Der Ausblick

Die Domäne des thermischen Spritzens liegt nach wie vor im Bereich der Luftfahrtindustrie. Durch die bereits erlangte hohe Erfahrung in diesem Bereich erscheint die Nutzung in anderen Fertigungszweigen zum Erreichen eines technischen und wirtschaftlichen Vorteils, insbesondere im Bereich der erhöhten Standzeiten und damit verringerten Instandhaltungskosten als notwendig. Nicht zuletzt gingen bisher viele Produktinnovationen aus „high-tech“ Industrien hervor, zum Beispiel aus der Raumfahrtindustrie. Es ist zu erwarten, daß in Zukunft durch weitere Forschungen auf diesem Gebiet eine höhere Nachfrage nach thermischen Spritzschichten entsteht.

5 Literatur

- /1/ Adam, P.: Wärmedämmschichten in Luftfahrttriebwerken, MTU Focus, München, 1989
- /2/ Jakel, R.: Ein Beitrag zur Berechnung und konstruktiven Gestaltung keramischer Bauteile, Dissertation, 1996

Entwicklung und Fertigung eines Mountainbikerahmens in Blech

Penschke, St.; Heinen, F.; Griesbach, B.¹

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 362 "Fertigen in Feinblech" ist ein Gemeinschaftsprojekt mit der Universität Hannover unter Federführung der Technischen Universität Clausthal. Innerhalb des SFB kooperieren unterschiedliche ingenieurwissenschaftliche Bereiche wie Umformtechnik, Schweißtechnik, Werkstofftechnik, Konstruktionslehre und Betriebsorganisation in 14 Teilprojekten. Im SFB hat sich die Arbeitsgruppe "Logistikgerechte Integration technologischer und konstruktiver Aspekte der Feinblechbearbeitung" (kurz: KoLoTech) mit der Aufgabe gebildet, die Wechselwirkungen zwischen fertigungstechnischen, konstruktiven und logistischen Aspekten der Feinblechbearbeitung im Sinne eines "Simultaneous Research" zu untersuchen. Der Beitrag schildert die Entwicklung eines Fahrradrahmens für die Fertigung in Blech, der als Referenzteil für diese Untersuchungen dient.

The special research project 362 "Processing of Sheet Metal" is a joint effort with the University of Hanover under auspices of the Technical University of Clausthal. Within this project 14 subprojects out of different engineering areas co-operate: metal forming, welding, material engineering, designing and industrial administration. Further a workgroup was established "Logistic conform Integration of technological and design Aspects of Sheet Metal Processing" (KoLoTech). This group was set up with the task to examine the interactions between manufacturing, structural and logistic aspects of sheet metal processing in sense of "Simultaneous Research". The contribution describes the development of a bicycle frame for manufacturing in sheet metal which serves as a reference section for these studies.

1 Umfeld

Dank moderner Erzeugungsverfahren verbunden mit entsprechenden Möglichkeiten zur Einstellung definierter Werkstoffeigenschaften ist Feinblech ein außerordentlich hochwertiges Halbzeug /1/. Da sich auch die Fertigungsverfahren für die Weiterbe-

arbeitung von Blech ausgesprochen dynamisch entwickeln /2/, läßt sich angesichts der umfangreichen Verfügbarkeit des Halbzeugs eine hohe Qualitätssicherheit und Formflexibilität erzielen.

Zudem ist die sich allgemein verschärfende Wettbewerbssituation mit wachsenden Anforderungen an Preise, Lieferzeiten und Qualität der Produkte ein weiterer wesentlicher Begleitumstand der Blechteileentwicklung. Dies erfordert oft eine Reorganisation der Produktplanungs- und Realisierungsprozesse mit dem Ziel einer zeitlichen Verkürzung bei gleichzeitiger Produktoptimierung. Für die planenden Unternehmensbereiche sind dabei v. a. die Ansätze des Simultaneous bzw. Concurrent Engineering von Bedeutung. Die Philosophie des Simultaneous Engineering betont die Parallelisierung von vormals sequentiell ablaufenden Teilprozessen innerhalb der Produktentwicklung /3/.

Dieser Ansatz soll im Rahmen des SFB durch die Zusammenarbeit verschiedener Teilprojekte innerhalb der Arbeitsgruppe KoLoTech umgesetzt werden. Dazu arbeiten Fertigungsingenieure mit meß-, umform- und fügetechnischen Schwerpunkten mit Konstrukteuren und Logistikern zusammen. Ein wesentlicher Gegenstand der Zusammenarbeit ist die Offenlegung und gegenseitige Abstimmung der unterschiedlichen Sichten und Schwerpunkte der Arbeiten. Primäres Ziel der Arbeitsgruppe ist die wissenschaftliche Untersuchung einzelner Phasen der Produktentstehung an einem Referenzteil, wobei der Schwerpunkt auf logistischen und technologischen Aspekten liegen soll. Dazu soll ein Fahrradrahmen für die Fertigung in Blech entwickelt und hergestellt werden.

2 Konstruktion des Rahmens

Entsprechend den Zielstellungen der Arbeitsgruppe sollte ein funktionsfähiger Fahrradrahmen mit der Rahmengeometrie eines Mountainbikes entwickelt werden /4/. Das prinzipielle Vorgehen bei der Entwicklung orientierte sich an bekannten Konstruktionsmethodiken /5, 6/ und gliederte sich in

¹ Dipl.-Ing. Bernd Griesbach ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Universität Hannover

die wesentlichen Phasen Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten.

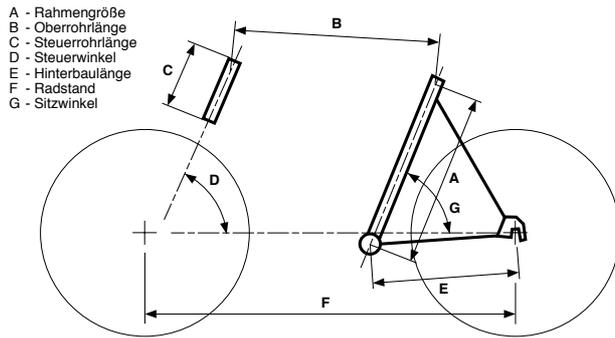


Bild 1: Hauptgeometrie des Rahmens

In der Planungsphase wurde versucht, die Anforderungen an das Bauteil bzw. die Baugruppe möglichst umfassend zusammenzutragen. Die einzelnen Anforderungen wurden in 14 Kategorien systematisiert:

1. Aufgabe (primäres Ziel der wissenschaftlichen Untersuchungen)
2. Geometrie/Gestalt (Richtwerte für die Hauptgeometrie nach **Bild 1**, Verwendung von Anbauteilen aus einem Standardrohersatz, Ausführung mit starrem Hinterbau und Option auf eine Anpassung der Konstruktion für einen schwingend gelagerten Hinterbau)
3. Kräfte/Auslegung (Berücksichtigung experimentell ermittelter Betriebslasten nach **7/ Bild 2**, einfache statische Dimensionierung und FEM-Berechnungen für Festigkeitsnachweis)
4. Sicherheit (Minimierung des Verletzungsrisikos im normalen Gebrauch und bei Stürzen)
5. Ergonomie (Übernahme der Hauptgeometrie von einem bewährten Markenrahmen zur Sicherung ergonomischer Kriterien)
6. Fertigung (Festlegung der wesentlichen Eigenschaften bezüglich zu verwendender Werkstoffe, Herstellung der Ausgangsplatten, der Umformung, des Beschneidens und Fügens der umgeformten Einzelteile)
7. Kontrolle/Qualitätssicherung (Sichtprüfung nach allen Fertigungsschritten, Vermessen der Ziehteile und des montierten Rahmens auf Koordinatenmeßtechnik, Durchführung von Betriebsfestigkeitsuntersuchungen am montierten Rahmen mit zwei bis drei wesentlichen Belastungskomponenten, zerstörungsfreie Prüfung – Wirbelstromverfahren, Mikromagnetik – nach ausgewählten Fertigungsschritten)
8. Montage (Montage der Einzelteile zum Rahmen sowie Montage des gesamten Rades)

9. Gebrauch (Erfüllung 'gängiger' Gebrauchsanforderungen, Gewicht des gesamten Rades sollte kleiner als 12 kg sein, Nachrüstmöglichkeiten für Steckbleche, Gepäckträger, Flaschenhalter u. a. Zubehör)
10. Instandhaltung (gute Zugänglichkeit der Funktions- und Bedienelemente sowie der Verschleißteile)
11. Recycling (gute Demontierbarkeit und 'sortenreine' Trennung ermöglichen)
12. Kosten (Planung der Kosten und 'Finanzierungsmodelle' für Material, Zukaufteile, Eigen- und Fremdfertigungsanteile)
13. Stückzahlen (Planung der Stückzahlen für einzelne Ziehteile, Komplettrahmen und -räder)
14. Termine (grobe Terminierung der Entwicklungs- und Fertigungsschritte, laufende Aktualisierung)

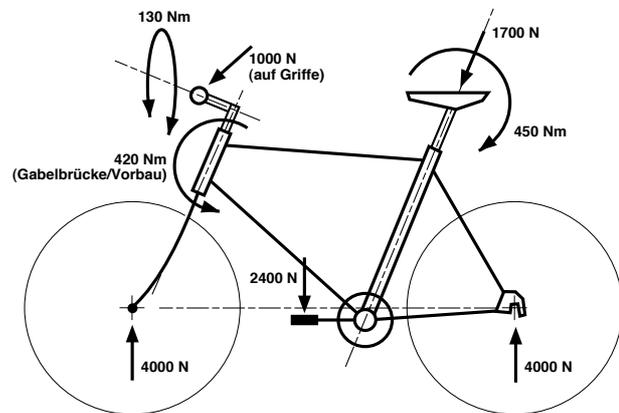


Bild 2: Belastungssituation am Mountainbike

In der folgenden Konzeptphase wurden zunächst fünf Designvorschläge erstellt (mittels CAD-System Pro/EIGNEN) und in der Arbeitsgruppe aus Sicht der einzelnen Ingenieurdisziplinen kritisch diskutiert. **Bild 3** zeigt zwei dieser Vorschläge. Für das weitere Entwerfen wurden v. a. aus fertigungstechnischen Gründen folgende Einschränkungen getroffen:

- auf einen Durchbruch in Rahmenmitte sollte verzichtet werden,
- große Rahmenflächen sollten aufgrund der Beulgefahr mit Sicken versehen werden,
- die Außenradien sollten größer bzw. so groß wie möglich (volle Verrundung) gewählt werden,
- die Rahmenkonstruktion sollte sowohl die Ausführung mit starrem Hinterbau, als auch mit gefederter Hinterradschwinge zulassen und
- bei den weiteren Entwürfen sollten gestalterische bzw. ästhetische Gesichtspunkte verstärkt berücksichtigt werden.

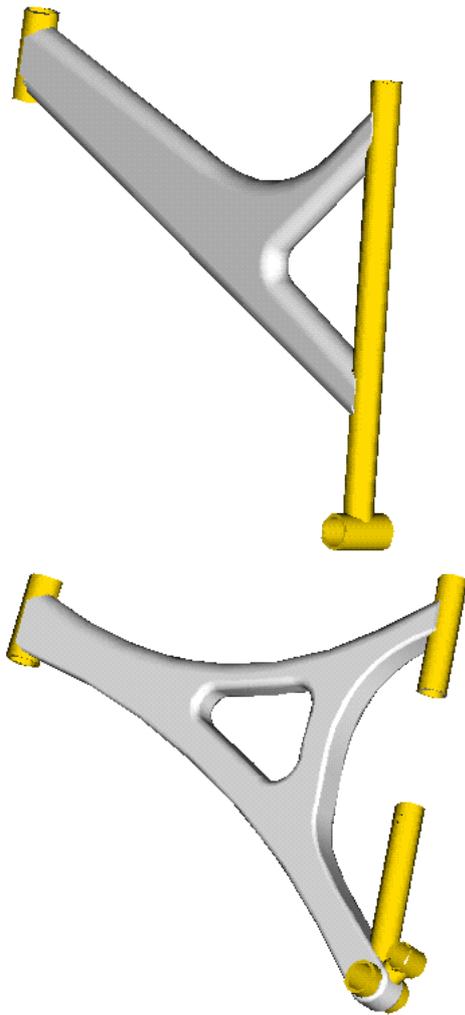


Bild 3: Vorschläge für die Rahmengestaltung

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden drei grundsätzliche Rahmenvarianten für eine weitere Ausarbeitung entworfen (**Bild 4**). Für diese Entwürfe wurde zunächst eine Rahmenberechnung im Sinne einer groben Vordimensionierung durchgeführt. Da sich aufgrund der Belastungssituation am Rahmen (**Bild 2**) die Kraftübertragung vom Steuerrohr auf den Grundrahmen als die kritischste Stelle erwies, wurden die hier zu erwartenden maximalen Beanspruchungen zunächst 'von Hand' ermittelt und die mindestens erforderlichen Widerstandsmomente abgeschätzt. Diese Überschlagswerte wurden bei der weiteren Gestaltung des Rahmenquerschnitts entsprechend berücksichtigt.

Für die drei Entwürfe wurde zur Auswahl einer weiter auszuarbeitenden Lösung in der Arbeitsgruppe eine technisch-wirtschaftliche Bewertung entsprechend /8/ durchgeführt.

Für die Bewertung in Bezug auf die Erfüllung der gestellten Anforderungen wurden 18 Kriterien herangezogen:

1. Erfüllung der Aufgabenstellung, Funktionsfähigkeit,
2. Festigkeit des Grundrahmens,
3. Sicherheit,
4. Ergonomie,
5. Fertigung – Verwendbarkeit der im SFB untersuchten Werkstoffe, Einsatzmöglichkeiten für tailored blanks,
6. Fertigung – Platinenherstellung,
7. Fertigung – Umformung der Halbschalen,
8. Fertigung – Fertig- bzw. Beschneiden der umgeformten Halbschalen,
9. Fertigung – Fügen der Halbschalen zum Grundrahmen,
10. Fertigung – Beschichten des Rahmens,
11. Kontrolle/Qualitätssicherung,
12. Montage – Einzelteile zum Rahmen,
13. Montage – gesamtes Fahrrad,
14. Gebrauch – Rahmengewicht,
15. Gebrauch – Funktionalität,
16. Instandhaltung,
17. Recycling und
18. Design/Optik.

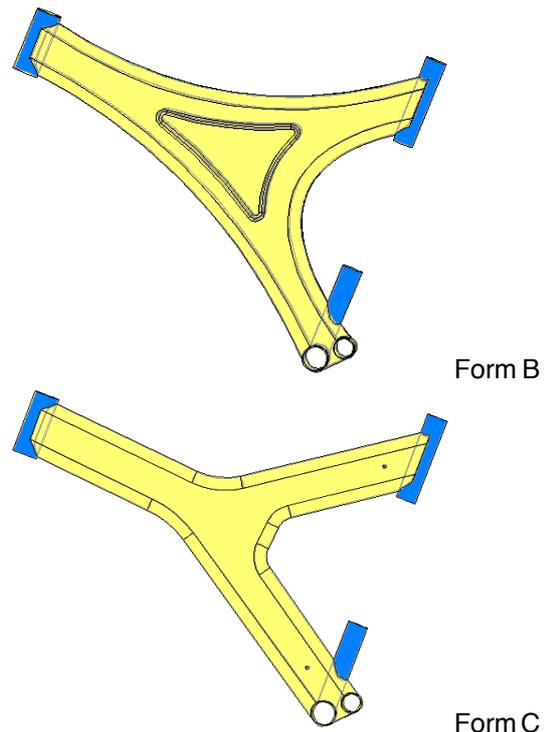


Bild 4: Entwürfe verschiedener Bauformen

Bild 5 zeigt das Ergebnis der Bewertung. Entsprechend dem Bewertungsergebnis wurde die Bauform C für die Ausarbeitung ausgewählt. In der Ausarbeitungsphase wurde die gewählte Lösung durchkonstruiert (**Bild 6**), die erforderlichen Zeichnungen erstellt und die CAD-Daten an die Werkzeugkonstruktion übergeben.

(i)	Bewertungskriterium	(g_i)	Wertung (w_{ij}) für Lösungsvariante (j)		
			A	B	C
1	Aufgabenstellung/Funktionsfähigkeit	0,80	3	3	3
2	Festigkeit des Grundrahmens	0,80	2	4	3
18	Design/Optik	1,00	2	3	4
19					
20					
Summe der Bewertung (G_{w_i})			33,3	34,5	39,2
technische Wertigkeit (W_{Wt})			0,68	0,70	0,80
relative Kosten für Eigenfert. ca. % (H)			90,00	100,00	90,00
wirtschaftliche Wertigkeit (W_{Wf})			0,80	0,72	0,80

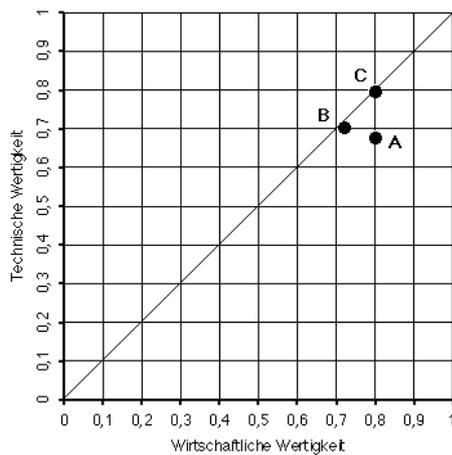


Bild 5: Technisch-wirtschaftliche Bewertung

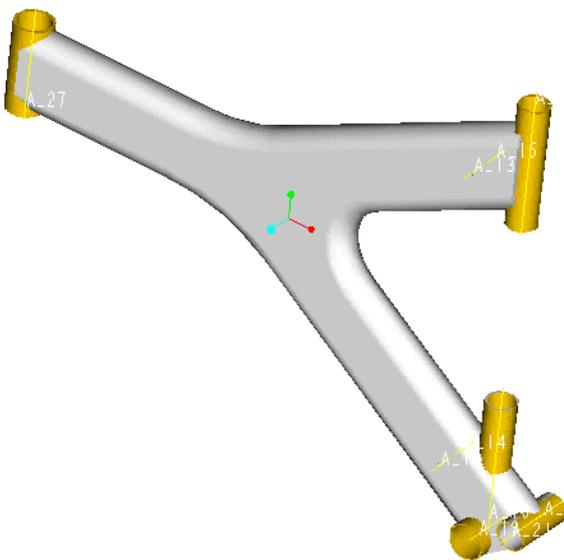


Bild 6: Fertig konstruierter Mountainbike-Rahmen

Zudem wurden zur Abschätzung der Rahmenfestigkeit FEM-Analysen (mittels Pro/MECHANICA) durchgeführt. Die Berechnung der Bauteilspannung erfolgte für verschiedene Belastungskombinationen (1 - nur Biegebelastungen, 2 - nur Torsionsbelastungen, 3 - beide Belastungen bzw. alle maximalen Betriebslasten) und Blechdicken (a - 0,8 mm, b - 1,0 mm). **Bild 7** zeigt ein Ergebnis dieser Analysen (Variante 3a). Zu erkennen ist, daß die höchsten Bauteilspannungen im Holm zum Tretla-

gerrohr auftreten. Dabei werden die zulässigen Spannungen für St 15 und ZStE 340 bei der Belastungsvariante 3 z. T. weit überschritten. Da die maximalen Betriebslasten entsprechend /7/ ausnahmslos aus 'Sonderereignissen' (z. B. Bordsteinüberfahrt mit hoher Geschwindigkeit, Landung nach Sprung) resultieren, ist davon auszugehen, daß in der Realität nie alle Ereignisse gleichzeitig eintreten. Somit werden auch die berechneten theoretischen Maximalspannungen in der Praxis nicht auftreten. Dennoch empfiehlt es sich, für die Holmbereiche am Tretlager- und Steuerrohr den festeren Werkstoff ZStE 340 zu verwenden (tailored blanks – Tiefziehplatinen, die aus unterschiedlichen Blechwerkstoffen und/oder Blechdicken gefertigt und dann als geschweißte Platine tiefgezogen werden).

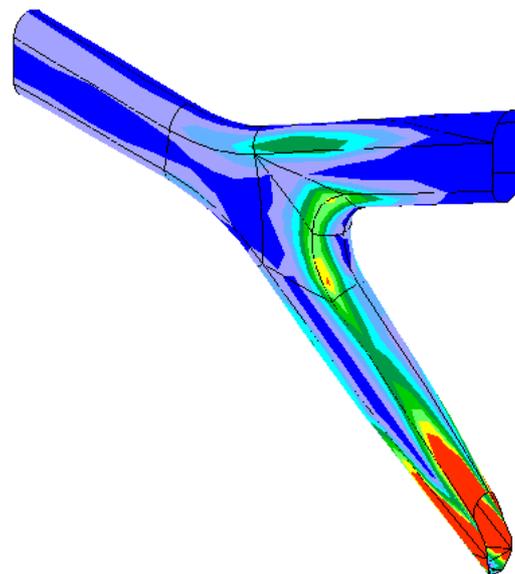


Bild 7: Analyse der Rahmenbeanspruchung

3 Werkzeugkonstruktion

Die Konstruktion des Tiefziehwerkzeugs der beiden Fahrradrahmenhalbschalen stellte eine besondere Herausforderung innerhalb der Arbeitsgruppe dar. So lag wegen des beschränkten Etats des SFB eine Hauptrestriktion darin, das Werkzeug möglichst kostengünstig herstellbar zu gestalten. Hierzu war es notwendig festzustellen, welche Bearbeitungsmaschinen in den einzelnen in der Arbeitsgruppe mitarbeitenden Instituten zur Verfügung stehen. Auf Basis dieser Erhebung konnte entschieden werden, welche Werkzeugteile als Auftragsarbeit an Dritte vergeben werden mußten und welche Arbeiten in Instituten erledigt werden konnten. Diese Daten waren im weiteren Verlauf zur Ab-

schätzung des Kostenrahmens von entscheidender Bedeutung für die Werkzeugkonstruktion.

3.1 Werkzeugaufbau

Das Werkzeug wurde am IFUM (ebenfalls mittels Pro/ENGINEER) konstruiert. **Bild 8** zeigt das Werkzeug aus unterschiedlichen Perspektiven. Man erkennt im oberen Teil die Aufspannplatte mit den Abstandssäulen, der Abdeckplatte und der Matrizengrundplatte, in welcher sich die vierfach segmentierte Matrize befindet; im unteren Teil des Werkzeugs sieht man die Niederhaltergrundplatte mit dem vierfach segmentierten Niederhalter, die Stempelgrundplatte, worauf sich die Stempelunterlegplatte, die Kraftmeßplatte mit den Kraftmeßdosen, die Unterlegbleche und der vierfach segmentierte Stempel befinden. Außen erkennt man die vier Führungssäulen.

Zu Untersuchungszwecken wurde die Konstruktion so ausgeführt, daß während des Tiefziehvorgangs mittels der eingebrachten Kraftmeßdosen die auftretenden Kräfte gemessen und protokolliert werden können.

Die Segmentierung des Stempels (formgebender Teil), des Niederhalters und der Matrize wurden aus mehreren Gründen gewählt. In keinem Institut stand eine vom Bearbeitungsraum ausreichend große Maschine zur Verfügung, die die Bearbeitung die-

ser drei Teile als Ganzes ermöglicht hätte. Durch Auftragsarbeiten wären zusätzliche Kosten verursacht worden, die vermieden werden mußten.

Da zu einem Fahrradhauptrohrrahmen zwei Halbschalen aus Blech gehören, wären dementsprechend auch zwei Tiefziehwerkzeuge notwendig gewesen. In einem segmentierten Werkzeug können die einzelnen Segmente des Stempels, des Niederhalters und der Matrize bis auf das mittlere 'Y'-Segment für beide Halbschalen Verwendung finden.

Es ist geplant, die einzelnen Halbschalen nicht nur aus konventionellen Platinen herzustellen, sondern auch tailored blanks zu verwenden. Das Tiefziehen solcher Spezialbleche erfordert eine besondere Vorbereitung des Werkzeugs, da die Schweißnähte im Stempel eingearbeitete Ausläufe benötigen. Die Einarbeitung dieser Schweißnahtausläufe gestaltet sich bei segmentierten Werkzeugen deutlich einfacher.

3.2 Herstellung des Werkzeugs

Auf Basis dieser Konstruktion wurde in der Arbeitsgruppe der Bedarf für spanabhebende Werkzeuge ermittelt. Hierbei wurden aus Kostengründen verschiedene Alternativen durchgerechnet.

Für die im Tiefziehwerkzeug dem Verschleiß ausgesetzten Teile wurden die Werkstoffe 1.0570 (St

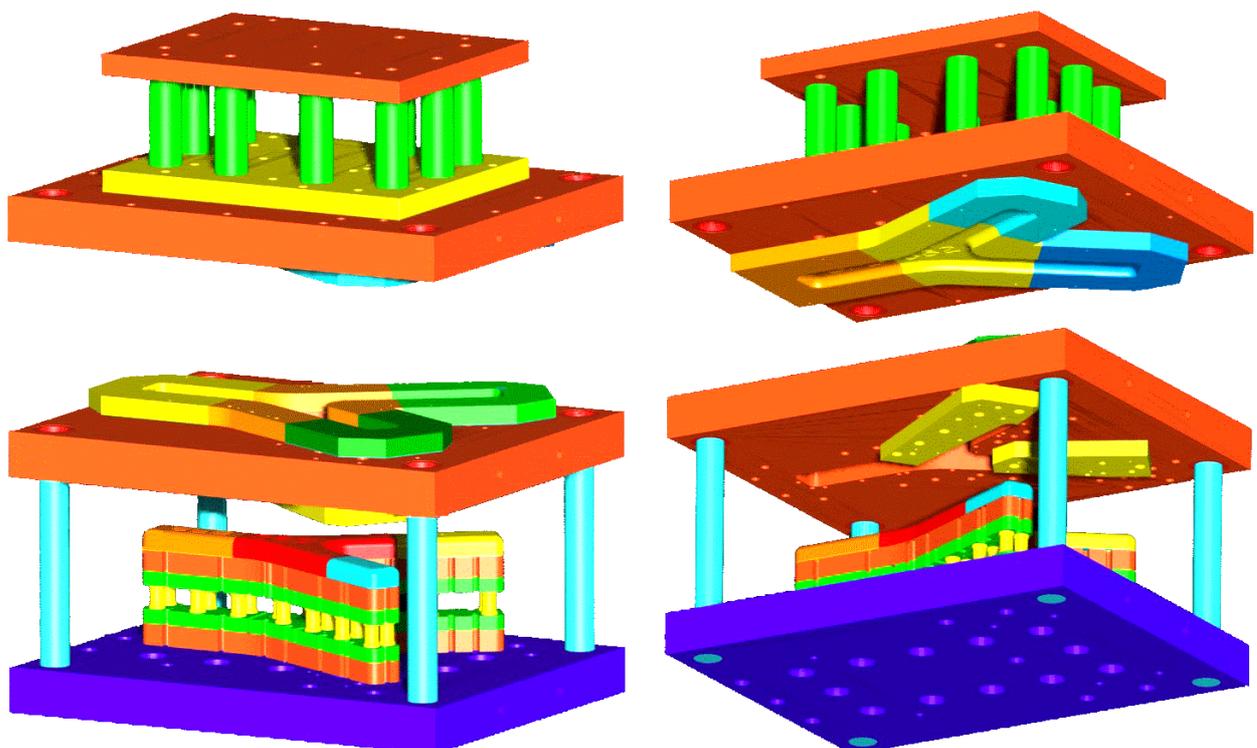


Bild 8: CAD-Modell des Tiefziehwerkzeugs (Pro/ENGINEER)

52-3), 1.2379 (X 155 Cr V Mo 12 1) und Spezialkunststoff diskutiert.

Der Kunststoff wird in der Industrie bei sehr kleinen Stückzahlen (>100) eingesetzt, da ab höheren Stückzahlen zunehmende Verschleißerscheinungen auftreten. Es wäre also nur eine sehr begrenzte Probenzahl möglich gewesen. Desweiteren würde das Werkzeug durch fortlaufenden Verschleiß stetig seine Tiefziehcharakteristik ändern, was für die hier betriebenen Forschungen ungeeignet wäre. Bearbeitungstechnisch zeigt sich der Kunststoff als sehr günstig, kann aber seine systembedingten Nachteile hierdurch nicht wettmachen.

Ebenfalls wegen zu hoher Verschleißneigung bei Tiefziehwerkzeugen wurde der Werkstoff St 53-2 verworfen.

Ausgewählt wurde der Tiefziehformenstahl X 155 Cr V Mo 12 1, da es sich hierbei um einen sehr häufig industriell angewandten Formenstahl handelt. Der Werkstoff brachte jedoch den Nachteil mit sich sehr schwer bearbeitbar zu sein, wodurch mittels PVD-Verfahren beschichtete TiCN Hochleistungswerkzeuge, die mit entsprechend hohen Kosten einhergingen, nötig wurden.

Weitere diskutierte Alternativen betrafen die Art der Bearbeitung. So hat man die Möglichkeit, Radien der formgebenden Werkzeuggesteile im Zeilenfräsverfahren oder mittels Formfräsern herzustellen. Das Zeilenfräsverfahren birgt mehrere Nachteile. Es wird zwar die Anschaffung teurer Formsonderfräser vermieden, trotzdem werden aber auch bei diesem Verfahren Standardfräser verschlissen, die somit Kosten verursachen. Desweiteren erfordert die durch das Zeilenfräsverfahren hergestellte Oberfläche eine intensive Handnacharbeit mittels einer Schleifapparatur, um eine zeilenfreie, glatte Oberfläche zu erhalten, und letztlich steigt die Bearbeitungszeit gegenüber der Formfräsvariante um den Faktor 15. Die Entscheidung fiel daher für die Formfräsvariante.

Auch eine Auftragsfertigung wurde ins Auge gefaßt, mußte aber wegen zu hoher Kosten außen vorgelassen werden.

4 Ausblick

Da die Beschaffung der Bearbeitungswerkzeuge und der einzelnen Halbzeuge (Stahlplatten) der Werkzeugform voraussichtlich vor Jahresende abgeschlossen sein wird, wird im neuen Jahr die Produktion der Tiefziehform beginnen. Für März/April 1998 ist die Fertigstellung des Zusammenbaus und

der Einbau des Werkzeuges in eine am IFUM in Hannover befindliche Presse geplant. Mitte des kommenden Jahres sollen dann nach umfassenden Einfahrversuchen die ersten Tiefziehteile hergestellt werden. Nach Versuchsplänen werden dann Halbschalen produziert, die schließlich in verschiedenen mitarbeitenden Instituten mit unterschiedlichen Schweißverfahren gefügt werden. Geplant sind derzeit Laserstrahlschweißen, Elektronenstrahlschweißen und Plasmastrahlschweißen. Schließlich werden die so gefügten Fahrradrahmen im IfB der TU Clausthal hinsichtlich ihrer Betriebsfestigkeit geprüft.

Zum Abschluß dieses Vorhabens soll ein gebrauchsfertiges Fahrrad montiert und entsprechend getestet werden.

5 Literatur

- /1/ E.-J. Drewes, H. Beenken, B. Engl et al.: Innovative Stahlprodukte für den Leichtbau. Technische Mitteilungen Krupp (1995) Nr. 2, S. 91-100
- /2/ H. Radtke: Blechbearbeitung 1996. VDI-Z Bd. Special Blechbearbeitung (1996) Nr. Oktober, S. 14-20
- /3/ W. Eversheim (Hrsg.): Simultaneous Engineering - Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie. Berlin: Springer Verlag, 1995
- /4/ H. Müller: Entwicklung eines Fahrradrahmens für die Fertigung in Blech. Studienarbeit, Technische Universität Clausthal, Institut für Maschinenwesen, 1997
- /5/ G. Pahl und W. Beitz: Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung. 3., Neubearb. u. erw. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1993
- /6/ VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, November 1986
- /7/ E. Groß: Betriebslastenermittlung, Dimensionierung, strukturmechanische und fahrwerkstechnische Untersuchungen von Mountainbikes. Düsseldorf: VDI Verlag, 1996 (Fortschritt-Berichte Reihe 12: Fahrzeugtechnik)
- /8/ VDI 2225: Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Blatt 1: Anleitung und Beispiele. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, April 1977

Bewegungssimulation am Beispiel einer Stewart Plattform

Isliker, M.

Das Institut für Maschinenwesen hat im Rahmen des Euro-Projekt MACDRIVE (Förderprogramm TSME/Craft) den mechanischen Aufbau eines Fernsteuerungssystems für Bagger, die in Gefahrenzonen zum Einsatz kommen sollen, entwickelt. Das System soll mittels der Aufnahme von Signalen (Bewegung, Bilder, Geräusche, ...) aus dem Einsatzbereich des Baggers und deren Übertragung auf den Maschinenbediener eine exakte Fernsteuerung ermöglichen. In diesem Artikel wird die Problematik der Bewegungssimulation beschrieben und die konstruktive Lösung des Simulators vorgestellt.

Within the European research project MACDRIVE (programme TSME/Craft) the Institut für Maschinenwesen has developed the mechanics of a remote control system for excavators operating in dangerous environments. Through reception of signals (motion, images, noise, ...) from the operating area and their transmission to the operator the system is supposed to enable exact remote control. This article describes the motion simulation problem and the design solution for constructing a motion simulator.

1 Hintergrund der menschlichen Bewegungswahrnehmung

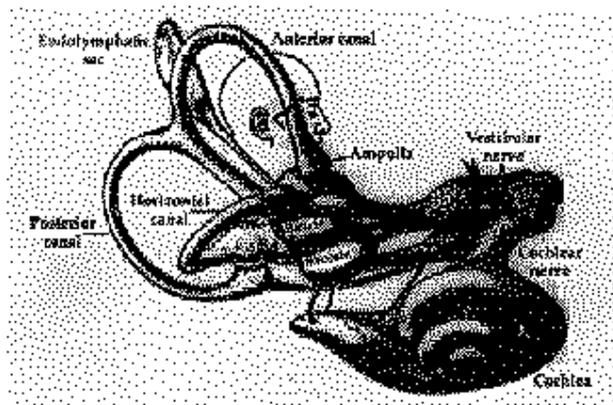


Bild 1: Der menschliche Vestibularapparat

Wahrscheinlich werden Sie sich fragen, was dieses außerirdische Objekt in **Bild 1** zu bedeuten hat und warum der Kopf eines Menschen dahinter abgebildet ist. Es stellt einen Vestibularapparat dar, das „Gleichgewichtsorgan“ des Menschen. Anhand dieses Organs wird im folgenden beschrieben, wie

Bewegungen vom Menschen wahrgenommen werden.

Der Vestibularapparat spielt eine wesentliche Rolle bei der Lage- und Räumlichkeitsorientierung des Menschen.

Die Orientierung des Menschen im Raum wird durch folgende Sinnesorgane gesteuert:

1. Den **Augen**

Als wichtigste Sinnesorgane ermöglichen sie dem Menschen die Orientierung und die Erhaltung des Gleichgewichtes durch visuelle Wahrnehmung der Lage in seiner Umgebung.

2. Dem **Vestibularapparat**

Dieser befindet sich im Mittelohr angeordnet zwischen den Felsenbeinen und setzt sich zusammen aus:

- drei Bogengängen, welche die Drehbeschleunigung in 3 senkrecht zueinander stehenden Ebenen des Raumes wahrnehmen, und
- dem Utriculus mit Otolitenorgan, der die Schwerkrafteindrücke vermittelt.

Die Bogengänge bestehen aus knöchernen Kanälen, in denen ein häutiges Röhrensystem verläuft, angefüllt mit einer Flüssigkeit, der Endolymphe. An der Basis jedes Bogenganges befindet sich eine Erweiterung, die Ampulle, welche Sinneszellen mit Sinneshärchen enthält. Diese Härchen ragen als Cupula zusammengefaßt in die Endolymphe hinein.

Bei einer Drehbewegung (Winkelbeschleunigung) in der Ebene eines Bogenganges bleibt die Endolymphe aufgrund ihrer Trägheit zurück und biegt hierbei die Sinneshärchen der Cupula in der entgegengesetzten Richtung ab. Auf diese Weise entsteht ein Sinnesreiz, der zur richtigen Wahrnehmung der Drehbewegung im zentralen Nervensystem führt.

Zur Auslösung eines Reizes durch die Cupula ist eine Mindest-Drehbeschleunigung von $1^\circ/\text{sec}^2$ erforderlich. Geringer beschleunigte Drehungen werden nicht wahrgenommen, sie sind unerschwellig. Die Reizschwelle der Bogengänge liegt zu hoch. In Situationen, in denen unerschwellige

Reize auf überschwellige Reize folgen, wird nur die überschwellige Komponente wahrgenommen.

Liegt zwischen einer kurzzeitigen Drehung und der entsprechenden Gegenbewegung ein längerer Zeitraum, z. B. eine Kurve, so wird die zuerst durchgeführte Bewegung „vergessen“ - wenn sie nicht sogar schon unterschwellig gewesen ist. Die zweite Bewegung, - die Rückdrehung in die Normallage -, wird als eine Kippbewegung in die Gegenrichtung empfunden, - sie führt zu einer „falschen“ Lageempfindung.

Der im Utriculus und Sacculus sitzende Otolithen-Apparat gewährleistet die Lageorientierung bezüglich der Schwerkraft.

Am Boden des Utriculus und des Sacculus liegt eine Nervenzellschicht mit senkrecht nach oben stehenden Sinneshärchen, die durch eine dünne Membran hindurchragen. Auf dieser Membran lagern winzige Kalkkristalle - die Otolithen. Die relative Lage dieser Otolithenmembran und der von ihr ausgeübte Druck bilden den Reiz, welcher dem zentralen Nervensystem Informationen über die Stellung des Kopfes in Bezug auf die Senkrechte liefert.

Bei Neigungen des Kopfes werden die Sinneshärchen in der Neigungsrichtung abgelenkt, die Otolithenmembran wird verlagert und damit die Wahrnehmung der veränderten Lage gewährleistet. Beim Autofahren, stärker noch beim Fliegen, kommen während des Beschleunigens Trägheits- und Fliehkräfte zur Erdbeschleunigung hinzu, deren Resultierende natürlich nicht mit der Vertikalen identisch sind.

Die Bewegungswahrnehmung basiert jedoch nicht nur auf Informationen die vom Vestibularapparat, sondern auch von Haut- und Gelenkreizrezeptoren, übermittelt werden. Aufgrund der Oberflächen- und Tiefensensibilität kann der Mensch auf Zug- und Druckerscheinungen an seiner Haut oder anderen Gewebeteilen, auf Beugungs- und Streckwirkungen an den Gelenken und auf Veränderungen der Muskel- und Sehnenanspannung mit einer Beschleunigung der Nervenimpulse reagieren. Diese Impulse übermitteln dem Gehirn die Änderungen der Krafteinwirkungen.

2 Hintergrund der Bewegungssimulation

Das Ziel ist, Fahrbewegungen so zu simulieren, daß am Simulator das Gefühl entsteht, ein reales Fahrzeug zu steuern. Hierzu muß der Simulator so bewegt werden, daß dieser beim Fahrer Empfindun-

gen hervorruft, die der wirklichen Situation ähnlich sind. Das ist möglich, da das menschliche Nervensystem sehr anpassungsfähig ist. Mittels Stimulationen unterschiedlicher Intensität kann das gleiche Bewegungsgefühl vermittelt werden, ohne ein eins-zu-eins Verhältnis zwischen Simulator und Realität verwirklichen zu müssen.

Idealerweise sollte der Simulator sich den Bewegungen eines echten Fahrzeuges entsprechend verhalten. In der Realität kann dieses jedoch nicht erreicht werden, da der Simulator nur einen begrenzt verfügbaren Arbeits-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsbereich besitzt.

Es ist erforderlich, die notwendigen Eingaben zur Steuerung des Simulators so zu modifizieren, daß eine Überschreitung der strukturellen Grenzen des Simulators vermieden wird. Die Veränderungen werden entsprechend der Eigenschaften des menschlichen Vestibularsystems durchgeführt, um dem Fahrer so die richtige Bewegungsempfindung zu vermitteln.

Die wichtigsten Bewegungsparameter, die durch das Vestibularsystem wahrgenommen werden, sind die Winkelgeschwindigkeiten und die sogenannte spezifische Kraft. Diese Reize werden nur dann wahrgenommen, wenn sie bestimmte Werte überschreiten und die zugehörigen Frequenzen in wahrnehmbare Bereiche fallen:

- Winkelgeschwindigkeiten, die innerhalb des Frequenzbereiches 0,5 rad/sec bis 10 rad/sec liegen, können wahrgenommen werden.
- Spezifische Kräfte werden erkennbar innerhalb 0 rad/sec und sehr hohen Frequenzen.

Der Begriff „spezifische Kraft“ soll im folgenden näher erläutert werden.

Die „spezifische Kraft“ ergibt sich aus der Summe aller externen Kräfte, die auf einen Körper wirken, geteilt durch die Körpermasse und anschließender Subtraktion der Schwerkraftkomponente.

Beispiel: Ein Mensch, der auf einen Stuhl sitzt, spürt eine Kraft auf seinen Körper wirken, die ihn nach oben drückt. Diese Kraft ergibt sich aus der Reaktion des Stuhles gegen die Schwerkraftkomponente, die nach unten wirkt. Die Schwerkraft selbst wird nicht wahrgenommen. Wenn diesem Menschen gleichzeitig Stuhl und Boden entzogen werden, fällt er ohne eine Kraft wahrzunehmen in die Tiefe. Die spezifische Kraft hat den Wert Null. Die spezifische Kraft ist das, was der Mensch durch die Deformation verschiedener Körperteile während des Sitzens empfunden hat.

Für das Steuerungssystem des Simulators bedeutet dies, daß die Eingaben der Winkelgeschwindigkeit und der spezifischen Kraft unter Berücksichtigung der Grenzen des Simulators so realistisch wie möglich reproduziert werden müssen. Eine der wichtigsten Bewegungen stellt dabei die lang anhaltende spezifische Kraft dar, da diese einen großen Arbeitsbereich fordert. Eine Reduzierung des Arbeitsbereiches kann mittels des sogenannten „koordinierten Umkreises“ erreicht werden. Dieser Umkreis realisiert die Translationsbewegung, um die Eingabe einer kurzzeitigen Beschleunigung simulieren zu können. Der Simulator wird langsam gebeugt und so die Empfindung einer lang anhaltenden Kraft- bzw. Beschleunigungseinwirkung unter Verwendung der Gravitationskomponente erzielt. Der Beugungswinkel muß jedoch unterhalb der menschliche Wahrnehmungsschwelle liegen, um eine falsche Bewegungsempfindung des Fahrer zu vermeiden. Hierdurch werden Rotations- und Translationsbewegungen „koordiniert“ und somit longitudinale und laterale spezifische Kräfte erzeugt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Entwicklung eines mathematischen Simulationssteuerungsmodells ist die Definition zweier Referenzpunkte. Der erste Punkt muß irgendwo im Cockpit des Fahrzeuges (z. B. auf dem Stuhl des Fahrers) liegen. An diesem Punkt werden Winkelgeschwindigkeit und lineare Beschleunigungen gemessen. Diese Werte müssen anschließend über die Steuerung exakt transformiert werden, um die Bewegungsempfindungen am zweiten Referenzpunkt im Simulator zu reproduzieren.

3 Die Stewart Plattform: Beschreibung der Architektur

Die Stewart Plattform gehört zu den sogenannten „parallelen Mechanismen“ (**Bild 2**). Diese Art der

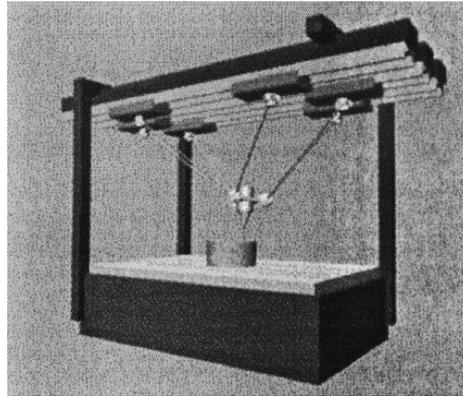


Bild 2: Beispiel eines parallelen Mechanismus

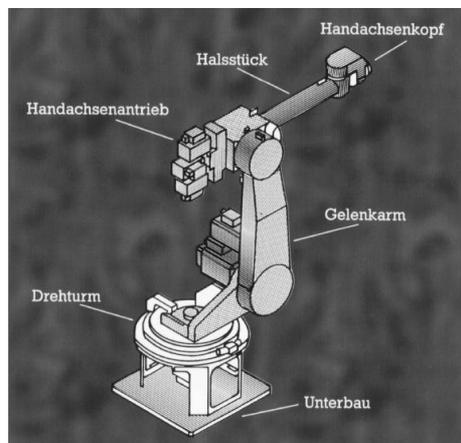


Bild 3: Beispiel eines Serienmechanismus

Konstruktion unterscheidet sich vom „Serienmechanismus“ (**Bild 3**) dadurch, daß der bewegliche Teil durch vielfach geschlossene kinematische Ketten zu einem festen Teil verbunden ist.

Serien- und Parallelstrukturen liefern wichtige ergänzende Eigenschaften aufgrund ihrer Festigkeit, ihrer Größe des Arbeitsraumes sowie ihres Verhältnisses zwischen Tragfähigkeit und eigenem Gewicht.

Bei Betrachtung unter kinematischen Gesichtspunkten weisen diese Strukturen einen Dualismus auf, der wie folgt beschrieben werden kann: Für Serienstrukturen

existiert ein sogenanntes „inverses kinematisches Problem“ (welche Eingaben sind nötig, um eine bestimmte Position zu erreichen). Parallele Mechanismen hingegen besitzen ein „direktes kinematisches Problem“ (welche Position wird erreicht, wenn die Eingaben bekannt sind).

Die Stewart Plattform wurde nach D. Stewart benannt. Stewart und McGough haben bereits Mitte der 60er Jahre parallel angeordnete Gelenke für steife 6-Freiheitsgrad-Roboter in Flugsimulatoren und Reifenprüfgeräte eingesetzt.

Die Stewart Plattform ist eine bewegliche Konstruktion, die durch sechs „Beine“ zu einer festen Basis verbunden ist. Jedes Bein setzt sich (von unten nach oben) aus einem passiven Hooke Gelenk, einem aktiven prismatischen Gelenk (Hubzylinder) und einem passiven sphärischen Gelenk zusammen (**Bild 4**).

4 Ermittlung des Arbeitsbereiches mittels des CAE-Systems Pro/MECHANICA

Aufgrund der genannten Vorteile wurde entschieden, die Stewart Plattform für den Simulator einzusetzen, obwohl damit nur ein begrenzter Arbeitsbereich zur Verfügung steht.

Für die Analyse und Lösung der Konstruktionsprobleme wurde das CAE-System Pro/MECHANICA eingesetzt.

Schon in der Anfangsphase wurde deutlich, daß die Verwendung eines sphärischen Gelenkes als Verbindung der Beine mit der oberen Plattform nicht in Frage kommen konnte, da die kommerziell verfügbaren Gelenke nur sehr geringe Rotationsbewegungsmöglichkeiten bieten. Als konstruktive Lösung wurde deshalb ein Hooke Gelenk ausgewählt. Und unter der Verwendung zusätzlicher Lager konnte so die Drehung um die dritte räumliche Achse ermöglicht werden.

Eine weitere Veränderung des Aufbaus mußte für die Berechnung vorgenommen werden. Für eine vollständige Ermittlung der verschiedenen Bewegungsmöglichkeiten der Plattform fehlten nämlich die notwendigen Eingabeparameter der einzelnen Hubzylinder. Vereinfachend wurde im Schwerpunkt der oberen Plattform ein zentrales Gelenk eingesetzt. Somit war ein „direkter“ Antrieb der Plattform möglich.

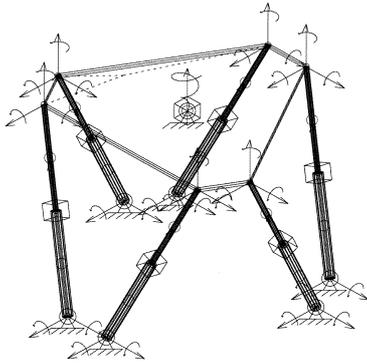


Bild 4: Pro/Mechanica Modell der Stewart Plattform

Die anschließende Analyse bestätigte die Richtigkeit der Vereinfachung und den Einsatz des Hooke Gelenkes in Verbindung mit einer zusätzlichen Drehachse (**Bild 4**).

Die Gleichungen $\beta = R_o/R_u$ und $\beta = L_{max}/R_u$ ergaben sich aus den folgenden Annahmen: Die untere Plattform wird durch einen Kreis mit dem Radius R_u beschrieben und die obere durch einen Kreis mit dem Radius R_o ($1/1$). L_{max} ist die maximale Länge eines Beines und wird durch die Auswahl des Hubzylinders festgelegt.

Um das Umkippen des Simulators zu vermeiden, wurde der

Wert β auf ca. 1.65 eingestellt. (Je größer β ist, desto größer ist die untere Plattform.) Der Wert $\beta=1.65$ erzielt ein optimales Verhältnis zwischen Festigkeit und Größe des Arbeitsbereiches, wenn der Wert sich innerhalb des Intervalles [0.95, 1.2] bewegt ($1/1$). Die Durchführung mehrerer Simulationen unter Variation des β -Wertes ergab schließlich für $\beta=1$ einen maximalen Arbeitsbereich. Damit betragen die Radien R_o und R_u der Stewart Plattform 265 mm.

Der Festlegung der optimalen Gestaltung folgte die

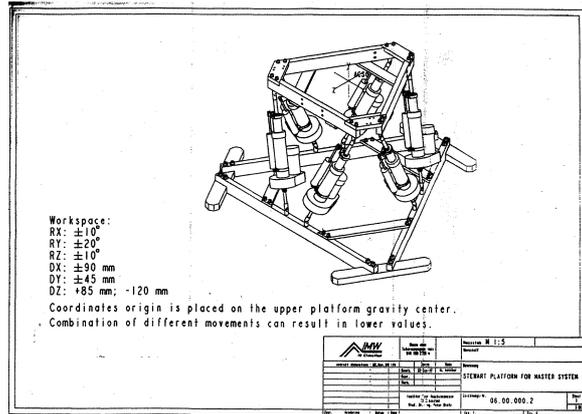


Bild 5: Konstruierte Stewart Plattform

Simulation der 6 Grundbewegungen (3 Translationen und 3 Rotationen) im CAE-System. Die Ermittlung der in **Bild 5** dargestellten Ergebnisse erfolgte über eine Bewegungsunterbrechung der Plattform sobald eine singuläre Position (obere Plattform und ein Beinpaar liegen in einer Ebene) oder der maximale oder minimale Hub des Zylinders erreicht wurde.

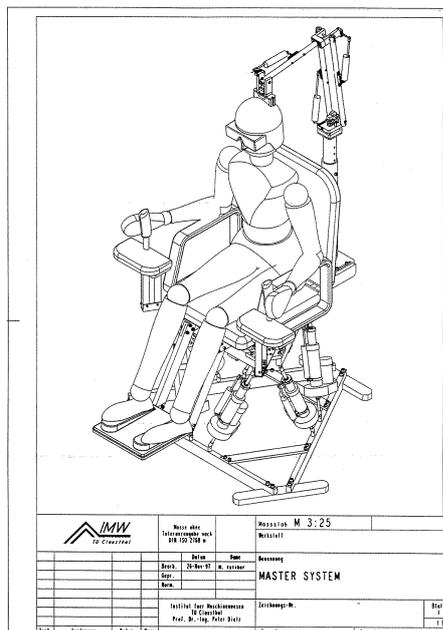


Bild 6: Konstruiertes Simulator

5 Ausblick

Während des *First Year Assessment Meeting* im Dezember '97 in Brüssel wurde ein nach den Vorgaben des IMW gebauter Prototyp des Simulators (**Bild 6**) mit Erfolg vorgestellt. Im September '98 sind erste Versuche in Verbindung mit einem realen Bagger bei einem griechischen Unternehmen geplant.

6 Literatur

- 1/ Bhattacharya, S.; Hatwal, H.; Ghosh, A.: On the optimum design of Stewart Platform type parallel manipulators, *Robotica*, März-April 1995

Analyse der Werkstoffauswahl in der industriellen Praxis und Konsequenzen für die rechnerunterstützte Stahlauswahl

Große, A.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Rechnergestützte Stahlauswahlmethodik für Konstrukteure“ ist eine Befragung von Unternehmen zur Werkstoffauswahl durchgeführt worden. Nach einer kurzen Einführung in das Projekt sollen die Fragebogenergebnisse beschrieben und die hieraus folgenden Schwerpunkte und Konsequenzen für die Entwicklung des EDV-Systems abgeleitet werden. Desweiteren soll die Modellierung der Anforderungen und Werkstoffeigenschaften sowie das Stahlauswahl-system vorgestellt werden.

Within the research project „Computer-Aided Methodology for Steel Selection for the Designer“ a questionnaire concerned with materials selection of industrial companies has been carried out. After a short introduction into the project, the main points and consequences for the development of the computer-aided system based on the results of the questionnaire are deduced. Furthermore the modeling of the demands and material properties as well as the system for steel selection is described.

1 Rechnergestützte Stahlauswahlmethodik für Konstrukteure

Das Forschungsprojekt „Methodik und EDV-System zur Stahlauswahl nach konstruktiven Kriterien – Rechnergestützte Stahlauswahlmethodik für Konstrukteure“ wird von der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V. gefördert und läuft seit Mitte des Jahres 1996.

Der Konstrukteur erfährt bei der Werkstoffauswahl derzeit keine nennenswerte methodische Unterstützung, häufig fehlen ihm auch wichtige Werkstoffinformationen zur Festlegung eines für die jeweilige Aufgabe optimalen Werkstoffes. Durch eine integrierte Vorgehensweise mit Hilfe des zu entwickelnden EDV-Systems kann bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung die Gestaltung und Stahlauswahl koordiniert und aufeinander abgestimmt werden und damit eine Erhöhung der Entscheidungssicherheit bei der Werkstoffauswahl erzielt werden /1/.

1.1 Informationsbedarf und Vorgehensweise bei der Stahlauswahl

Für die Entwicklung einer Methode zur Stahlauswahl ist zunächst eine Analyse des Informationsbedarfs und der Vorgehensweise, d.h. zeitliche Abfolge der Tätigkeiten des Konstrukteurs bei der Stahlauswahl vorgenommen worden.

Die Werkstoffauswahl wird durch die in Wechselwirkung stehenden Größen Konstruktion, Technologie und Werkstoff bestimmt, **Bild 1**.

Ausgehend von der zu erfüllenden Funktion des zu entwickelnden Produktes legt der Konstrukteur die Gestalt fest, die in direktem Zusammenhang mit den auftretenden Beanspruchungen steht. Die Werkstoffauswahl muß in Abstimmung mit dem Technologen erfolgen, da eine rationelle Fertigung nur durch Gesamtbetrachtung von Gestalt und Fertigungsverfahren möglich ist. Häufig stehen die Forderungen der Konstruktion und der Technologie im Widerspruch und der gewählte Werkstoff stellt eine Kompromißlösung dar. Die endgültige Auswahl des geeigneten Werkstoffes wird mit Hilfe der Informationen über technische und technologische sowie wirtschaftliche und dispositive Eigenschaften getroffen. Die genannten Werkstoffeigenschaften haben Wechselbeziehungen und können als innerer Regelkreis, der wiederum einen Einfluß auf das Gesamtsystem ausübt, aufgefaßt werden.

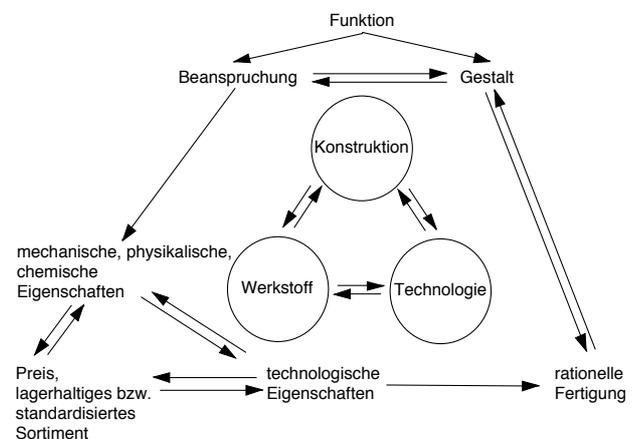


Bild 1: Werkstoffauswahl unter dem Aspekt der Einheit von Konstruktion, Technologie und Werkstoff nach BERNST /2/

In **Bild 2** ist eine Eingliederung der Werkstoffauswahl in den Produktentwicklungsprozeß dargestellt. Input für den Konstruktionsprozeß ist die Aufgabe. Nach Durchlaufen der vier Phasen des Konstruktionsprozesses nach VDI 2221 /3/ ist die Lösung – im Idealfall mit dem optimalen Werkstoff – entstanden. In der Phase der Aufgabenklärung werden Angaben zum Einsatz des Produktes erarbeitet und in einer Anforderungsliste festgehalten. Hier entstehen im wesentlichen die Gebrauchsanforderungen an den Werkstoff wie z.B. Korrosions- oder Wärmebeständigkeit. Aus der Konzeptphase resultieren üblicherweise keine Anforderungen an den Werkstoff. Die Fertigungsverfahren werden in der Regel beim Entwerfen, das eine Gestaltung der einzelnen Bauteile einschließt, festgelegt. Die technologischen Anforderungen entstammen somit überwiegend aus der Entwurfsphase, sie können aber auch schon beim Klären der Aufgabenstellung durch Vorgabe bevorzugter Fertigungsverfahren entstehen und im fortschreitenden Entwicklungsprozeß näher spezifiziert werden. Nachdem die Werkstoffe mit den erforderlichen Gebrauchseigenschaften (Funktionserfüllung) und den gewünschten Fertigungseigenschaften herausgefiltert worden sind, finden die wirtschaftlichen Eigenschaften, wie z.B. Kosten, Einzug in die Betrachtungen. Die dispositiven Eigenschaften wie beispielsweise die Verfügbarkeit eines Werkstoffes dagegen sind zu jedem Zeitpunkt des Produktentwicklungsprozesses zu berücksichtigen. Um aus einer Menge geeigneter Werkstoffe zum optimalen Werkstoff für die Konstruktionsaufgabe zu gelangen ist abschließend eine technisch-wirtschaftliche Bewertung vorzunehmen.

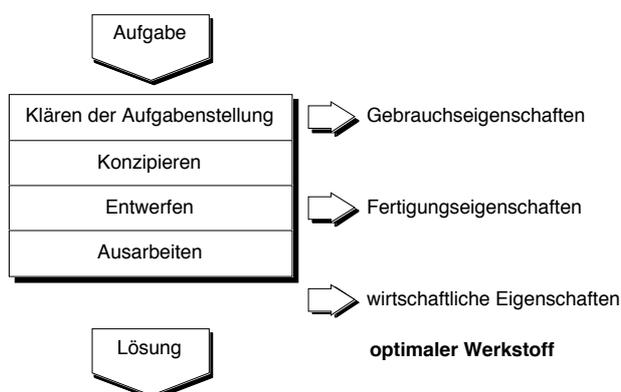


Bild 2: Werkstoffauswahl in der Produktentwicklung

Die Betrachtung der Vorgehensweise erlaubt die Angabe der wesentlichen, sich aus den Konstruktionsphasen ergebenden Werkstoffeigenschaften, nicht aber einen exakten Zeitpunkt der Werk-

stoffauswahl. Hier spielen zuviele organisatorische und betriebliche Einflußfaktoren hinein.

Der nächste Arbeitsschritt im Projektprogramm war die Entwicklung eines Modells zur vollständigen Erfassung von Anforderungen an Stahlwerkstoffe. Hierzu sollten in der Praxis stehende Konstrukteure interviewt werden. Die Anforderungen sind mittels einer Fragebogenaktion und vertiefend durch Gespräche mit Konstrukteuren zusammengetragen worden. Der Fragebogen enthielt weiterführende Fragen, die das Thema Werkstoffauswahl in der industriellen Praxis näher untersuchen sollten.

2 Fragebogenaktion: Werkstoffauswahl in der industriellen Praxis

Die ausgearbeiteten Fragebögen sind durch den Arbeitskreis Normenpraxis im DIN (ANP im DIN) versendet worden, was verglichen mit früheren Erfahrungen zu einem hohen Rücklauf von über 25 % führte. Die im folgenden beschriebene Auswertung basiert auf 102 ausgefüllten Fragebögen.

2.1 Überblick über die befragten Unternehmen

Als Einstieg soll ein kurzer Überblick über die befragten Unternehmen gegeben werden. In **Bild 3** ist die prozentuale Branchenzugehörigkeit aufgezeigt. Die Unternehmen gehören überwiegend der Maschinenbaubranche an, die auch die anzusprechende Zielgruppe des Projektes darstellt.

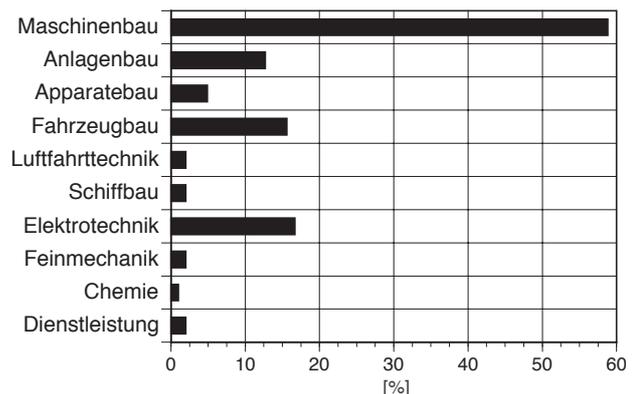


Bild 3: Branchenzugehörigkeit der befragten Unternehmen

Es sind Unternehmen mit Mitarbeiterzahlen von 23 bis 250.000 vertreten. Dabei handelt es sich zu 95 % um mittlere und große Unternehmen mit Mitarbeiterzahlen über 100.

Die Produktpalette ist sehr umfangreich und reicht vom Automatikgetriebe bis zur Zentrifuge.

Mit der Auswertung ist also ein breites Spektrum an Branchen, Produkten und Unternehmensgrößen erfaßt worden.

In **Tab. 1** ist eine Darstellung der „Unternehmensphilosophie“ vorgenommen. Hier sollte die Wichtigkeit der aufgeführten Kriterien in Bezug auf die Werkstoffauswahl herausgestellt werden. Der wichtigste Faktor ist eindeutig die Erfüllung der Gebrauchseigenschaften, gefolgt von der Lebensdauer, den Kosten und der Ver- und Bearbeitbarkeit in der Fertigung. Die Recyclingfähigkeit ist dagegen von geringerer Bedeutung und wurde meistens nur von den Automobilherstellern und -zulieferern als ein sehr wichtiges Kriterium genannt. Auch die Verfügbarkeit des Werkstoffes ist für die Unternehmen von hoher Wichtigkeit. Die geringe Häufigkeit der drei letzten Kriterien ist dadurch begründet, daß es sich hierbei nicht um im Fragebogen vorgegebene Kriterien handelt, sondern diese von den Unternehmen ergänzt worden sind.

Tab. 1: „Unternehmensphilosophie“ - Werkstoff

Kriterium	weniger wichtig	wichtig	sehr wichtig
Gebrauchseigenschaften		●	●●●●●
Kosten	●	●●	●●●●
Lebensdauer	●	●●	●●●●
Verarbeitbarkeit(Fertigung)	●	●●●	●●
Recyclingfähigkeit	●●	●●●	●
WirtschaftlichkeitfürBetreiber	●	●●	●●
Normen/Qualität		●	●
Verfügbarkeit	●	●	●
Design		●	

Die von den Unternehmen verarbeiteten Werkstoffe sind im wesentlichen Stähle jeglicher Art, Gußwerkstoffe, Nichteisenmetalle, Kunststoffe und Gummi. Bei den Halbzeugen sind die üblichen Formen wie beispielsweise Bleche, Rohre, Profile, Stangen, Bänder, Schmiedeteile genannt worden.

2.2 Konstruktion und Werkstoffe

In diesem Kapitel soll die Werkstoffauswahl in Verbindung mit dem Konstruktionsprozeß untersucht werden. Die erste Frage im Komplex „Konstruktion und Werkstoffe“ soll Auskunft über den Zeitpunkt der Werkstoffauswahl und das ausführende Organ geben. Der Entscheidungsträger bzw. der Ausführende ist u.a. von der Organisation des Unterneh-

mens abhängig. Überwiegend handelt es sich um Abteilungen, es sind aber auch Projektteams aufgetreten, die die Werkstoffauswahl vornehmen.

In den seltensten Fällen konnte die Werkstoffauswahl genau einer Phase des Entwicklungsprozesses zugeordnet werden. Vereinzelt wird der Werkstoff jedoch zu einem konkreten Zeitpunkt festgelegt, dies geschieht dann meistens durch die Konstruktionsabteilung. Größtenteils handelt es sich aber um eine phasenübergreifende, interdisziplinäre Werkstoffauswahl an der mehrere Abteilungen beteiligt sind. In **Tab. 2** sind die beiden beschriebenen Möglichkeiten zusammengetragen. In der rechten Spalte sind die Ausführenden eingetragen, die als Entscheidungsbeteiligte in der jeweiligen Phase am häufigsten genannt worden sind.

Tab. 2: Entscheidungsträger der Werkstoffauswahl und zeitliche Einordnung

Phase	Ausführender (nureinePhase)	Ausführender
Aufgabenstellung Anforderungsliste	Konstruktion	Vertrieb, Verkauf, Kunde Entwicklung, Konstruktion Produktplanung, Marketing
Konzept	Konstruktion Entwicklung, Fertigungsvorbereitung	Forschungund Entwicklung Konstruktion
maßstäblicher Entwurf	Konstruktion	Konstruktion Entwicklung
Ausarbeitungder Einzelteile	Konstruktion	Konstruktion
Arbeitsvorbereitung	-	Arbeitsvorbereitung Fertigungsplanung Einkauf
Fertigung	-	Fertigung, Fertigungsplanung Arbeitsvorbereitung

Desweiteren sollte angegeben werden, ob es sich dabei um Neu- oder Variantenkonstruktionen handelt. Die Neu- und die Variantenkonstruktionen halten sich in etwa die Waage. Bei der Auswertung konnte kein Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt oder dem Ausführenden und der Art der Konstruktion festgestellt werden.

Die Werkstoffentscheidung wird hauptsächlich durch die Konstruktion herbeigerufen. Einen nicht unwesentlichen Einfluß auf die Werkstoffwahl haben aber auch die Arbeitsvorbereitung und die Fertigung. Dies steht in Einklang mit dem in **Kap. 1.1** beschriebenen Aspekt der Einheit von Konstruk-

tion, Technologie und Werkstoff. Für die Entwicklung der rechnergestützten Stahlauswahlmethodik läßt sich daraus ableiten, daß eine Unterstützung des Konstrukteurs über alle Phasen des Produktentwicklungsprozesses erfolgen muß.

Außerdem sollte mit Hilfe des Fragebogens ermittelt werden, ob in frühen Phasen der Produktentwicklung (Aufgabenklärung, Konzept) Erfahrungen über das Werkstoffverhalten bzw. -probleme zur Verfügung stehen und woher diese Informationen stammen.

Sehr selten sind große Informationsdefizite zu Beginn einer Konstruktion vorhanden und wenn, dann handelt es sich um Neukonstruktionen oder um neue Werkstoffe, mit denen im Unternehmen noch keinerlei Erfahrungen gesammelt worden sind. 93% aller Unternehmen besitzen aber Informationen über das Werkstoffverhalten und können eventuelle Probleme im Vorfeld abschätzen. Die Informationen basieren auf betriebsinternen Erfahrungen der Abteilungen und Mitarbeiter sowie bereits ausgeführter Produkte, auf Rückläufen von Kundenerfahrungen, auf Zusammenarbeit von Unternehmen mit Werkstoffherstellern und auf Fachliteratur und Tabellenwerken. Einige größere Unternehmen können auf das Know How ihrer eigenen werkstofftechnischen Abteilung zurückgreifen.

Tab. 3: Vorhandene Informationen bei der Werkstoffauswahl

Beanspruchungen	<ul style="list-style-type: none"> • mechanisch • chemisch(Korrosion,Säurebeständigkeit)
Werkstoffeigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Schmelzenanalyse • mechanische,physikalische,chemischeundtechnologischeEigenschaften
Fertigung	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigungsverfahren • Fertigungsmöglichkeiten (Maschinen-/Werkzeugpark)
Lager	<ul style="list-style-type: none"> • Bestände • Beschaffbarkeit • Halbzeuge
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • überEinkauf • Relativkosten
betrieblicheErfahrungen	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeiter,Produkte • Versuche,Qualitätssicherung,Labor
interne/externeNormen	<ul style="list-style-type: none"> • Werknormen/-richtlinien • DIN-/DIN EN-Normen
Werkstoffübersichten	<ul style="list-style-type: none"> • Stahlschlüssel • Tabellenbücher • Lieferanteninformationen

Die letzte Frage zum Zusammenspiel Konstruktionsprozeß und Werkstoffauswahl beschäftigt sich

mit den vorhandenen Informationen bei der Werkstoffauswahl und der Quelle dieser Informationen. Die vorhandenen Informationen bilden die Entscheidungsgrundlage der Werkstoffauswahl. Bekannte Informationen zum Zeitpunkt der Festlegung des Werkstoffes sind in **Tab. 3** zusammengefaßt.

Als Bezugsquellen der Werkstoffinformationen sind in erster Linie Normen, persönliche Notizen und Erfahrungen sowie Herstellerkataloge und Prospekte zu nennen. Datenbanken oder Berechnungsprogramme sind eher von untergeordneter Bedeutung. Neben diesen Mitteln zur Informationsgewinnung sind u.a. noch der Stahlschlüssel, Fachliteratur, Arbeitskreise, Seminare und Herstellerkontakte aufzuführen.

2.3 Technologie und Werkstoffe

Mit den Fragen zum Aspekt „Technologie und Werkstoffe“ sollte die Anwendung bestimmter Fertigungsverfahren bzw. -gruppen in den Unternehmen festgestellt und der Einfluß der Betriebsmittel auf die Werkstoffauswahl untersucht werden.

In **Bild 4** ist die prozentuale Häufigkeit der einzelnen Fertigungsverfahren zusammengefaßt. Der obere Balken gibt jeweils die prozentuale Anwendung des Verfahrens an, der untere Balken kennzeichnet die Häufigkeit des Verfahrens als Hauptverfahren im Unternehmen. Es ist erkennbar, daß beide Balken in etwa korrelieren. Die am meisten angewendeten Verfahren sind die spanenden Verfahren wie beispielsweise das Drehen, Fräsen und Bohren sowie die fügenden Verfahren, hier vor allem das Schweißen. Die Gruppe der spanenden Verfahren stellt auch gleichzeitig das häufigste Hauptverfahren in den Unternehmen dar.

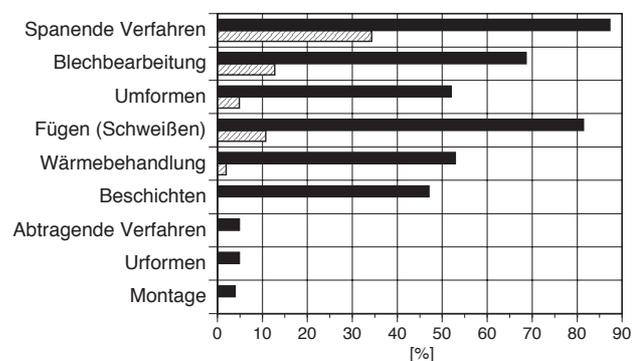


Bild 4: Angewandte Fertigungsverfahren

Für die Entwicklung der Stahlauswahlmethodik läßt sich schließen, daß alle Verfahren bis auf die abtragenden Verfahren (Erodieren, Brenn- und Laserschneiden), das Urformen (Gießen) und die Montage berücksichtigt werden müssen.

Desweiteren war im Zusammenhang von Fertigung und Werkstoffen interessant, ob die Betriebsmittel einen Einfluß auf die Werkstoffauswahl haben. 66 % der Unternehmen führen die Wahl des Werkstoffes ohne Berücksichtigung des Betriebsmittels bzw. ihres Maschinenparkes aus. Häufigstes Argument war dabei, daß bei auftretenden Problemen oder bei einer nicht wirtschaftlichen Fertigung eine Fremdvergabe erfolgt. Bei den restlichen Unternehmen läßt sich ein Zusammenhang zwischen den Betriebsmitteln und dem verwendeten Werkstoff und Halbzeug feststellen. Bei den spanenden und umformenden Verfahren sind die Einflüsse überwiegend in Abhängigkeit des Automatisierungsgrades genannt worden. Die Werkstoffe sollten Automaten Güte aufweisen, damit sie auf Drehautomaten und in Fertigungszentren problemlos bearbeitet werden können. In der Umformtechnik ist auf die Dicken- und Breitentoleranz des Halbzeuges aufgrund der Fließfertigungseignung zu achten. Weitere Einflußparameter des Betriebsmittels sind beispielsweise die Abmessungen des Arbeitsraumes und die Leistungsgrenzen der einzelnen Maschinen.

2.4 Werkstoffanforderungen und Werkstoffeigenschaften

Mit Hilfe der Fragen zu den Anforderungen und Eigenschaften sollten die Anforderungen, die ein Konstrukteur an den Werkstoff stellt und die Eigenschaften, die einen wesentlichen Einfluß auf die Werkstoffauswahl haben, zusammengetragen werden. Die Anforderungen stellen den Ausgangspunkt für den Konstrukteur dar. Sie sind mit den Eigenschaften der Werkstoffe zu verknüpfen und abzustimmen. Durch Analyse der Vorgehensweise bei der Werkstoffauswahl ist festgestellt worden, daß die wesentlichen Anforderungen an den Werkstoff aus dem Gebrauch und der Fertigung resultieren (vgl. **Kap. 1.1**). Aus diesem Grund ist im Fra-

Tab. 4: Werkstoffanforderungen - Anforderungsliste

Kategorie	Anforderungen	
Gebrauch	Korrosionsbeständigkeit (chemische Beständigkeit), Verschleißfestigkeit, Temperaturbeständigkeit	Rostbeständigkeit, Wärme-/Kältebeständigkeit (Einsatztemperatur)
Verarbeitung	Zerspanbarkeit, Schweißbeignung , Umformbarkeit, Härbarkeit, Beschichtbarkeit (Verchromen)	
Werkstoff	mechanische Eigenschaften , metallurgische, dynamische, elektrische Eigenschaften	Festigkeit Bruchdehnung, Kerbschlagzähigkeit, Schmelzenanalyse, Dauerfestigkeit, elektrische Leitfähigkeit
wirtschaftlich/dispositiv	Kosten, Verfügbarkeit /Lagerhaltigkeit, Halbzeugabmessungen	
Sonstige	Designvorgaben, Leichtbau	Edelstahlausführung, Gewicht

Tab. 5: Werkstoffanforderungen - Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren		Anforderungen
Spanende Fertigung	Drehen, Fräsen , Schleifen, Bohren, Tieflochbohren	Zerspanbarkeit , Oberflächengüte, Kosten, Werkzeugstandzeit
Blechbearbeitung	Stanzen, Nibbeln, Bördeln, Falzen, Sicken	Stanzbarkeit, Bruchdehnung, Werkzeugstandzeit
Umformen	Tiefziehen, Biegen , Abkanten, Prägen, Polieren	(Kalt-) Umformbarkeit , Biegebarkeit, Festigkeit, Oberflächengüte
Fügen (Schweißen)	Schweißen , Löten	Schweißbeignung , Löteignung
Wärmebehandlung	Härten, Einsatzhärten, Vergüten, Gasnitrieren	Härbarkeit, Vergütbarkeit, Härte (Rand, Kern, Tiefe)
Beschichten	Nitrocarburieren, Verzinken, Eloxieren, Lackieren	

gebogen nach den Anforderungen, die bereits bei der Klärung der Aufgabenstellung (Gebrauch, Einsatzbedingungen) in der Anforderungsliste festgehalten werden und denen, die sich aus dem festgelegten Fertigungsverfahren ergeben, unterschieden worden.

In **Tab. 4** und **Tab. 5** sind die wesentlichen Anforderungen zusammengefaßt worden. Die Anforderungen in der Anforderungsliste sind hierbei nach Merkmalen wie Gebrauch, Verarbeitung usw. gegliedert worden. Bei den Fertigungsverfahren ist eine Einteilung in Anlehnung an **Bild 4** vorgenommen worden. Um die am häufigsten aufgetretenen Anforderungen bzw. Fertigungsverfahren herauszustellen sind diese fett hervorgehoben.

Bereits in der Anforderungsliste treten Forderungen an die Verarbeitung wie beispielsweise Zerspanbarkeit und Schweißbeignung auf. Dies resultiert aus der Festlegung bevorzugter Fertigungsverfahren in frühen Phasen der Produktentwick-

lung auf der Grundlage des vorhandenen Maschinenparks eines Unternehmens. Eine wichtige Rolle spielen auch die Anforderungen wirtschaftlicher und dispositiver Art. Die Kosten und die Verfügbarkeit sind neben den technischen und technologischen Faktoren bei der Werkstoffauswahl von höchster Bedeutung und im zu entwickelnden EDV-System zu berücksichtigen.

Bei den Fertigungsanforderungen sollten die Anforderungen und das zugehörige Fertigungsverfahren angegeben werden. Hier sind die gängigen Verfahren wie Drehen, Fräsen, Tiefziehen Schweißen und Härten genannt worden. Die Anforderungen für die einzelnen Verfahren sind sehr allgemeingültig (Zerspanbarkeit, Umformbarkeit, ...) und sind für das zu erstellende Modell der Werkstoffeigenschaften eingehender zu betrachten und mittels „Grundgrößen“ zu beschreiben (vgl. **Kap. 3**).

Ein gleiches Bild wie bei den Anforderungen ergibt sich für die genannten Werkstoffeigenschaften. Sie lassen sich analog in Gebrauchs-, Verarbeitungseigenschaften, Werkstoffkennwerte, wirtschaftliche und dispositive sowie sonstige Eigenschaften gliedern. Am häufigsten sind auch hier mechanische Eigenschaften (Festigkeiten, ...), Gebrauchseigenschaften (Korrosionsbeständigkeit, ...) sowie Verarbeitungseigenschaften (Zerspanbarkeit Schweiß-eignung, ...) vorgekommen.

Die Auswertung der Anforderungen und Eigenschaften ist branchenspezifisch durchgeführt worden. Es konnten aber keine wesentlichen Unterschiede der Anforderungen und Eigenschaften bei den verschiedenen Branchen festgestellt werden.

2.5 Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung

Zur genaueren Kenntnis des Umfeldes des zu entwickelnden Stahlauswahlsystems ist die Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung näher betrachtet worden.

Bei der Frage nach wünschenswerter Unterstützung oder Hilfsmittel bei der Werkstoffauswahl konnte festgestellt werden, daß der Trend eindeutig in Richtung rechnergestützte Werkstoffdatenbank geht.

Für die Schnittstellenproblematik des EDV-Systems zur Stahlauswahl (Übernahme von Werkstoffdaten) ist die Anwendung rechnergestützter Werkzeuge in der Produktentwicklung untersucht worden. **Bild 5** zeigt die Häufigkeit verschiedener Systeme bzw. Programmgruppen. Nahezu alle Un-

ternehmen arbeiten mit CAD. Die Berechnungsprogramme sind für unterschiedliche Anwendungen (Maschinenelementberechnungen, Blechabwicklung, usw.), wobei es sich oft auch um Eigenentwicklungen auf Microsoft Excel Basis handelt. PPS-Systeme sind mit Sicherheit viel häufiger in den Unternehmen anzutreffen als hier zu sehen. Allerdings war das PPS-System kein im Fragebogen vorgegebenes Werkzeug und ist daher mit nur knapp über 10% vertreten.

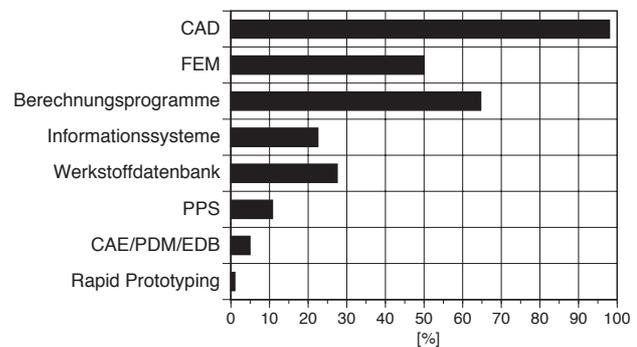


Bild 5: Rechnergestützte Werkzeuge in der Produktentwicklung

Für das Projekt ist der Einsatz von Werkstoffdatenbanken von besonderem Interesse, da die Werkstoffkennwerte nach Möglichkeit aus kommerziell angebotenen Datenbanken entnommen werden sollen. In **Bild 6** ist eine Einteilung der Werkstoffdatenbankangaben der Unternehmen vorgenommen worden.

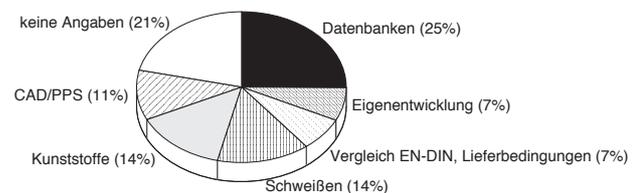


Bild 6: Werkstoffdatenbanken

Bei 25% handelt es sich um „klassische“ Werkstoffdatenbanken. Einen Anteil von etwa 30% haben die Datenbanken mit speziellen Informationen zum Schweißen (Böhler, DVO/DVS) bzw. zu Kunststoffen (CAMPUS). Mit 11% ist der Anteil integrierter Werkstoffdatenbanken (CAD, PPS) angegeben.

In der letzten Frage zur Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung ist nach den Anforderungen an ein rechnergestütztes System zur Werkstoffauswahl gefragt worden. Hier sind die unterschiedlichsten Anforderungen zum Informationsgehalt und zur Anwendung genannt worden.

Zum Informationsgehalt sind im wesentlichen die bereits bekannten Eigenschaften wie Festigkeiten oder Angaben zur Verarbeitbarkeit aufgetreten.

Weiterhin sind des öfteren Angaben zur Marktgängigkeit der Werkstoffe, zu Werkstoffumschlüsselungen (DIN - DIN EN - intern. Normen), zu erhältlichen Halbzeugabmessungen sowie das Aufführen von Anwendungsbeispielen gewünscht worden. Ein wesentliches Kriterium ist auch die Erweiterung der Daten um betriebsspezifische Angaben, also eine gewisse Anpassungsmöglichkeit des Systems an die Gegebenheiten des Unternehmens. Hier sind u.a. Lagerbestände, Kennzeichnung von Vorzugs- und Vermeidwerkstoffen und Kosten zu nennen.

Das Werkstoffauswahlssystem muß anwenderfreundlich sein und eine einfache Bedienung aufweisen. Nach Möglichkeit sollten für das System alle gängigen Betriebssysteme in Frage kommen, allerdings ist überwiegend der Wunsch nach einer PC-Plattform bzw. Windows-Oberfläche geäußert worden. Als eine weitere wesentliche Anforderung haben sich die Kosten des Systems herausgestellt. Die Kosten werden stark von den eingesetzten kommerziellen Werkstoffdatenbanken abhängen.

Bei der Entwicklung des EDV-Systems zur Stahlauswahl ist diesen Anforderungen bzw. Bedürfnissen aus der industriellen Praxis entsprechend Rechnung zu tragen.

3 Modellierung der Anforderungen und Eigenschaften

Der nächste Schritt ist die Erstellung eines Modells der Anforderungen und Eigenschaften zur Verarbeitung im EDV-System. Für die Modellierung wird die formale Beschreibungssprache EXPRESS (ISO 10303-11) verwendet. Hiermit können die Datenstrukturen auf einfache Weise beschrieben werden. In **Bild 7** ist ein Ausschnitt aus dem Anforderungsmodell zur Demonstration der EXPRESS-Syntax dargestellt.

Die Anforderungen, die aus den Fragebögen stammen, sind bereits vorsortiert und bestimmten Kategorien zugeordnet worden (s. **Tab. 4** und **Tab. 5**). Der Konstrukteur arbeitet mit der Anforderungsliste, die bei der Aufgabenklärung aufgestellt und in den folgenden Konstruktionsphasen ergänzt und aktualisiert wird. Zur Gliederung der Anforderungsliste nach Hauptmerkmalen ist eine Leitlinie vorhanden /4/. Für die Modellierung der Anforderungen sind die Gliederungskriterien der Anforderungsliste der Leitlinie mit den Kategorien der Anforderungen zu kombinieren.

```
ENTITYAnforderung
    SUPERTYPEOF(mechanische_Eigenschaften,
                physikalische_Eigenschaften, ...)
...
END_ENTITY;

ENTITYmechanische_Eigenschaften
    SUBTYPEOF(Anforderung);
Zugfestigkeit      :      Spannung;
Bruchdehnung      :      Kennwert_dimensionslos;
...
END_ENTITY;
```

Bild 7: Auszug aus dem Anforderungsmodell

Im allgemeinen sind die Anforderungen globaler Art. Der Konstrukteur gibt z.B. das Fertigungsverfahren Drehen an. Daraus resultiert die Anforderung „gute Zerspanbarkeit“ an den Werkstoff, die häufig nicht einmal explizit in der Anforderungsliste steht. Diese Anforderung muß zum Herausfinden der Werkstoffe mit guten Zerspaneigenschaften mit den Werkstoffeigenschaften verknüpft werden. Die Zerspanbarkeit wird durch den Kohlenstoffgehalt, durch Legierungselemente und durch eventuelle Wärmebehandlungen beeinflusst. Auf der Seite der Werkstoffeigenschaften ist also ein viel höherer Detaillierungsgrad und ein Zerlegen in Grundgrößen erforderlich. Natürlich kann auch nach Werkstoffgruppen ausgewählt werden, denn Automatenstähle weisen i.d.R. günstige Zerspaneigenschaften auf. Problematisch ist hier nur die Quelle der Information. Nicht alle am Markt erhältlichen Werkstoffdatenbanken enthalten Angaben zu Werkstoffgruppen oder Verarbeitbarkeit.

4 EDV-System zur rechnerunterstützten Stahlauswahl

Das EDV-System zur rechnerunterstützten Stahlauswahl soll mit Hilfe von Tcl/Tk (**T**ool **C**ommand **L**anguage und **T**ool **K**it) implementiert werden. Tcl/Tk ist ein System zur Entwicklung und zum Einsatz graphischer Benutzerschnittstellen /5/. Ein Vorteil dieses Systems ist die Plattformunabhängigkeit. Die Programme laufen auf den gängigen Betriebssystemen Windows, UNIX und MacOS. Mit Tcl/Tk können einfach Bedienungsoberflächen aufgebaut und damit der industriellen Forderung nach hoher Anwenderfreundlichkeit nachgekommen werden. Die Hauptmenüleiste des EDV-Systems beinhaltet die folgenden Programmpunkte:

- Angaben zu ...
- Anforderungsliste

- Werkstoffinformation
- Datenpflege
- Programmende

Dieses Hauptmenü begleitet den gesamten Produktentwicklungsprozeß und kann zu jedem Zeitpunkt konsultiert werden.

Bei „Angaben zu ...“ können Angaben zum Gebrauch, zur Fertigung (z.B. bevorzugte Fertigungsverfahren), zu Vorzugs- und Vermeidwerkstoffen für die Konstruktionsaufgabe usw. gemacht werden, die dann automatisch in die Anforderungsliste übernommen werden. Es besteht unter dem Menüpunkt „Anforderungsliste“ aber auch die Möglichkeit die Anforderungen direkt in die Anforderungsliste einzugeben. Anforderungen, die die Werkstoffauswahl nicht beeinflussen, sollen auch berücksichtigt werden. Diese werden aber nur textuell verarbeitet. Die Anforderungsliste stellt somit ein zentrales Dokument der rechnergestützten Stahlauswahlmethodik dar. Auf Anforderungslisten ähnlicher, bereits ausgeführter Produkte kann bei Neuentwicklungen oder Variantenkonstruktionen ebenfalls zurückgegriffen werden. Bei Aufrufen des Menüpunktes „Werkstoffinformation“ erhält der Konstrukteur Auskunft über die geeigneten Werkstoffe in Abhängigkeit des Fortschritts im Konstruktionsprozeß. Weiterhin kann hier eine Werkstoffsuche durchgeführt werden. Aus der Fragebogenaktion klang indirekt der Wunsch nach Transparenz der Werkstoffauswahl bzw. nach endgültiger Werkstofffestlegung durch den Konstrukteur heraus. Es ist somit besonderer Wert auf die Darlegung des Entscheidungsfindungsprozesses zu legen, der auch unter „Werkstoffinformation“ abgelegt sein wird. Für die Wissensverarbeitung und -bereitstellung sind im Rahmen der Entwicklung des EDV-Systems entsprechende Werkzeuge und Methoden zu erarbeiten. Im Punkt „Datenpflege“ werden die betriebspezifischen Angaben behandelt und beispielsweise die Kennzeichnung von generellen Vorzugs- und Vermeidwerkstoffen vorgenommen.

5 Zusammenfassung

Nach einer kurzen Einführung in die Problematik der Werkstoffauswahl ist die Auswertung der durchgeführten Unternehmensbefragung beschrieben worden. Dabei wurde der Konstruktionsprozeß, die Fertigung und die Rechnerunterstützung jeweils im Zusammenspiel mit der Werkstoffauswahl näher betrachtet. Die hierbei herausgestellten Bedürfnisse der industriellen Praxis sind und werden in die Ent-

wicklung der Stahlauswahlmethodik bzw. des EDV-Systems einfließen. Desweiteren sind einige zu beachtende Aspekte bei der Modellierung der Anforderungen und Eigenschaften aufgezeigt worden. Abschließend ist der Leistungsumfang des zu erstellenden Systems zur rechnerunterstützten Stahlauswahl kurz dargestellt worden.

6 Literatur

- /1/ Große, A.; Schiedeck, N.: Institutsmittellung Nr. 21, IMW Clausthal 1996
- /2/ Bernst, R.: Werkstoffe im wissenschaftlichen Gerätebau. Leipzig 1975
- /3/ VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1985
- /4/ Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer-Verlag, 2. Aufl., 1986
- /5/ Ousterhout, J. K.: Tcl und Tk - Entwicklung grafischer Benutzerschnittstellen für das X Window System, Addison-Wesley, 1995

Danksagung: An dieser Stelle sei noch einmal ein Dank an den ANP im DIN und an die Mitarbeit der zahlreichen Unternehmen ausgesprochen.

ProManual: Erstellung elektronisch verfügbarer Produkthandbücher

Ort, A

Das INCO-COP Projekt ProManual befaßt sich mit der Erstellung von elektronisch verfügbaren Produkthandbüchern. Dabei sollen vorwiegend multimediale Techniken zum Einsatz kommen. An dem vornehmlich auf Technologietransfer ausgerichteten Projekt beteiligen sich vier Universitäten und zwei Industrieunternehmen. Das Ergebnis der Projektarbeit wird ein Handbuch zur Erstellung von elektronischen Handbüchern und zwei fertige Produkte für die Industrieunternehmen sein.

ProManual is a INCO-COP European project. Subject are electronic available product manuals making use of multimedia techniques. Four universities and two enterprises are partners in this project, which major aspect is technology transfer. As a result, the project will provide a guideline for electronic product manuals and two ready to use manuals for the industrial partners.

1 Ziele des Projektes

Das INCO-COP Projekt 96/0231 „Intelligent Product Manuals“ entwickelt einen Leitfaden zur Erstellung von Handbüchern und Dokumentationen eines Produktes. Dabei werden in diesem Projekt nur die Phasen ab der Bereitstellung des Produktes

(Auslieferung, Installation, Betrieb, Wartung, Abbau und Entsorgung) betrachtet.

Das Projekt hat eine Laufzeit von drei Jahren. Die Fördersumme beträgt 300.000 ECU, die knapp 16 Personenjahre finanzieren. Projektbeginn war April 1997.

Die Hauptziele des Projektes sind:

- Entwicklung eines Leitfadens für die Erstellung von „intelligenten“ Produkthandbüchern, die über das Informationsangebot von herkömmlichen Handbüchern hinausgehen
- Entwicklung einer gemeinsamen „Wissensarchitektur“ für alle produktbezogenen Daten (siehe **Bild 1**)
- Kleinen und mittelständischen Unternehmen Zugriff auf neue Technologien vermitteln, die der Erfassung, Strukturierung und Bereitstellung von Produkt- und Unternehmensdaten dienen. Hiermit soll die systematische Bereitstellung von Wissen und die Entwicklung von elektronischen Produkthandbüchern gefördert werden.
- Erhöhung der Effizienz bei Kundenberatung und Wartung von ausgelieferten Produkten

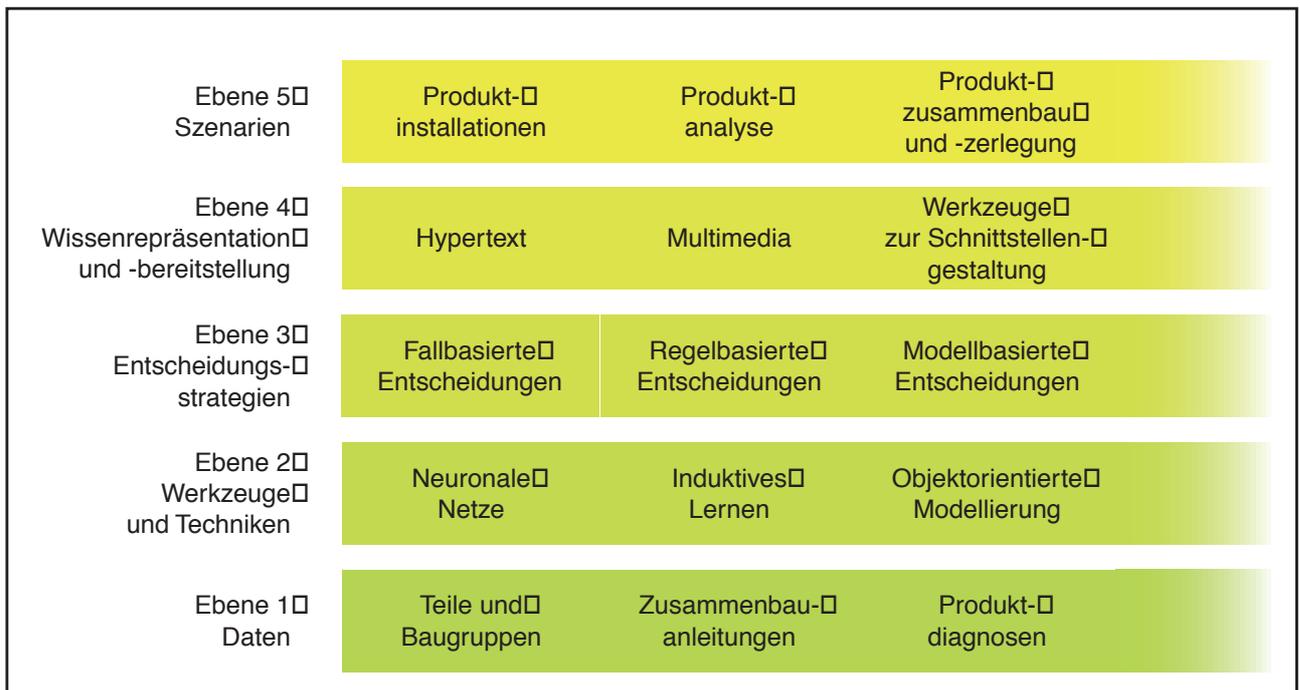


Bild 1: Mehrschichtenarchitektur für intelligente Produkthandbücher

Dabei steht nicht die Entwicklung von neuen Werkzeugen und Softwareprogrammen im Vordergrund. Es geht vielmehr um die effektive Kombination und Umsetzung von vorhandenen Technologien und um die gewinnbringende Verknüpfung von Produkt- und Unternehmensdaten.

Ein Nebeneffekt wird die Einführung von Methoden des Concurrent Engineering sein. Das sich während einer Produktentwicklung ansammelnde Wissen wird geeignet aufbereitet, um es für spätere Lebensphasen des Produktes, aber auch für neuere, gegebenenfalls parallel ablaufende Entwicklungen abrufen zu können. Dabei kommen sowohl Techniken der Produktdatenmodellierung als auch Kommunikations- und Schnittstellentechniken und Methoden der künstlichen Intelligenz zum Einsatz.

2 Die Partner

Das Konsortium ist, im Einklang mit der Idee des INCO Förderungsprogrammes, vorwiegend aus Partnern sich entwickelnder Länder zusammengesetzt (**Bild 2**). Die beiden einzigen Partner aus Ländern der EU besitzen in diesem Projekt mehr eine beratende und initiatorische Funktion.



Bild 2: Partner in ProManual

Als Experte für Techniken der Künstlichen Intelligenz ist das Institut System Engineering der Universität of Wales, Cardiff im Projekt vertreten. Es ist gleichzeitig Projektkoordinator. Das Institut für Maschinenwesen (IMW) der Technischen Universität Clausthal ist der Know-how Träger für Produktdatenmodellierung. Die beiden Universitäten in Budapest (Ungarn) und Rouse (Bulgarien) fungieren als Schaltstelle zur dort ansässigen Industrie. Sie leisten außerdem die Entwicklungsarbeiten und Implementierungen der elektronischen Produkthandbücher. Als Endanwender und Zulieferer von technischen Daten sind zwei Firmen im Konsortium. Die rumänische Firma Agromachina (Rousse) ist ein Hersteller von landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen. Die ungarische Firma EXCEL stellt

Werkzeugmaschinen her. Beide definieren die industriellen Anforderungen für die elektronischen Produkthandbücher und liefern die Inhalte für die beiden Endprodukte.

3 Die Arbeitspakete

Die Aufgaben sind auf vier Arbeitspakete verteilt. Zu Projektbeginn geht es um eine eingehende Analyse des Problembereiches und der Vorlage von möglichen Lösungsvorschlägen. Die Analyse beinhaltet eine Recherche über die bestehenden Normen zur Erstellung von Produkthandbüchern (der konventionellen Art) und der Untersuchung von bereits existierenden Produkthandbüchern größerer und führender Unternehmen. Zusätzlich dazu stehen die vorliegenden Handbücher der beteiligten Industriefirmen zur Verfügung. Ziel der Arbeit ist eine Anforderungsliste, die an elektronische Produkthandbücher gestellt wird. Die Anforderungen leiten sich aus den Defiziten der existierenden Handbücher und aus der Innovation neuer Techniken zur Präsentation von Wissen ab. Zur Erstellung dieser Anforderungsliste werden auch Informationen über kommerziell verfügbare Systeme herangezogen, mit denen eine Wissenrepräsentation und eine Verwaltung von Produktdaten (über den Lebenszyklus hinweg) machbar ist. Abschließend steht die Spezifikation für elektronische Produkthandbücher - sie beschreibt deren Funktionen und Aktivitäten - und ein Lösungsvorschlag in Form eines Prototypen.

Der nächste Schritt konzentriert sich auf die Inhalte des im ersten Arbeitspaket entwickelten Gerüsts. Eine Untersuchung über die möglichen und sinnvollen Datenquellen geht der methodischen Entwicklung effizienter Akquisitionsstrategien voraus. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Chancen gelegt, bereits Daten während der Produktentwicklung für die später herauszugebende Dokumentation zu erfassen und entsprechend aufzubereiten. Dabei soll das sich aufbauende Produktwissen gleichzeitig sinnvoll mit dem bereits vorhandenen Firmenwissen verknüpft werden. Beides, Erfassung und Aufbereitung, sollen weitestgehend automatisiert erfolgen. Gleichzeitig muß auf die Vollständigkeit und die Widerspruchsfreiheit geachtet werden, um den Nachbearbeitungsaufwand der Daten gering zu halten. Auch hierfür werden so weit wie möglich bestehende Werkzeuge und bekannte Techniken herangezogen. Die kritische Auswahl erfolgt im Laufe des Projektes. Die abschließende

Festlegung der Architektur für elektronische Produkthandbücher, sowie die Einigung auf eine sinnvolle Plattform, die auch den praktischen Anforderungen entsprechen kann, ist ebenfalls Inhalt dieses Arbeitspaketes. Damit sind die methodischen Arbeiten des Projektes abgeschlossen.

Die Umsetzung der Ergebnisse aus den beiden vorangegangenen Arbeitspaketes ist Inhalt des dritten. Je ein Prototyp eines elektronischen Produkthandbuches soll für die beiden Industriepartner erstellt werden. Hierbei werden die zuvor ausgewählten Werkzeuge und Techniken verwendet. Zugleich werden die Strategien definiert, mit denen das Wissen ausgewählt und präsentiert wird. Ziel ist es, eine möglichst effiziente Bereitstellung des Produktwissens für den Einsatzbereich zu erzielen. Hierzu gehört auch die Entwicklung einer Benutzerschnittstelle für die Verwendung des Handbuches.

Abschließend werden die Einsatzbereiche und die Leistung der elektronischen Produkthandbüchern quantitativ getestet und bewertet. Die dafür notwendigen Bewertungsschemata werden zuvor ebenfalls in diesem Arbeitspaket entwickelt. Wichtig ist, daß die Wissensakquisitions- und Wissensbereitstellungsstrategien und somit auch die

Prototypen aufgrund der erzielten Ergebnisse und Erfahrungen noch einmal einer Optimierungsphase unterzogen werden.

Eine Übersicht der Arbeitspakete zeigt **Tab. 1**. Das Projektmanagement stellt ein eigenes Arbeitspaket dar, ist aber in der Tabelle nicht weiter aufgeführt.

4 Ergebnisse

Als projektrelevant wurden die folgenden Probleme bei der Verwendung von konventionellen Produkthandbüchern festgestellt:

- Die Präsentation in Form von Fließtext und der große Umfang erschweren in der Regel das schnelle und zielgerichtete Auffinden von spezifischen Informationen
- Graphische Darstellungen sind starr und „nur“ zweidimensional
- Es gibt keine Interaktion zwischen dem Handbuch und dem (suchenden) Benutzer
- Simultane Verwendung eines Handbuches kann nur durch mehrfache Kopien erreicht werden. Das verursacht auch Probleme der Konsistenz und der Versionshaltung. Hinzu kommt das Problem der damit erforderlichen

Tab. 1: Übersicht der Arbeitspakete

Arbeitspaket1 Problemstudie und Lösungsentwicklung	Arbeitspaket2 Methodisches Erstellen von Intelligenten Produkthandbüchern	Arbeitspaket3 Entwicklung und Implementierung von Pilotanwendungen	Arbeitspaket4 Validierung der Pilotanwendungen im industriellen Einsatz
Studie von relevanten Normen zur Erstellung von (konventionellen) Produkthandbüchern	Untersuchung möglicher Datenquellen für intelligente Produkthandbücher	Implementierung der Wissensakquisitionswerkzeuge	Bewertung der implementierten Prototypen
Analyse von existierenden (konventionellen) Produkthandbüchern	Analyse existierender Techniken und Werkzeuge zur Erfassung und Darstellung von Produktwissen	Erfassung des für die Prototypen notwendigen und sinnvollen Wissens – aufgeteilt für die beiden Branchen Werkzeugmaschinen und landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen	Verwertung der Ergebnisse der Validierungsphase für die Verbesserung der Prototypen
Studie von existierenden Systemen zur Produktdatenverwaltung	Entwicklung einer Methode zur Erfassung vom Produktwissen während der Entwicklung und Verknüpfung mit vorhandenem Wissen	Definition der Strategien zur Auswahl und Präsentation von Wissen	
Spezifikation der Funktionen und Aktivitäten eines Intelligenten Produkthandbuches	Definition einer Architektur für intelligente Produkthandbücher	Bereitstellung einer Benutzeroberfläche	
Anforderungs- und Modellierung für die Verwaltung und Nutzung von Produktdaten	Auswahl der Entwicklungsumgebung für die Prototypen		
Entwurf eines Lösungsvorschlages in Form eines Prototypen			

Neuerscheinungen bei Änderungen

Diese Probleme können mit der Anwendung von neuen elektronischen Medien und Darstellungsformen verringert werden. Mit dem Einsatz des Rechners bieten sich dann auch weitere Integrationsmöglichkeiten an, wie zum Beispiel die automatische Erfassung von Daten während der Produktentwicklung, die Generierung von „Seiten“ eines elektronischen Produkthandbuches, der Auswertung von Daten mittels Methoden der künstlichen Intelligenz, animierte Darstellungsformen und Interaktion etc.

Ein elektronisches Produkthandbuch sollte damit eine Client-Server-Architektur aufweisen, um paralleles Arbeiten an einem Problem zu unterstützen. Techniken der multimedialen Repräsentation von Wissen gehören ebenso dazu wie die Anwendung der Methoden der künstlichen Intelligenz zur Wissenserfassung und -aufbereitung.

Insgesamt läßt die Anwendung von elektronisch verfügbaren Produktdokumentationen eine flexiblere Handhabung und eine schnellere Lösungsfindung bei Problemen erwarten. Es soll aber nicht aus den Augen verloren werden, daß der Einsatz neuer Technologien auch Schwierigkeiten und veränderte Anforderungen mit sich bringt. Dies dürfte vor allem im Bereich von extremen Einsatzbereichen und bei der Akzeptanz des Benutzers der Fall sein. Gerade letzteres ist ein nicht zu unterschätzender Faktor, so daß bei der Entwicklung der Handbücher auf diesen Aspekt besonderer Wert gelegt wird.

5 Zusammenfassung

Der Einsatz von elektronisch verfügbaren Produktdokumentationen in Bereichen der Produktinstallation, -wartung und -entsorgung verspricht eine effizientere Lösungsfindung bei auftretenden Problemen. Dies wird vor allem dadurch erreicht, daß bereits bei der Produktentwicklung relevante Daten erfaßt und aufbereitet werden können; die Erstellung der Dokumentation also besser in den Entwicklungsprozeß eingebunden werden kann. Das Projekt ProManual trägt mit der Entwicklung der dafür notwendigen Methoden zu einer breiteren Anwendung solcher Handbücher bei.

KOMB - A new approach to hazard analysis in plant design

Bönig, S.; Heimannsfeld, K.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 180 „Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen bei besonderen thermischen, mechanischen oder chemischen Belastungen“ befaßt sich das Teilprojekt A2 „Wissensbasierte Fehler- und Störfallanalyse bei der Entwicklung verfahrenstechnischer Maschinen mit Methoden der präventiven Störfallanalyse“. Im folgenden soll eine neue Methode zur Fehler- und Störfallanalyse vorgestellt.

This paper will develop requirements for a safety analysis and present a new approach for a failure and hazard analysis in early phases of plant design. This work has been carried out in the special research area 180 “Design of process engineering machinery with special reference to exceptional mechanical, thermal or chemical stress” in the project A2 “Knowledge based failure and hazard analysis in the design of process engineering machinery”.

1 Requirements for safety analysis methods in plant design

When establishing the requirements to carry out a safety analysis method in plant design special features have to be taken into account. The requirements result from a multitude of different substances used in chemical plants which may be aggressive, toxic, corrosive or flammable. Different effects have to be considered: effects among the substances for instance, effects between the substances and adjoining materials in view of operating parameters as well as corrosive influences etc.

Furthermore the human factor is important when looking at chemical plants. The probability of a fault action or a late action is dependent on different influence factors and must be considered when carrying out safety analysis methods: the operator often has to intervene, for instance to repair or to replace abrasive elements, to start-up or shut down the plant or has to transport materials. Each change in operation indicates risks because of unstable operating conditions.

Depending on their origin most safety analysis methods have been defined with their specific requirements. However to select the most

appropriate method the user will have to consider a lot of alternatives. In the following we will demonstrate some of the most important requirements for safety analysis which have been divided according to four different classes:

- General aspects
- Integration into the design process
- Application to chemical plant design
- Law requirements

1.1 General aspects

The major aspect of the industrial use is the economic benefit obtained. Therefore costs and time consumed must be acceptable and especially predictable. Kuhlmann [7] demands that the external safety requirements are fulfilled while minimizing the additional costs for safety measures. To save further costs and time the reusability of past analysis should be considered. Reusability goes along with good precise documentation. Each step taken as well as the results should be documented in a clear, precise and comprehensive fashion understandable also to external experts.

To ensure that no hazard is overseen the approach should guide the analyst systematically while allowing for some creative freedom. The analysis should be extensible to support later changes and extensions of the system in review. The analysis should clearly elicit the event chain that transforms a potential hazard into an accident. Furthermore the method should support new as well as existing systems. It should also allow to reexamine parts of a system when changes occur.

The usability is often defined by the implementation rather than by the method itself. The user interface, implemented through paperwork or a computer program is the key for the acceptance by the user and its success. Finally the analysis should yield a final and definite result.

1.2 Integration into the design process

It is well known that an early integration of hazard analysis will result in a reduction of costs and time. However as input data is fuzzy in early conceptual design phases it is necessary that each stage in the

design of a system is accompanied with the appropriate method.

The approach itself has to be adapted to the specific design process of the domain of application. It should be organized in small and manageable parts. Provisions for several iterations in the analysis should be included. The analysis should start as early as possible in the design process and should accompany the design process in parallel /7/. For a concurrent application of safety analysis methods throughout the design process it is necessary to combine different methods.

The analysis should be able to cope with several iterations, since changes may introduce further safety relevant aspects. Optional the documentation should support the possibility of changes /10/. Maintenance, inspections and human operators (and their erroneous behavior) should be taken into account while designing the system. The design should follow the basic principles of safe design for life, failsafe design and protection against sabotage /11/.

1.3 Application to chemical plants

A hazard and safety analysis applied to chemical plants should support the following requirements:

- It should be possible to examine the complete plant or subsystems. Therefore the plant is divided into units of functionality and function elements.
- The following data should be taken into account if the design in review is a new design:
 - Plant organisation, production process, working method, all possible states of operation (including health hazards i.e. noise emissions, dust and hazardous substances), substances used and their properties (i.e. from DIN 52900 or Dows fire and explosion index and hazards classification guide), process parameters (i.e. pressure, temperature, mass, flows), process equipment materials, plant layout, safety relevant control equipment,...
- The hazard analysis method should be able to cope with continuous and batch processing /8/.
- It should be possible to visualize and to analyse the chain of events resulting from an initial event.

1.4 Law requirements

Safety critical plants may be required to conduct hazard analysis by law (i.e. BImSchG, OSHA standards). The hazard analysis must therefore be

comprehensible to the supervising authority. The results of the analysis should document the effort.

The german **BImSchG** for example requires the analysis to include the following information /6,9/ :

- description of the plant or the process under normal conditions, including type, amount and process parameters of the chemicals used,
- description of the safety relevant components (components with hazardous materials, safety devices, ...),
- description of hazards (internal hazards, external hazards, hazards from sabotage),
- investigation of initial or starting events,
- description of accident prevention measures, description of accident limiting measures, evaluation of the accident effects.

In the next chapter we will look at the procedure for a Hazard and Operability Study (HAZOP) to shown how this specific method fulfills the defined requirements. After the discussion of advantages and disadvantages of HAZOP we will develop a new approach in chapter 3.

2 HAZOP

The Hazard and Operability Study (HAZOP) has been developed in England end of the seventies /5/ to discover and avoid hazards originating from chemical plants. "HAZOP is a technique which provides opportunities for people to let their imagination go free and think of all possible ways in which hazards or operating problems might arise, but - to reduce the chance that something is missed - it is done in a systematic way" /4/. The study is carried out by a team from different fields of expertise. In this way the members will stimulate each other and will build upon each other's ideas. Detailed information as plant layout, flow sheets etc. is needed to carry out the study.

HAZOP starts with the partitioning of the system into subsystems (or main plant items). For each subsystem the system function is defined. A pipeline connecting two items for example should allow only forward flow. The pipeline is then analysed by creating a deviation by combining a guide word with the system function. The seven guidewords are describing changes in quality and quantity such as NO/NONE, MORE OF, LESS OF, AS WELL AS, PART OF, INVERSION and OTHER. The next step evaluates the deviation for the possible causes, the effects and required countermeasures and actions /1/. Due to the strong systematic approach HAZOP

is easy to learn. Each step in the study as well as the end is clearly defined.

The costs and the work for a HAZOP study can be tremendous. The reuse of a study for similar arranged components is seldom feasible. Furthermore it is not possible to consider combinations of faults besides individual faults and hazards.

After proposing countermeasures the study has to be repeated. Without repetition the system might be even unsafe. A weak point of HAZOP is that there is no control concerning the definition of the system function. When evaluating the system function the team just checks the intended purpose, its completeness and correctness. The purpose by itself will not be analysed. Furthermore it is not always guaranteed that by the means of the guide-words the allowed increase/decrease of the process parameters can be shown precisely in order to estimate the causes and the effects on the system.

HAZOP cannot fulfill all requirements besides its advantages. The following weak points cannot be accepted here:

- the high amount of time when defining the "system function" for each subsystem and the doubt of its correctness,
- the documentation of causes and effects without systematic and clear order to work out sensible and sufficient countermeasures without high documentation time.
- Correlations cannot be shown in the HAZOP formular, there is no space for additional informations.

In the following chapter a modified HAZOP analysis will be introduced to overcome some of these problems.

3 The KOMB-Analysis

The KOMB-Analysis has been developed as a qualitative safety analysis to investigate chemical plants in the stage of design phase when P&I-flowsheets are available [3]. KOMB- Analysis means:

Kombinierte **O**perabilitäts-, **M**atrix- und **B**ewertungsanalyse.

The aim of this analysis is to discover faults, to determine causes and effects, to show its correlations as well as to work out and assess necessary countermeasures.

In connection with other analysis methods KOMB can be used in design process of chemical plants as an integrated safety analysis. After "Definition of components structure" when single machines, devices or rigs have been chosen to carry out the physical operations needed and when the principal measures have been established the modified analysis can be applied. After realizing necessary countermeasures as a result of the KOMB-analysis the design process may continue: the requirements of each element can be established.

Actualized informations of all stages of the design process must be available to the interdisziplinäre team. Besides the P&I-flowsheets, variants of solutions inclusive, the team needs all line or process diagrams and the list of properties.

The user has to be aware of safety and economic aspects as well as is obliged to consider ethical factors when planning chemical plants with high risks for mankind, machines and environment. "Inherent safety" must be given priority.

The process to carry out KOMB is shown in fig. 3.1. The main steps are as follows:

- *Dividing the system into subsystems,*
- *Examination of safety relevant components,*
- *Processing of components K1, ..., Kn,*
- *Detailed function of component K1,*
- *Determination of realistic faults S1,1;...; S1,m,*
- *Determination of causes Cx,*
- *Determination of effects Ex,*
- *Processing of components K2, ..., Kn,*
- *Creation of causes-effects-matrix,*
- *Creation of causes-components-matrix,*
- *Assessment of measures (1),*
- *Actualization of causes-effects-matrix,*
- *Creation of effects-components-matrix,*
- *Assessment of measures (2),*
- *Changes in planing documents,*
- *Assessment of hazards.*

⇒ *Dividing into subsystems*

Similar to HAZOP subsystems of the P&I-flowsheet will be coloured marked. The subsystems have to be checked in succession but the analysis should be carried out in view of the safety of the entire system. Size and amount of subsystems are

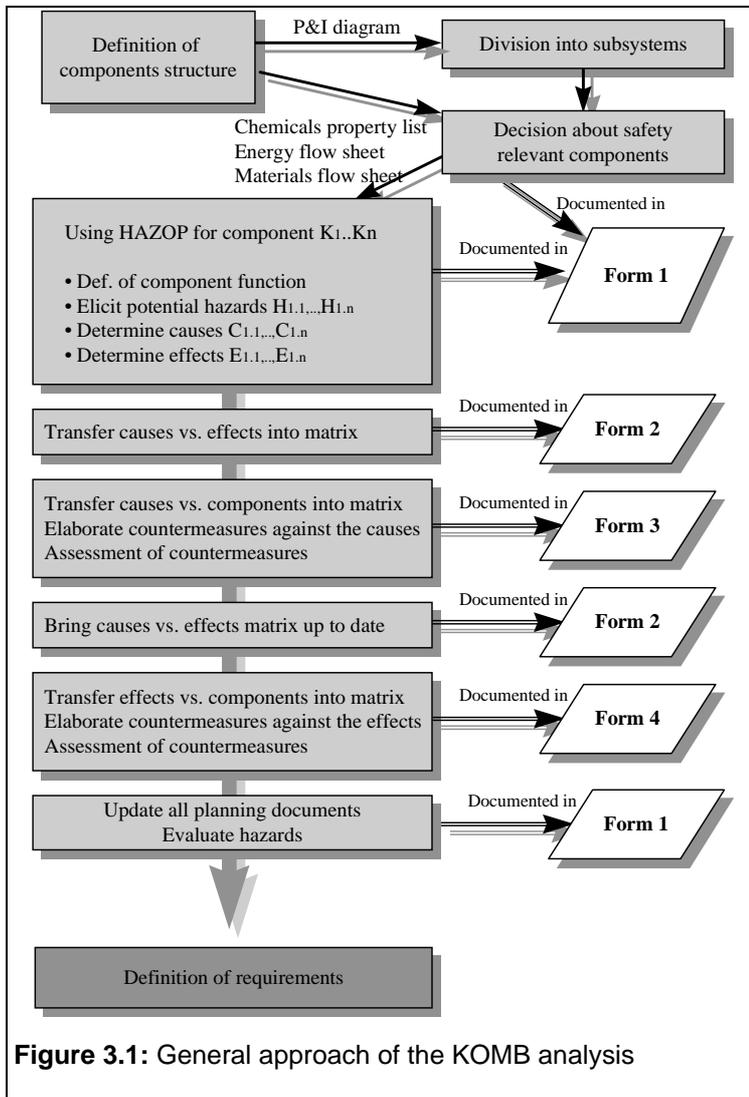


Figure 3.1: General approach of the KOMB analysis

dependent on the kind of plant and the user's experience. A subsystem may be for instance a system that can run by its own, that is important to the entire system or that is an aid to operate the plant /9/.

An additional description of the plant and process is necessary when this analysis is used to analyse chemical plants for which a licence is required for, see 12. BImSchV.

⇒ *Examination of safety relevant components*

In order to reduce the time needed only safety relevant components will be considered (as demanded in 12. BImSchV).

1. Parts of plant with special substances:

bins, silos, bunkers, reactors, filters, separators, washers, towers, pumps, compressors, ventilators, coolers, heat exchanger, pipelines, ...

2. Protective devices:

relief and safety valves, fire fighting installations, catch basins, ...

3. Other parts of plant important to operation reliability:

machines to ensure addition and output of energy, machines to ensure mass flux, parts of plant to discharge, eliminate or to detain substances (according to appendix 2 of 12.BImSchV),...

To carry out this analysis the following criteria will be added:

4. Substances used in the operation:

correct description, material data, compounds, additives, properties, flash point,...

5. Process parameters:

pressure, temperature, mass, mass flow, concentration, properties,...

⇒ *Processing of components K1, ..., Kn:*

The components as mentioned above will be numbered and will be worked on separately.

⇒ *Detailed function of component K1:*

The function of component K1 of the subsystem has to be described shortly.

⇒ *Determination of realistic faults S1,1; ...; S1,m:*

Realistic deviations from normal operation, further on called hazards, will be analysed first concerning component K1 by the means of the function and the guidewords of HAZOP, see table 3.1. **Table 3.1:** Guidewords used in HAZOP and KOMB /1,4/

Guidewords	Meaning
NO/NONE	negation of the function
MORE OF/LESS OF	quantitative increase or decrease
AS WELL AS	qualitative increase
PART OF	qualitative decrease
INVERSION	the logic opposite of the function
OTHER	total replacement (exchange)

The guidewords are applied to the component's function, for example its way of working or the substance's properties.

⇒ *Determination of causes Cx:*

The causes of each hazard S1,x will be analysed. The detailed informations about the causes of hazard shall be helpful when eliminating the hazard in the analysis later on. Different cases can be taken into account:

- One certain cause results in more than one hazard: the number X of the cause will be the same for each hazard.
- One hazard will be caused by more than one cause, which is called common-mode-failure. The single causes have to be listed under one number X. Causes of hazards may be failure or reduction of the component, failure in design, operation or material.

⇒ *Determination of effects Ex:*

In the following step the effects Ex for each hazard S1 has to be determined. Different effects get different numbers, identical effects must get the same number. As before the analyst has to differ the following cases when numbering the effects:

- One hazard may cause different effects,
- One effect may be caused by different hazards.

⇒ *Processing of components K2,Kn:*

After considering component K1, the analysis has to be carried out in the same way for the remaining

components K2 ... Kn. In the case of repeating causes/effects the analyst is free to use just the corresponding number to reduce the time of documentation. The results of KOMB will be recorded in four different formulars. All final results of the analysis will be recorded in the Table of Results, form 1 (see Table 3.2) which includes the following informations:

- Col 1: the component.
- Col 2: function of the component
- Col 3: possible deviations from normal operation.
- Col 4: causes of potential deviations.
- Col 5: effects of potential deviations,
- Col 6: countermeasures implemented,
- Col 7: results from countermeasures

⇒ *Creation of causes-effects -matrix (Form 2):*

- The determined causes Cx and effects Ex will be recorded into the "causes-effects-matrix" underneath the other and side by side respectively, see table 3.3. Logic correlations between single causes of hazards and its possible effects will be symbolized through an X in the corresponding area.
- In each row an X indicates the effects Ex that will be caused by a certain cause Cx.
- In a column an X shows the different causes Cx of one special effect Ex.

The number of X indicates whether or not it is sensible to eliminate the causes directly or if this is impossible to reduce or to prevent the effects. The amount shown should be only a help to choose

Table 3.2: Table of Results (Form1)

1	2	3	4	5	6	7	
components	function	hazards/ risks/faults	causes	effects	measures	hazard eliminated	
						Yes	No
K1		S1,1	C1	E1			
				E2			
			C2	E3			
			C3	E4			
		S1,2	C3	E5			
K2		S2,1...			
...				
Kn		Sn,1...			

means of three different criteria.

18. Optimal conditions for safety and economy through assessment of measures to eliminate causes and/or effects of hazards.
19. Assessment of hazards with the aim to actualize the planning documents.
20. With some extensions (i.e. description of plant,...) the results are usable to document the effort for safety as required by some national laws.
21. Possibility to extend the analysis for later investigation. Changes can be added in the forms without requiring a lot of further documentation time.

4 Conclusion

To minimize risks starting out from chemical plants as well as to design economically it is necessary to analyse the system already in parallel to the design process. Dependent on the phase of design the requirements to carry out the safety analysis vary because of the differences of informations available. Even though HAZOP is the most appropriate method to analyse P&I-flowsheets after finishing the phase of "Definition of components structure" the severity of the disadvantages of HAZOP led us to create a modified method to analyse these kinds of system with the best possible results. The KOMB analysis is based on the essential features of HAZOP adding the following new criteria:

- showing clearly the correlations among causes, effects and places of hazards even when analysing multi-component systems;
- assessing of the proposed countermeasures in order to update the planning documents;
- easy integration of the countermeasures into the complete analysis with a minimum of effort;
- extensions can easily be added later on by the means of four adequate forms.

5 Literature

- /1/ **Bartels, K.; Hoffmann, H.; Rossinelli, L.** 1990: Risikobegrenzung in der Chemie, PAAG-Verfahren (HAZOP), Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen Industrie, Heidelberg 1990
- /2/ **BImSchG, BImSchV:** Bundesimmissionsschutzgesetz, Verordnung zum BImSchG, 1974/1990, Germany
- /3/ **Bönig, S.** 1994: Konzeption einer Methode zur sicherheitsgerechten Planung und Konstruktion verfahrenstechnischer Anlagen, Diplomarbeit, TU Clausthal 1994
- /4/ **Kletz, T.A.** 1992: HAZOP and HAZAN, Identifying and Assessing Process Industry Hazards, Institution of chemical engineers, Hemisphere Publishing Coporation, USA 1992
- /5/ **Knowlton R.E.** 1981: An introduction to hazard and operabilities studies, The Guide Word Approach, Chemetics International, Vancouver, Canada 1981
- /6/ **Kühne, G.** 1984: Anwendung von Methoden zur Erstellung von Sicherheitsanalysen- sind systematische Methoden notwendig? Sicherheitsanalyse nach der Störfall-Verordnung, Kolloquium des Instituts für Umweltschutz im TÜV Rheinland e.V., Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1984
- /7/ **Kuhlmann, A.** 1981: Einführung in die Sicherheitswissenschaft, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1984
- /8/ **Merdian, J.** 1989: Methoden zum Identifizieren komplexer Risiken an Maschinen bzw. neuen Technologien, Arbeitssicherheit, April 1989
- /9/ **N.N.** 1985: Beispielsammlung für Sicherheitsanalysen nach §7 Störfallverordnung, Band 1, Hrsg. Umweltbundesamt, Berlin 1985
- /10/ **Ruppert, K.A.** 1990: Sicherheitsanalytische Vorgehensweise für Alt- und Neuanlagen, Chem.-Ing.-Techn. 62 (1990) Nr. 11, S.916-927
- /11/ **VDI 2244:** Konstruieren sicherheitsgerechter Erzeugnisse, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1988

Bereitstellung von konstruktionsspezifischen Hilfsmitteln zur Konstruktion lärmarmen Produkte

- Systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele -

Gummersbach, F.

Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen und steigender Marktanforderungen ist die Berücksichtigung maschinenakustischer Belange während des Konstruktionsprozesses für viele Produkte unerlässlich. Jedoch haben Konstrukteure in der Regel allenfalls sehr geringe bzw. einfache maschinenakustische Kenntnisse. Dementsprechend benötigt der Konstrukteur Hilfsmittel, die ihm bei der Lösung konstruktionsspezifischer Probleme unterstützen.

Das hier vorgestellte Projekt behandelt die systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele und wird von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin gefördert.

Acoustical concerns are more and more important due to legal and market demands. Therefore the designer needs specific tools, which supports him during product development.

This project deals with the systematic collection of machine acoustic design examples and is funded by „Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin“

1 Einleitung

Maschinenakustische Produkthanforderungen gewinnen für viele Industrieunternehmen aufgrund verschärfter gesetzlicher Bestimmungen des Arbeits- und Immissionschutzes (beispielsweise /1/, /2/ bzw. /3/) sowie steigender Marktanforderungen an Bedeutung. Die maschinenakustischen Eigenschaften eines Produktes werden weitgehend in der Konstruktion festgelegt.

Bei der Entwicklung von Produkten muß der Konstrukteur ständig und in allen Konstruktionsphasen Entscheidungen mit dem Ziel treffen, die gegebenen Produkthanforderungen zu erfüllen, obwohl ihm, abhängig vom jeweiligen Informationsstand während des Konstruktionsprozesses, zum Teil die Grundlagen für eine solche Entscheidungsfindung

fehlen. Dabei sind zusätzlich Kompromisse zwischen unterschiedlichen, teilweise konträren Gesichtspunkten zu finden, **Bild 1**. Maschinenakustische Aspekte bleiben dabei, wie die Praxis zeigt, oft unbeachtet, da der Konstrukteur keinen einfachen Zugriff auf das relativ komplexe maschinenakustische Wissen hat. Die Minimierung der Geräuschentwicklung stellt in der Regel keine Hauptforderung dar, die eine hohe Aufmerksamkeit erfährt, sondern ist eine – wenngleich immer bedeutendere – Nebenforderung.

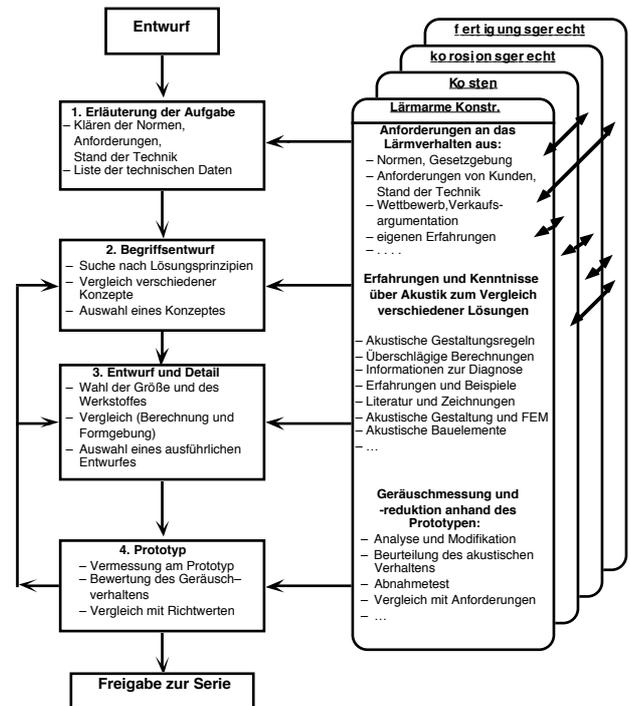


Bild 1: Verknüpfung konstruktionsspezifischen Wissens mit der allgemeinen Konstruktionsmethodik, in Anlehnung nach /4/

Dies hat zur Folge, daß eine mögliche Lärmproblematik erst in späten Phasen des Konstruktionsprozesses zutage tritt. Stellt sich beispielsweise beim Prototyp heraus, daß ein Produkt die maschinenakustischen Anforderungen von Seiten des Gesetzgebers oder des Marktes nicht erfüllt, so sind zeit- und kostenintensive Nachbesserungen nicht zu vermeiden. Oft sind dann nur noch Isolations- und Kapselungsmaßnahmen möglich, obwohl die Wahl einer anderen Funktionsweise oder auch nur

die Auslegung auf einen anderen Betriebspunkt wesentlich effektivere und einfachere Maßnahmen zur Geräuschminderung darstellen können.

Nach einer Industriebefragung /8/ besitzen Konstrukteure in der Regel allenfalls akustisches Grundwissen, **Bild 2**. Infolgedessen werden Konstruktionsentscheidungen oft ohne hinreichende Kenntnis ihrer maschinenakustischen Bedeutung gefällt.

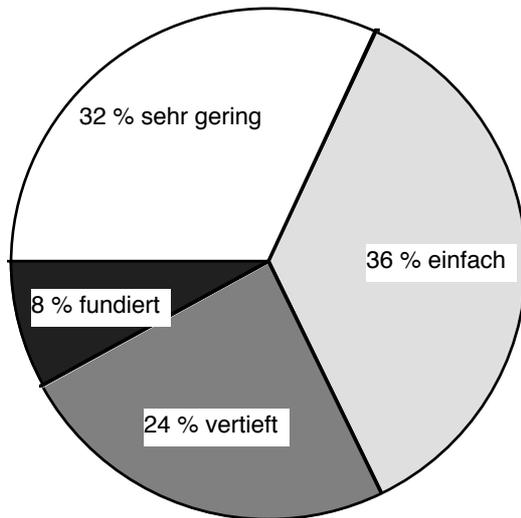


Bild 2: Maschinenakustische Kenntnisse von Konstrukteuren in den befragten Unternehmen /8/

Unzureichende Informationsbereitstellung während der Konstruktion kann zu schalltechnisch nicht ausgereiften Produkten führen, an denen dann zeit- und kostenintensive Nachbesserungen erforderlich werden.

Die Dringlichkeit der Lärminderung an Maschinen zeigt sich unter anderem in der Häufigkeit von Fällen berufsbedingter Lärmschwerhörigkeit und den daraus resultierenden gesetzlichen Vorschriften zum Lärmschutz. Diese verschärften maschinenakustischen Produkthanforderungen verlangen von vielen Herstellern Maßnahmen der Lärmreduzierung ihrer Produkte. Die Notwendigkeit, die Schallemission eines Produktes bereits bei dessen Konstruktion zu berücksichtigen, ist bereits in verschiedenen Veröffentlichungen aufgezeigt worden, /4/, /5/, /6/, /7/, /9/ und hat für schalltechnisch anspruchsvolle Produkte bereits Eingang in die Konstruktionspraxis gefunden. Für die Konstruktion lärmarmen Maschinen müssen aus Konstrukteurs-sicht aufbereitete, konstruktionsrelevante maschinenakustische Informationen durch geeignete Hilfsmittel bereitgestellt werden.

Eine Unterstützung in der lärmarmen Konstruktion kann durch unterschiedliche Informationen erfolgen. Die nachfolgend aufgelisteten Hilfsmittel besitzen eine unterschiedliche Verbreitung und Bedeutung: Konstruktionsregeln und Konstruktionsbeispiele, Datenblätter, Zuliefererinformationen, Messungen, Normen, Richtlinien, maschinenakustische Literatur, Datenbanken, Erfahrungen, Berechnungsprogramme, theoretische Modelle, Ähnlichkeitsgesetze, Schätzformeln und Informationen über generelle Trends. Auch ist die Anwendung der Hilfsmittel z. T. abhängig von der gerade durchlaufenen Konstruktionsphase, vgl. **Bild 1**, und dem daraus resultierenden Informationsbedarf des Konstrukteurs. So kommen bei der Klärung der Aufgabe solche Quellen zum Tragen, die maschinenakustische Produkthanforderungen bereitstellen können. In der Konzeptphase sowie in der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase werden maschinenakustische Informationen zum Vergleich unterschiedlicher Lösungen benötigt, wobei in der Konzeptphase eher allgemeine Informationen gegeben werden können (schließlich ist die Vorstellung vom Produkt selbst noch relativ unsicher und ungenau). In der Prototypenphase sind schließlich Informationen zu Geräuschmessung und -minderung anhand des Prototypen erforderlich.

Von besonderer Bedeutung für die (hinsichtlich der Festlegung von Produkteigenschaften entscheidenden) frühen Phasen der Konstruktion sind leicht zugängliche, verständliche maschinenakustische Informationen. Konstruktionsregeln und -beispiele besitzen hier eine besondere Bedeutung, da sie auch für andere Wissensgebiete (z. B. fertigungsgerechtes, montagegerechtes, instandhaltungsgerechtes, sicherheitsgerechtes Konstruieren) verfügbar und in praktischer Anwendung sind und somit bereits ein geläufiges Konstruktionshilfsmittel darstellen. Auch ist die prägnante Wissensbereitstellung vorteilhaft für eine schnelle konstruktive Umsetzung.

2 Ziel des Vorhabens

Das Ziel des von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin geförderte Forschungsvorhabens ist die systematische Zusammenstellung von Konstruktionsbeispielen zur praxisgerechten Erläuterung der in ISO/TR 11688 /4/ aufgeführten Konstruktionsregeln. Dabei sollen die Beispiele dem aktuellen Stand der Technik entsprechen sowie maschinenakustisch anschaulich und für Kon-

strukture (als Zielgruppe des technischen Berichts und der Beispiele) leicht nachvollziehbar sein.

3 Sichtung und Sammlung verfügbarer Beispiele

Der internationale technische Bericht ISO/TR 11688 /4/ stellt eine Verknüpfung des Sachsystems "Maschinenakustik" mit dem Handlungssystem "Konstruktionsmethodik" her und orientiert sich so an der üblichen Vorgehensweise der Konstrukteure. In dem Dokument wird eine Rückführung der Schallentstehung auf das physikalische Geschehen (Anregung durch Schallentstehungsmechanismen, Übertragung, Abstrahlung) vorgenommen, welches der Denkweise der in physikalischen Wirkprinzipien und Abläufen denkenden Konstrukteure entspricht. Dieses Dokument enthält eine Reihe von Konstruktionsregeln, die an den physikalischen Vorgängen der Schallentstehung, Weiterleitung und Abstrahlung ansetzen. Das in /4/ geschaffene, aus konstruktionsmethodischer Sicht richtungsweisende Dokument kann optimal zur dringend benötigten Konstruktionsunterstützung genutzt werden, wenn die bereits vorhandenen Konstruktionsregeln durch Konstruktionsbeispiele verständlich erläutert und damit hinsichtlich ihrer praktischen Nutzung aufgewertet werden.

Für die Einordnung von maschinenakustischen Konstruktionsbeispielen wurde die Struktur der Konstruktionsregeln der ISO/TR 11688-1 bzw. DIN 45635-1 verwendet.

Bild 3 gibt die Struktur der maschinenakustischen Konstruktionsregeln graphisch wieder. Die erstellte Struktur gruppiert die einzelnen Konstruktionsregeln in insgesamt 19 Untergruppen, die nach der jeweiligen Lärmart (Luft-, Flüssigkeits- und Körperschall) und den Hauptgruppen (Quelle, Übertragung und Abstrahlung) getrennt aufgeführt werden.

4 Informationsbeschaffung

Für die Beschaffung verfügbarer Beispiele bot sich das Durcharbeiten einschlägiger Literatur an. Zu nennen sind hier z.B. Konferenzbände, Fachzeitschriften, Fachbücher und Beispielsammlungen.

Von besonderem Interesse sind maschinenakustischen Konstruktionsbeispiele aus der industriellen Praxis, die parallel zu der Literaturrecherche gesammelt werden. Hierzu wurden konstruktorspezifische Zeitschriften auf Anzeigen und Artikel be-

rücksichtigt, in denen industrielle Produkte mit Bezug zur Geräusentwicklung angeboten werden.

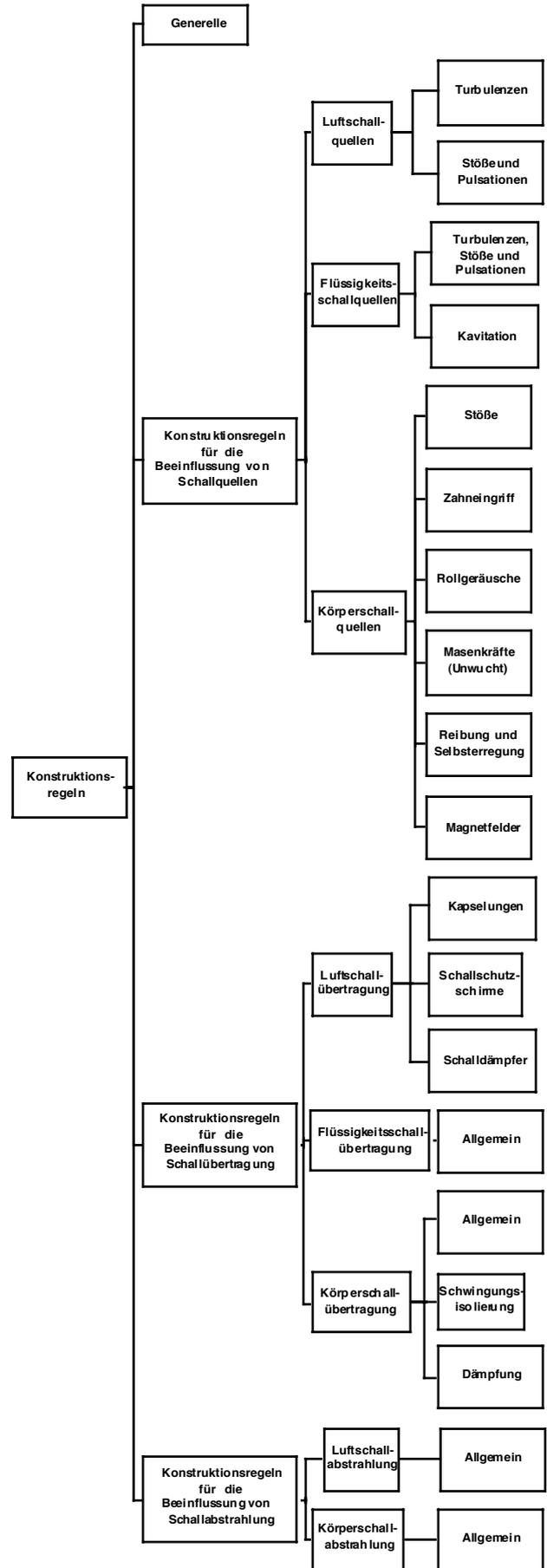


Bild 3: Struktur der maschinenakustischen Konstruktionsregeln nach der ISO/TR 11688-1

Die gefundenen Konstruktionsbeispiele wurden entsprechend Ihrer Zugehörigkeit nach den in Kapitel 2 genannten 19 Untergruppen sortiert und abgelegt.

5 Bewertung und Erfassung von Konstruktionsbeispielen

Um für die endgültige Sammlung, eine objektive Auswahl geeigneter Konstruktionsbeispiele durchführen zu können, ist eine Bewertung dieser notwendig. Durch die hohe Anzahl der gefundenen Konstruktionsbeispiele wurde die Bewertung der einzelnen Konstruktionsbeispiele mit einer datenbanktechnischen Erfassung kombiniert. Die für die Bewertung verwendeten Kriterien beziehen sich auf Aktualität, maschinenakustischen Sinngehalt und leichter Nachvollziehbarkeit für den Konstrukteur.

Zur Bewertung der einzelnen Konstruktionsbeispiele wurde ein Kriterienkatalog aufgestellt und mit einer Wertigkeit versehen, **Tabelle 1**.

Tabelle 1: Kriterienkatalog mit zugehörigen Wertigkeiten

Kriterien	Wertigkeit
Eindeutigkeit f. d. Konstrukteur	4
Qualität der Information	4
Angabe der Absolutpegel	3
Differenzpegel Vor- u. Nachher	3
Abbildung oder Zeichnung	3
Anwendungsgrenzen	2
Diagramme	2
Berücksichtigung von Kosten	1
Formelmäßiger Zusammenhang	1

Jedes dieser Kriterien kann mit einer 1 (ungenügend), 2 (befriedigend) oder 3 (gut) bewertet werden und wird dann mit der Wertigkeit des jeweiligen Kriteriums multipliziert. Durch Aufsummieren der Bewertungskennzahlen aller Kriterien ergibt sich die Bewertungskennzahl eines Konstruktionsbeispiels, anhand der diese verglichen werden können.

Für die datenbanktechnische Erfassung wurde ein Datenblatt erstellt. Neben den oben erwähnten Informationen enthält dieses auch die Konstruktionsregel, eine Kurzbeschreibung der Lärminderung,

die Literaturstelle und zum Auffinden eine Zuordnungsnummer.

6 Informationszugriff

Der Konstrukteur steht je nach Problemstellung vor der Schwierigkeit, das aussagekräftigste Konstruktionsbeispiel für seine Problemstellung zu finden. Ein Konstrukteur mit geringer maschinenakustischer Erfahrung wird nur selten die direkte Geräuschursache seiner Konstruktion sofort ausfindig machen können, um so schnell und zielorientiert auf das für ihn zutreffende Konstruktionsbeispiel zugreifen zu können. Dagegen wird der als maschinenakustisch erfahren geltende Konstrukteur den Geräuschmechanismus schnell lokalisieren können und ist somit in der Lage, über die in der ISO/TR 11688-1 enthaltene Struktur der Konstruktionsregeln das für seinen Problemfall zutreffende Konstruktionsbeispiel auszuwählen.

Somit sind Auswahlmechanismen bzw. Abfragemechanismen für das schnelle und zielorientierte Auffinden „passender“ Konstruktionsbeispiele in Abhängigkeit des Erfahrungsstandes des Konstrukteurs notwendig.

Um dieser unterschiedlichen Vorgehensweise gerecht zu werden, wurden die Datensätze der Konstruktionsbeispiele nach dem zugehörigen Oberbegriff der Konstruktionsregeln (z.B. Stoß, Magnetfelder, Turbulenzen) und den Konstruktionsregeln selbst geordnet und ferner zusätzlich mittels weiterer Kriterien eingruppiert.

Bei diesen Kriterien wurde darauf geachtet, daß die Zuordnung der Beispiele zu bestimmten Gruppen der Denkweise des Konstrukteurs entspricht. Verwendung fand hier die Eingruppierung nach Branchen und Komponenten. Durch diese zusätzliche Gruppierung hat der Konstrukteur die Möglichkeit sich Konstruktionsbeispiele aus einer bestimmten Branche, eines Maschinentyps oder einer geräusch erzeugenden Teilkomponente zu erhalten. Durch diesen Auswahlmechanismus ist die gezielte Einschränkung der vorhandenen Konstruktionsbeispiele möglich, welches mittels einer datenbanktechnischen Realisierung auch sukzessiv erfolgen kann.

In vielen Fällen empfiehlt sich die Erstellung eines akustischen Modells nach ISO 11688, aus dem die Suchkriterien abgeleitet werden können.

7 Beispielaufbereitung

Für eine schnelle Informationsauswahl müssen die bereitgestellten maschinenakustischen Konstruktionsbeispiele so aufbereitet und präsentiert werden, daß der Konstrukteur auf übersichtliche Art und Weise die notwendigen Informationen auswählen und auf diese zugreifen kann.

Dazu wurde ein Formblatt entworfen, das dem Konstrukteur alle notwendigen Informationen des Konstruktionsbeispiels zur Verfügung stellt. Das datenbanktechnische Formblatt wurde dazu aus Übersichtsgründen auf 2 Seiten aufgeteilt und enthält zum einen Zuordnungsinformationen und zum anderen beispielbeschreibende Informationen.

Die erste Seite, **Bild 4**, stellt im ersten Abschnitt (Zuordnungsteil) zum einen die grundsätzliche Zuordnung des Beispiels zu einer Branche und Komponente aus der Sicht des Konstrukteurs und zum anderen eine maschinenakustische Zuordnung nach der ISO/TR 11688-1 (prinzipielle maschinenakustische Beeinflussung sowie die zugehörige Konstruktionsregel) dar.

Im zweiten Abschnitt erfolgt die allgemeine Be-

schreibung des Konstruktionsbeispiels mittels einer Abbildung, deren Kurzbeschreibung sowie der Erläuterung der Schallquelle.

Auf der zweiten Seite, **Bild 5**, erfolgt die Beschreibung der angewandten Schallminderungsmaßnahme. Dazu folgen weitere Angaben über das Schallspektrum, der Anwendungsgrenzen, die Schallpegel (vorher und nachher) und die Literaturangabe. Für weitere Anmerkungen, die nicht in die vorher erwähnten Felder sinnvoll eingetragen werden können, steht ein weiteres Feld „Anmerkungen“ zur Verfügung.

8 Fazit

Mittels dieser differenzierten Eingliederung und Aufteilung der maschinenakustischen Konstruktionsbeispiele hat der Konstrukteur die Möglichkeit, sich schnell und effizient die Wirkungsweise der lärmindernden Maßnahmen in Abhängigkeit der maschinenakustischen Konstruktionsregeln sowie komponenten- bzw. branchenabhängig darstellen zu lassen.

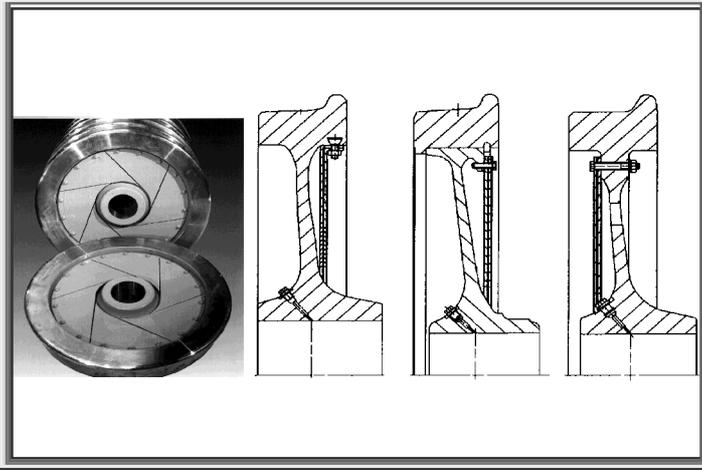
<p>Beeinflußung der Körperschallübertragung</p> <p>Konstruktionsregel für Dämpfung</p> <p>Konstruktionsregel Erhöhung der Dämpfung</p>	<p>Schallart Körperschall</p>	<p>Branche Fahrzeugbau</p> <p>Produktbezeichnung Schienenfahrzeuge</p> <p>Typebezeichnung Führungssystem</p> <p>Teilkomponente Rad</p>
<p>Abbildung der Komponente</p> 		<p>Beschreibung des Beispiels Schwungsabsorber an Eisenbahnradern.</p>
		<p>Beschreibung der Schallquelle Aufgrund einer starren Verbindung zwischen Rädern und Achse, wird ein tangentiales Abrollen der Räder auf dem Schienenbogen verhindert. Der auftretende Stick-Slip-Effekt führt zu einer Anregung des Rades</p>
		<p>Seite 1 von 2</p>

Bild 4: Seite 1 des Formblatts (allgemeiner Teil)

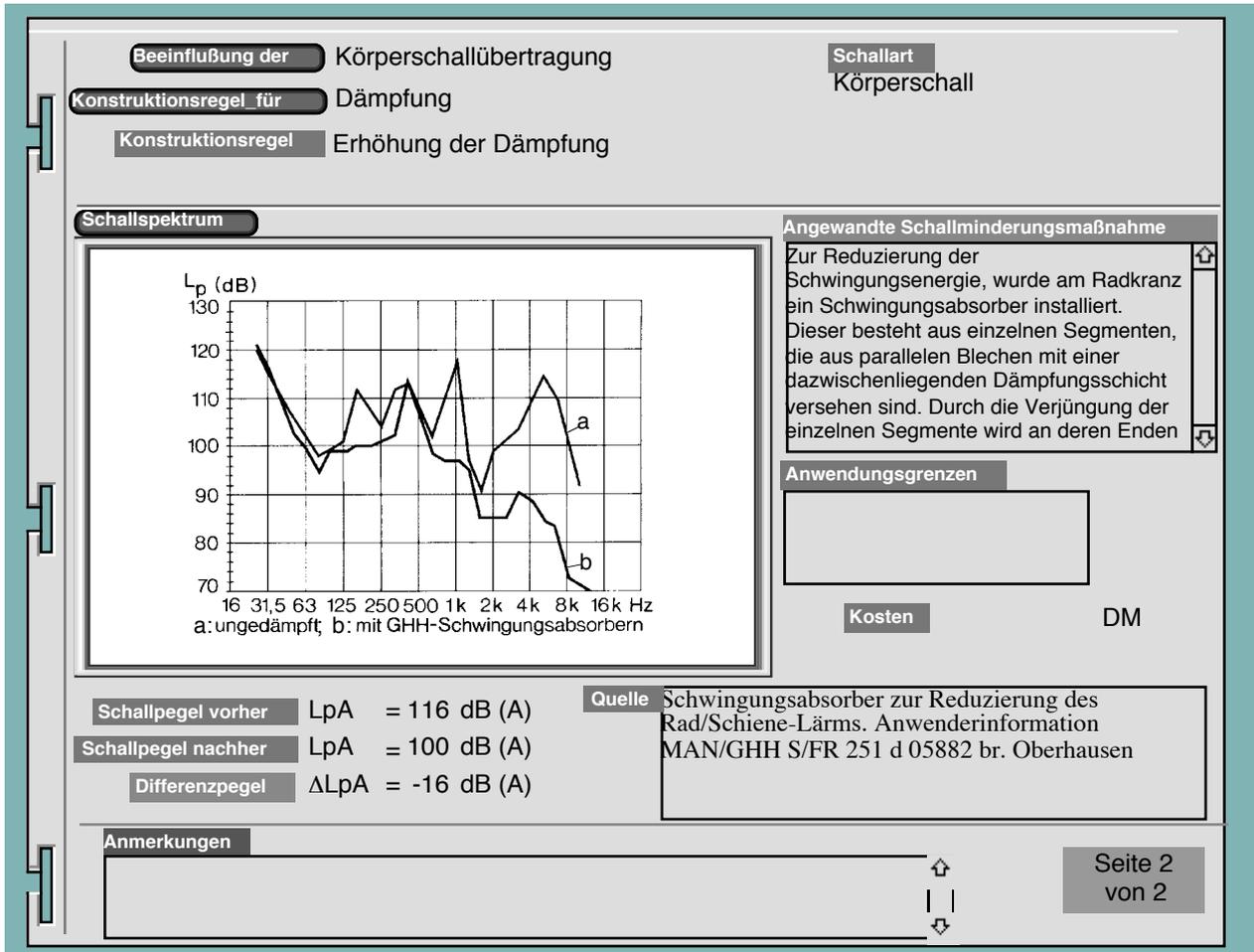


Bild 5: Seite 2 des Formblatts (maschinenakustischer Teil)

9 Literaturverzeichnis

- /1/ Richtlinie 86/188/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaft vom 12. Mai 1986 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz. ABl. Nr. L137 24.5.86 S.28.
- /2/ Richtlinie 89/392/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 14. Juni 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen. ABl. Nr. L183 29.6.89 S.9.
- /3/ Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) vom 16.7.68, Beilage zum Bundesanzeiger Nr. 137.
- /4/ ISO/TR 11688: Acoustics - Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment. Part 1: Planning, Part 2: Introduction into physics of low-noise design. International Standardisation Organisation. Genf, März 1995.
- /5/ VDI 3720 Bl. 1: Lärmarm Konstruieren. Allgemeine Grundlagen. Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure. Ausg. Nov. 1980.
- /6/ Kurze, G.; Dietz, P.: Lärmarm Konstruieren XIII – Schalltechnische Regeln und Konstruktionsmethodik. Forschungsbericht Nr. 424 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag Nordwest, 1985.
- /7/ Dietz, P.: Konstruktion lärmarmen Maschinen. Vorlesungskript IMW TU Clausthal. Clausthal-Zellerfeld: 1994.
- /8/ Haje, D.; Gummersbach, F.; Schmidt, A.: Inquiry Results about Low Noise Design Clausthal, März 1994, unveröffentlicht
- /9/ Haje, D.: Lärmarm konstruieren XVII; Entwicklung eines Informationssystems zur Konstruktion lärmarmen Produkte; Forschungsbericht Nr. 768 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag Nordwest, 1997

Product Knowledge Management and Design Support¹

Penschke, St.; Ort, A.

This paper will identify major strategies on how product knowledge can be used during design and how it can improve the quality of a product. The resources used for this analysis are European and national research projects (the IMW participated) in the field of design, manufacturing and quality assurance. Taking their field of research and their objectives into account, the developed strategies will be extracted and analysed. In parallel, the application of such results will be reviewed. Based on this analysis, the impact and gained efficiency will be described. This will result in a perspective of how such strategies and applications can improve a product.

Der vorliegende Beitrag identifiziert wesentliche Strategien für die Erfassung und Aufbereitung von Produktinformationen und ihre Nutzung im Konstruktionsprozeß. Grundlage für die Analyse bilden Europäische und nationale Forschungsprojekte (an denen das IMW beteiligt war und ist) auf den Gebieten Konstruktion, Fertigung und Qualitätssicherung. Unter Berücksichtigung der Projektziele werden die zugrundeliegenden Vorgehensweisen und entwickelten Ansätze für das Produktdatenmanagement extrahiert und analysiert. Dazu werden einleitend die einzelnen Projekte und resultierende Applikationen (Prototypen) vorgestellt.

1 Introduction

The work with design support systems is basically initiated by the need to assure competitiveness in the future for manufacturing enterprises. Many competitive factors have to be taken into consideration. In general product costs, product quality and the delivery at the right time are the key factors. The pressure to shorten the time to market for new products and therefore to shorten development time requires an adequate use of know how possessed by a company.

In manufacturing enterprises the product knowledge is distributed across the whole company. This know how represents an essential resource for successful competition in the market and should there-

fore be preserved and used as efficiently as possible. A way of reaching this goal exists in the use of so called knowledge based systems which contain accumulated product knowledge on different aspects during the product life cycle. Besides, product data modelling and management has become more and more an important feature for enterprises to strengthen their competitive position /1/.

2 Application examples – a case study

Starting point for the case study presented here was to check the possibilities for a harmonisation of developed research prototypes within the IMW and to discover main goals for future work. The following chapters will give an analysis of projects, research prototypes including short descriptions, especially focused on handled product knowledge and aspects of design support.

2.1 PICASSO (Practical and Intelligent CAD for Assembly Objects)

The focus of PICASSO (Brite-EuRam Project 5693) was the development of a design methodology and a supporting CAD tool that makes information on tolerances, machine components, process tools etc. available to the designer and leads him through the design process. This system was applied, at first, in the design of plastic spray moulding and press tools.

PICASSO offers the designer a choice of assembly types and leads him through the design, component by component. As each part is chosen, it constrains the choice of subsequent components. The PICASSO system consists of a component definition module (allowing a catalogue of components to be defined), an assembly definition module (allowing a database of assembly class definitions to be defined, including rules constraining the way in which components fit together), an assembly design module (allowing a particular instance of a class of assembly to be designed), and a functional tolerance module (determining tolerances automatically

¹ Der Artikel basiert auf einem Beitrag zum Workshop ProKSI '97 – Product Knowledge Sharing and Integration, Sophia Antipolis, April 1997

from component function and distributing tolerances between mating parts).

The main information handled by the system are tolerances and knowledge about how mould components are assembled. They are represented in rules and formulae. The functional tolerance module represents the whole ISO 286. The assembly definition module represents all information concerning geometry and relationships of components. This module is used to check if and how components fit together and also how they fit together in an assembly (mould). A super user, the designer and in few cases the manufacturer, must feed the system gradually (step by step). The system is used during embodiment and detailed design.

The software was built up in C++. The knowledge is totally incorporated by the CAD system. Only the functional tolerance module was programmed as a module which can be placed in any other software. During the project about 14000 parts and about 4200 rules of moulds were adapted to the PICASSO system.

2.2 EQUIP (Work Methodology for Development of Quiet Products)

The main objective of the EQUIP (Brite-EuRam Project 5983) project was to provide the designer with a consulting system to obtain low noise products from well conducted design. A work methodology and tools for industry were developed, that will enable manufacturers to reduce noise levels, time to market, development and material costs. The products of companies involved were earthmoving machines, cooling equipment, heating and airconditioning systems and municipal vehicles.

Main achievements are the development of an approach for designing low noise products, the establishing of a model for this approach (SADT), the definition of necessary information for each step of designing low noise products, the characterization of the usage of the model for software definition and the definition of libraries for different kinds of knowledge (e.g. requirements, solids and fluids properties, measurement methods, component instances, formulae). An approach of creation of noise path models was developed and successfully tested. A way to propose and select suitable noise control measures was determined. A method for the elaboration of acoustic requirements for a machine has been built up.

The developed system (**fig. 1**) can be updated and customised for branch specific applications (default system libraries and branch specific company libraries). The modeller is a major part of the system and provides the functionality for a component based noise path modelling, calculations, visualisation of result (e.g. noise level ranking and sound power spectra for several components) and optimisation of a model. The scenario manager consists of a visualiser and an execution mechanism. It is an independent program that is intended to help the user build and examine noise path models. Scenarios could be created by manual writing, system logging of user actions or generation from graphical process schema (like SADT models). A scenario is a script like description which allows the scenario manager to provide guidance to a designer in performing a complex task.

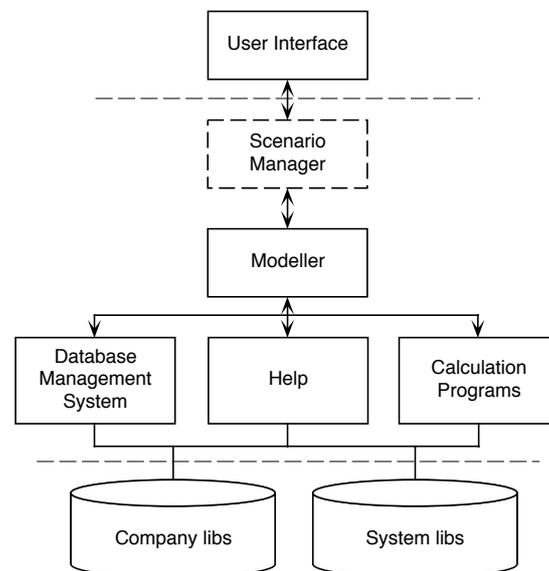


fig. 1: Concept for EQUIP system

The tools and methods developed were to be validated by the design departments of the companies involved in the project and applied to the products mentioned, thereby achieving the noise level reductions required.

2.3 PLUS (Parts Libraries Usage and Supply)

The portability of parts libraries is a major economic concern for CAD system users, component manufacturers and for CAD system vendors. To allow such portability a whole set of concepts, known as the P-LIB approach, has been developed in Europe. The objectives of PLUS (ESPRIT Project 8984) were to validate, possibly improve the P-LIB approach and provoke the practical use of this ap-

proach through a complete set of pre-industrial tools as well as contribute to the final standardization work through demonstration of the concepts, preparation of pre-normative specifications as input to European and international standardization.

Parts libraries allow the definition and description of parts for the design of products. Using a standardized description format, the concept enables the comparability and exchange of parts. Through the structured description of parts and sophisticated search strategies during embodiment design the selection of repeated parts will be made easier. Moreover, the standard allows a multi-supplier search, i.e. the search for parts in various supplier catalogues. The focus is the embodiment design with respect to repeated parts (costs).

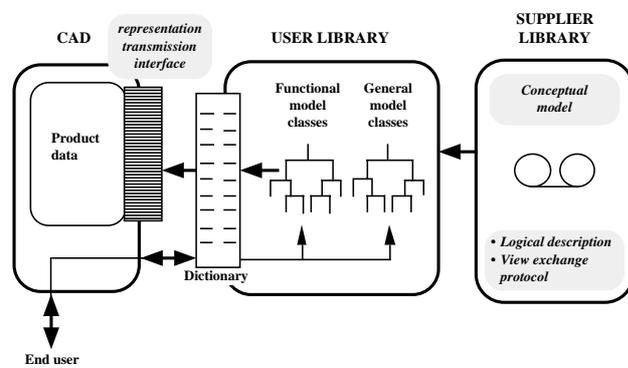


fig. 2: Concept for part libraries

Main results of the project were the development of three pre-competitive library management systems which support the new capabilities resulting from the P-LIB approach and the migration from previous proprietary or standardized systems, the development of a partial description of the components of a part supplier and the development of a practical know-how about the P-LIB approach among the project partners. These results make it possible to demonstrate the interactive generation of a part library, the exchange and automatic integration of this library by library management systems related to different CAD systems [2]. A parts library system (fig. 2) is connected to a CAD system and will serve as a parts catalogue. Parts can be selected and inserted into the current design.

The theoretical background is, that parts are ordered in a tree hierarchy and defined by properties (applied to each node in the hierarchy). The approach makes use of object oriented concepts. The data itself is represented as entities and relations. The data structures can cope with the highly complex organized data, but the approach of managing the data requires deep knowledge and may not re-

sult in best performance. The applicability and the efficiency of the approach has still to be proved.

2.4 AMANIS (Advanced Manufacturing Information System for the Designer)

The aim of the research project AMANIS (Brite-Eu-Ram Project 5139) was the development of an approach which allows the collection and preparation of current company-specific manufacturing information as well as to provide this information to the designer in a convenient way. Based on this provided manufacturing experience, the manufacturing properties of future designed products should become more transparent. AMANIS was focused on metal removing manufacturing processes.

The main information handled in the system are manufacturing times, costs and problematic events to be expected during manufacturing. Knowledge about optimised and actually used NC-programs are collected by manufacturing data collection systems and represented as tables representing manufacturing cases. The system is used during embodiment and detail design. Developed tools for knowledge management and representation are NC-Analyzers for the extraction of relevant information from NC-programs, a tool for the induction and representation of NC-sequencing rules based on algorithm for autonomous knowledge acquisition, a manufacturing-oriented feature recognition tool based on algorithm for autonomous knowledge acquisition and a manufacturing-oriented CAD-model classifier based on neural network techniques. The tools are integrated within the CAD-system Pro/Engineer for extraction of relevant CAD-information from part and feature models in order to both populate the case base and reason about newly designed part and feature models.

In general, the practical experience gained in the project was, that techniques for autonomous knowledge acquisition can help to reduce the efforts during creation and administration of knowledge bases. However, the training and subsequent unsupervised knowledge acquisition requires a lot of consistent cases. Adaptations to new situations are carried out with a certain time gap. As far as AMANIS is concerned, the case base mainly represents information from a dynamic and unstable environment which results in reduced reliability of the provided information to the designer who is not able to interpret the results with respect to their correctness.

2.5 QCIM-PM (Quality through CIM - Product Model) - Registration and analysis of requirements

Within the QCIM project the IMW developed a prototype tool for the capture and analysis of requirements in the design process. This tool is based on an integrated product model to support quality management in product design. The product model was developed in the national german project Quality through CIM (QCIM). Main aim of the tool named *demanda* is the handling and visualization of complex, multidimensional requirement structures and interrelations to support the designer in the early phases of the design with the reuse of already existing knowledge from all product life cycle phases.

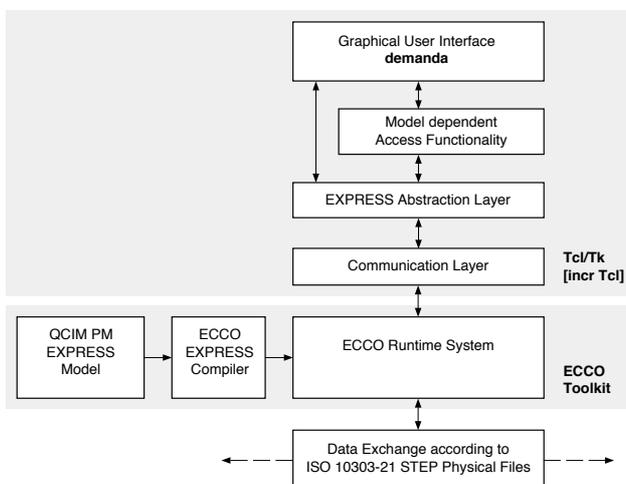


fig. 3: Implementation concept of *demanda*

Demanda uses a Toolkit for the implementation of the QCIM product model and the standard data exchange (fig. 3). The QCIM product model handles information from all phases of the design process. Requirements, functions, solution principles and geometric information are fully integrated and can be weighted. Therefore, when the designer defines a requirement he can access already existing weighted solutions stored in the product model. One speciality of the model is the concurrent handling of the actual design requirements for a specific product and the solutions already in the database. The product model does not only capture one set of requirements but the whole series of dynamic changes to the requirements which represent the flow of the ongoing design.

Knowledge is stored in several facets. Requirements are defined by their properties. Properties can be stored as a textual description or as mathematical expression. The interrelationships provided knowledge about the interactions between two requirements. The most important knowledge stored

in the product model are the definitions. Definitions in the product model are the super class of all entities in the design process namely requirements, functions, solution principles and geometry.

The main goal in implementing *demanda* was to test the theoretical approach of multidimensional requirement structures and relations. One main insight was that the designer does not think in the way that the product model handles the data. Therefore the designer has to be supported by the user interface when structuring the requirements. The requirement interrelationship is a major problem, since the designer is seldom aware of these often conflicting interrelationships. Further research will focus especially on the automated detection of interrelationships.

2.6 Sheet metal design for manufacturing

The special research project 'processing of sheet metal' (SFB 362) is a common project with the University of Hannover under the leadership of the technical University of Clausthal. Aim of the project is to investigate the basic material and technological processes of forming and joining of sheet metal. The IMW is working on a subproject 'sheet metal design'. Aim is the development of basic design methodologies for sheet metal products to meet the requirements of function and manufacturing.

After several analyses of practical sheet metal use concerning products, design processes and manufacturing technologies the main information was extracted and systematised. Different criteria for an efficient support of sheet metal design processes were recognised. Information on materials and manufacturing that determine geometrical parameters must be realised if possible in early phases of the design process for a further consideration. Therefore material and technological information must be represented adequately to support the transition from product planning and conceptual design to embodiment and detail design. The representation of such information should permit an interactive optimisation of geometric parameters with regard to material and manufacturing.

The developed system concept (fig. 4) is characterised by several layers such as the integrated product model containing all data describing the product with declarative and procedural knowledge (e.g. requirements, geometry, materials, manufacturing technologies or calculation methods) and the

tools for knowledge adaptation and presentation. A tool for requirements handling allows the designer to register requirements in textual form and to convert these requirements into references or constraints on desired or required product properties (e.g. preferred materials, manufacturing technologies, machines or geometries). By means of editors and search mechanisms the designer will be supported in conversion of requirements into references or constraints. The steering mechanisms for calculation methods allows an administration of formulae, their solution in all feasible directions and their use according to the design progress by means of priorities. A tool for pre-definition of manufacturing processes allows an interactive optimisation of geometrical, material and manufacturing parameters for deep drawing processes. The designer can set parameters or choose them from referenced requirements. Undetermined parameters will be calculated if possible. The validity of referenced requirements will be checked during the pre-definition process. For instance: if various drawing presses are preferred, the system checks the manufacturability of the part by means of the individual presses. The results of these checking processes will be visualised in a suitable way. As a result the designer has not only specified the geometry of the part but also bound possible materials and manufacturing processes and machines.

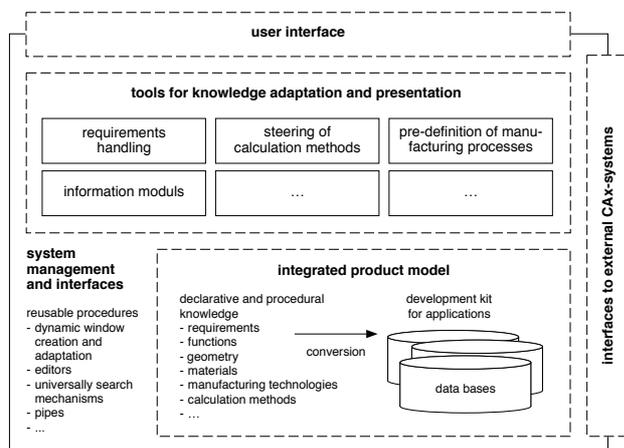


fig. 4: Concept for sheet metal information system

The data base was filled with some test records. In general the approach was useful. One insight was, that the designer reaches an optimum dependent on his individual experiences. There is no methodical help like optimisation strategies or similar. Further research will focus especially on the provision of a higher semantic level through a feature based approach to support methodical operating /3/ and

on the recovery of manufacturing experiences to support particularly the determination of tolerances.

3 Analysis of handled engineering knowledge

The described systems are focused on small domains of certain disciplines. The range of systems varies from 'simple', specific knowledge based systems (used in one specific phase of design) to complex, self acquisitioning knowledge based system with active feedback from later product life cycle phases.

The first aim in analysing these systems is to reuse experiences gained in the projects, i.e. concerning information modelling, applicability and usefulness of developed approaches. This includes the reuse of information models or parts of the models and of system components or specific tools. A second aim consists in a detection of general strategies for provision, processing and use of product knowledge during the design stage for a capable decision support. From this result two considerable tasks:

1. One needs to describe/characterise/systematise the knowledge which is handled in the systems in order to compare them and to discover possible overlaps.
2. One needs to detect major approaches concerning knowledge handling and adaptation in the sense of DFX (design for x) respectively the feedback of knowledge to the designer.

3.1 Systematisation of engineering knowledge

There is a multitude of exertions dealing with the problem of systematisation of knowledge in general and especially of engineering knowledge. For instance each research on design object representation can be regarded more or less as an effort to systematise design knowledge. Therefore the following small survey could surely not be complete. In general all of these efforts represent different views on the problem, taking several aspects into account.

One important point of view may be human memory structures and psychological interrelationships in problem solving. So the cognitive structure of a human distinguishes in two fields, the epistemic and the heuristic structure /4/. The first contains a system of categories to structure the knowledge about facts and applicable operators. It determines the capability to solve tasks reproductively. The

epistemic structure may be interpreted as a kind of semantic network whose nodes represent contents and whose connections are relations between the contents. The heuristic structure represents a library of procedures (methods) for problem solving, i.e. a system of meta or inside operators to build operators. It will be used if no solving method is retrievable immediately. In order to systematise engineering knowledge this approach seems to be too abstract. Nevertheless, it is useful to support information modelling and structuring of knowledge bases analogously to the human memory.

Another point of view is from the field of artificial intelligence (AI). Resulting from this are a number of distinctions concerning knowledge. One distinction follows the general subdivision of AI systems into three broad categories /5/. The knowledge about a problem domain that is represented in a global database is called declarative knowledge. It would include specific facts like data and relations between the data. The knowledge about a problem that is represented in a set of rules is called procedural knowledge. It would include general information that allows a manipulation of the declarative knowledge. The knowledge of a problem that is represented by a control strategy is called control knowledge. It includes a variety of processes, strategies and structures used to coordinate the entire problem solving process.

Elsewhere /6/ the kernel of intelligent knowledge based systems should consist of a knowledge base containing knowledge about a problem domain (e.g. facts, information, rules of judgement; also called domain) and an inference mechanism for manipulating the stored knowledge to produce solutions to problems (also known as inference engine, control structure or reasoning mechanism; also called task). Ideally domain and task are independent.

In addition there are several efforts to systematise knowledge from the engineering domain. Following an analysis of main sub-activities in design /7/ introduces a division of engineering knowledge into:

- documentation of design considerations (e.g. sketches and drawings),
- modelling/drawing (usually based on CAD systems),
- textual information (e.g. descriptions, specifications, instructions),
- rules/calculations (e.g. re-design of complex mechanisms like bearings or gears),

- material information (to explore and select materials) and
- process information (to take the manufacturing implications into consideration).

The information handling behaviour of the designer could be another criteria for knowledge systematisation. To observe empiric experiments a framework for describing informational behaviour is presented in /8/. To classify so called information fragments several definitions are made:

- informational activity (e.g. generate, access, analyse),
- descriptor (e.g. requirement, operation, location, comparison, alternative, relation),
- subject class (e.g. requirement, concept, assembly, component, connection, feature, attribute),
- subject,
- medium (e.g. text, graphic, list, simulation),
- level of abstraction (e.g. associative, qualitative, quantitative) and
- level of detail (e.g. conceptual, configurational, detail).

In order to build very large knowledge bases (VLKB) for intelligent CAD (ICAD) in /9/ the necessity for a knowledge standard is emphasised. There is a given classification of knowledge in two dimensions:

- recognised - unrecognised knowledge and
- codified - tacit knowledge.

Tacit knowledge could be explicitly or implicitly recognised by human beings and used for reasoning but very difficult to describe (e.g. the so called commonsense). Codified knowledge is always recognised and described with symbols, figures and so on (e.g. textbook knowledge, information stored in a database). Expertise and skill are mostly composed of unrecognised and tacit knowledge. Unrecognised and codified knowledge is meaningless. The primary goal of systematisation of knowledge should be to convert recognised and tacit knowledge to recognised and codified knowledge to make it computable and improve its reusing and sharing. Besides two types of design knowledge are identified:

- design process knowledge (which describes how) and
- design object knowledge (which is largely fact knowledge to describe what).

A design process begins with ambiguous or rough descriptions of the design object and they will be gradually detailed and completed.

Stemming from the field of feature modelling a matrix representation for product description is known /10/. So a feature should be defined in the scope of a specific view onto the product description with respect to:

- classes of product properties (a class of properties is a combination of properties, which can be logical structured) and
- to phases of the product life cycle (product life cycle is a model to distinguish between significant phases of product creation, usage and replacement).

A view describes the way to look at the product and its properties during the product life cycle. In some disciplines there are similar, but not quite identical frameworks for product life cycle definition. Anyway, in practise each product has to follow its own life cycle.

The selection of exertions above shows that it is not very easy to systematise knowledge. It seems to be almost impossible to structure knowledge in a uniform manner. The method of systematisation strongly depends on the view of the problem. Nevertheless several similarities are recognisable. More or less there is a subdivision of knowledge concerning:

- **objects**
e.g. epistemic structure, domain, design object, product properties and
- **processes**
e.g. heuristic structure, task, design process, product life cycle.

In compliance with the various approaches it seems to us that the matrix representation considering product properties and life cycle is quite suitable to represent engineering knowledge handled in the systems as described in chapter 2 (fig. 5). In this way we could describe mainly the content of information concerning the product and the usage of system functionality with regard to each stage of design/development. The matrix indicates clearly the main field of application. It seems that the major need for support lies in the embodiment and the detailed design phase. The heavy loaded vertical

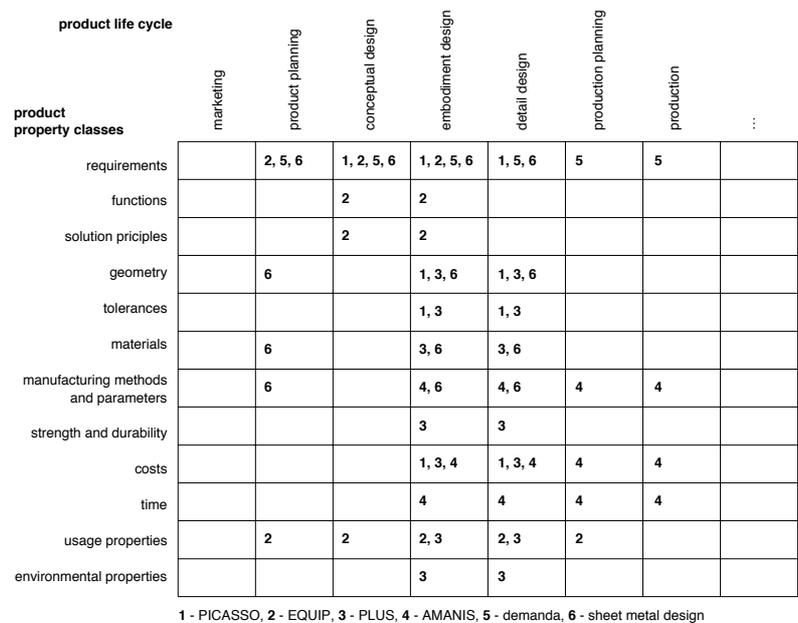


fig. 5: Description of handled knowledge with respect to information content and usage during life cycle

axis of the product property class requirements shows the importance of an integrated requirement management.

Another aspect of knowledge systematisation may be the design science /11, 12/. From this we tried to derive a kind of 'sophistication level' of possible design support. Certainly this level matches with different representation forms of knowledge. Concerning the complexity of engineering knowledge it may be divided into:

- structured data description (e.g. verbal or graphic information, data bases)
- rules (e.g. if -- then)
- functions (e.g. formulae, constraints)
- analysis methods (e.g. calculation, simulation, neural nets, reasoning mechanisms)
- single processes (e.g. design subactivities) and
- connected processes (e.g. methodical approach, computable design process model).

Simple knowledge is represented as plain structured data whereas complexity grows with relationships such as rules or formulae up to interactively working (system) processes triggered by design activities. Main points are structured data descriptions, rules and functions (fig. 6a). All of the systems are able to handle such information. Analysis methods are slightly underrepresented because there are a lot of powerful applications on engineering problems (e.g. FEM systems, calculation programs, simulation tools) that are not part of the systems itself. There seems, however to be a lack of applications concerning process oriented information.

a) complexity of handled knowledge

1, 2, 3, 4, 5, 6	1, 2, 3, 4, 5, 6	1, 2, 3, 4, 5, 6	2, 4	(2)	(2)
structured data description	rules	functions	analysis methods	single processes	connected processes

b) temporal durability of handled knowledge

2	1, 3, 5, 6		4	
1 durable (static)	2	3	4	5 unsettled (dynamic)

c) kind of adaptation of knowledge (feedback strategies)

1, 2, 3, 6	5			4
none/manual	quasi feedback	feedback with manual adaptation	feedback with automatic-inter-active adaptation	feedback with automatic-autonomous adaptation

1 - PICASSO, 2 - EQUIP, 3 - PLUS, 4 - AMANIS, 5 - demanda, 6 - sheet metal design

fig. 6: Description of handled knowledge

One more representation supplement the reflection. In our opinion temporal behaviour of knowledge is also an important aspect on knowledge characterisation. The durability of knowledge in terms of time means the amount of changes that take place on the data the system is fed with. Durable means that once the data is inserted, it will not change anymore (i.e. lifespan of several years, e.g. bearing calculation method, general guidelines for embodiment design) and can be used unreflected (premising that it is correct) in this state. Unsettled means that the data underlies permanent change (i.e. lifespan of several days, e.g. capacity utilisation, occupation of machines, stock information) and that the use of it depends highly on the time. We used a scale from one to five to roughly characterise the data handled in the systems of each project (**fig. 6b**). The spearhead unambiguously lies on durable information. Certainly one had to ask how useful is a design support with unsettled information. But nowadays due to concurrent engineering approaches and a production in a turbulent environment unsettled information become more and more of interest for a support of development processes.

The last two representations show that most of the projects handle rather static data and stick to a more simple representation of knowledge. This is naturally due to the enormous degree of complexity one has to handle with more sophisticated systems. However, this analysis shows in which direction further research should head, i.e. systems which can handle more time critical data (as a major requirement from the industry) and with it naturally more complex information structures and support activities.

3.2 Knowledge feedback strategies to design

From our experience we have observed that design support relies mainly on feedback information, i.e. information from a later life cycle phase of a product back to the early stages of a new one. The different systems showed various aspects of the feedback which will be elaborated in this chapter.

In the beginning, when a product is developed from scratch, ideally no experience at all exists for this product. The designer will enter each phase of the development trying to make optimal decisions for the future. Only when a phase is finished or the product is already in use and when he observes possible drawbacks in the handling of his product, he may be able to connect those drawbacks (the symptom) to decisions in some phases (the cause) he had made. This process is purely manual based on designers own experiences since the system itself does not know or recognise anything of these interrelationships, i.e. none feedback.

Having products with a more or less complete product description, the designer is able to extract such interrelationships manually and to use them when he is going to make improvements to his products or to create new products, i.e. using the experience and knowledge of already concluded designs. Still, this is a manual process and that is the reason we call it quasi feedback. This means, that there is no intelligent retrieval to detect such interrelationships.

Therefore the nearest goal is to build up such retrieval mechanisms. So the designer could search for situations similar to his current stage (e.g. products with comparable properties, information on a specific life cycle phase). He can look after related results, i.e. possible solution for his problem. That's why we call it feedback with manual adaptation.

Moreover a next step may be to deduct possible interrelationships between decisions and related results by the system itself, i.e. a more sophisticated support to deduct support actions from arising design contexts. Relationships between experience and decisions taken before shall be extracted automatically. The designer there will have the opportunity to select either one or more of the proposed support actions to discover the most suitable one. It might also be that he will go another way in problem solving. We call this feedback with automatic-inter-active adaptation.

Still using this mechanism, but in a strictly automated form, may be another strategy. This means

preventing the designer from making decisions. The most suitable solution/action will be detected and initiated by the system. Here we speak of feedback with automatic-autonomous adaptation. This may be a disputable strategy. It might however be useful, e.g. in a strongly bounded (high-complex) domain the designer has neither experiences nor reliable information. In our opinion this should be the exception.

Summarising the analysed projects from the viewpoint of feedback it is clear that most of them have only manual or quasi feedback (**fig. 6c**). In practise this is to feed a data model with the more or less formalised experience and to make use of it during the design phases. However one system strive for more and we think that this will be the direction to go for in the future.

4 Conclusions

This paper has introduced a selection of design support relevant project run at the IMW. From that, an analysis of knowledge engineering within these projects has been made. Although this examination is largely an internal one, we believe that the applied methods and the gained abstraction hold for more than these projects. In this sense, we like to summarise as follows (statements to think about when building a design support system):

Relieving a designer in the way of taking ever repeating actions away from him means to model what in his mind is represented in an epistemic structure. This is to model certain data structures which will be matches with arising cases during the design and, in cases of fits, pre described actions could take place. A more sophisticated support is to deduct support actions from arising design contexts. Here, a meta-model is needed and the system has to cope with the heuristic structure of the user. This view on knowledge representation indicates the level of modelling and the complexity of application a system designer has to think about.

As already pointed out, several feedback strategies have been extracted. It is evident that future research has to concentrate on those systems which model information beyond simple data structures. Of interest are complex relationships which allow precise reductions of the solution space to be made (refer to /13/, tactics during the search for solutions - balanced search).

A design support system has to accept decisions taken by a designer (and might be allowed to propose solutions as well).

It is state of the art to document what decision has been made. Not that often, but still common is to document, how something was decided. This is derived from the decision itself and its context. It seems more important to us to document not only what (design object) and how (design process) but also why something has been decided. Still, design is a creative process and some decisions might be arbitrary. It is important to document them because they are the ones to be reconsidered first in cases of unsatisfaction. Documenting why something has been decided is also important for possible feedback strategies to make design processes comprehensible.

The analysis seems to show a weighting towards of research for support systems concerning the embodiment and detailed design phase. This is also reflected in the overwhelming market for design tools which exactly concentrate on those phases (CAD systems and supplementing modules). On the other hand, two important gaps have shown up. One is the missing support of the planning and conceptual phase. The other is the missing extraction of information from the later phases. We see the early phases still as a information target while the later phases are a source of them. Further research should head into the direction of making use of as much information as possible to support decisions in the very early phases of a design.

The information sources used for current support systems seems to be rather static and research concentrates on these. Actually, more unsettled data is more important, because this data is the critical type in terms of actuality, time, costs and so forth. This means, that future support systems should be nearer to such data.

Moreover, a 'new' design support system shall behave in the same manner as the 'previous' one and be used in the same way – otherwise it will not be accepted. Generally, this means that design support systems should help the designer in the way he is working right now, otherwise it will be rejected. In contradiction to that, innovation often requires new thinking and sometimes this new thinking (or methodology) affects the users. Although this paper is not primarily concerned with this topic, we would like to point out, that a smooth and sound user interface (following results of industrial sciences and ergonomic studies) is a strict require-

ment. Otherwise all the finest and best methodological approaches of knowledge engineering are useless because their benefits do not reach the user.

/13/ G. Fricke: Successful Individual Approaches in Engineering Design. Research in Engineering Design Bd. 8 (1996) Nr. 3, S. 151-165

5 Literature

- /1/ PDTAG-AM (Hrsg.): PDT Days '97 European Conference on Product Data Technology. Berkshire: Quality Marketing Services, 1997
- /2/ P. Dietz und A. Ort: Verwendung von Wiederholteil- und Normteilkatalogen gemäß der ISO 13584 "Parts Library" unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen in der Konstruktion. VDI Berichte Nr. 1289, Düsseldorf: VDI Verlag, 1996, S. 399-408
- /3/ P. Dietz, S. Penschke und A. Ort: Ansätze zur parallelen Gestaltung von Produkten und Fertigungsprozessen. VDI Berichte Nr. 1322, Düsseldorf: VDI Verlag, 1997, S. 313-329
- /4/ D. Dörner: Problemlösen als Informationsverarbeitung. 3. Aufl. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer, 1987
- /5/ N. J. Nilsson: Principles of Artificial Intelligence. Berlin: Springer Verlag, 1982
- /6/ D. T. Pham (Hrsg.): Artificial Intelligence in Design. Berlin: Springer Verlag, 1991
- /7/ T. Lenau und L. Alting: Intelligent Support Systems for Product Design. Annals of the CIRP Bd. 38 (1989) Nr. 1, S. 153-156
- /8/ V. Baya und L. J. Leifer: A Study of the Information Handling Behavior of Designers during Conceptual Design. DE-Vol. 68, New York: American Society of Mechanical Engineers, 1994, S. 153-160
- /9/ H. Yoshikawa: Systematization of Design Knowledge. Annals of the CIRP Bd. 42 (1993) Nr. 1, S. 131-135
- /10/ C. Weber: What is a Feature and what is its use? - Results of FEMEX Working Group I. (ISATA '96, Florence 3.-6. Juni 1996) 1996, S. 109-116
- /11/ G. Pahl und W. Beitz: Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung. 3., neubearb. u. erw. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1993
- /12/ V. Hubka und W. E. Eder: Design Science - Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge. Berlin: Springer Verlag, 1996

Rapid Prototyping - Vom Prototyp zum Werkzeug

Klemp, E.

Die Einsatzgebiete des Rapid Prototyping - wörtlich übersetzt bedeutet Rapid Prototyping „schnelle Herstellung von Prototypen“ - sind sehr weitläufig: Sie finden Anwendung in allen Bereichen der industriellen Herstellung. Der Prototyp kommt schon in einem sehr frühen Stadium des Konstruktionsprozesses dem gewünschten Produkt in Qualität und Eigenschaften sehr nahe. Bisher wurden diese Prototypen u.a. als Funktionsmuster und Designmodelle genutzt. Der Bereich des schnellen Herstellens von Werkzeugen wird in Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnen.

The use of rapid prototyping parts is very wide. They are nearly used in every part of industrial production, mainly in the automotive area. The idiom Rapid Prototyping means a fast production of prototypes in order to get a part at an early stage of the design process, which has nearly the shape, quality and properties of the desired part. In the nearest future the area of rapid tooling could be expected as a large growing area.

1 Einleitung

Die mit der Technik des Rapid Prototyping hergestellten Teile finden ihre Anwendung in der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt, in der Elektro- und Elektronikindustrie, in der Medizintechnik, in der Haushaltsgeräteindustrie und natürlich auch im Maschinenbau.

Mit der schnellen und zuverlässigen Herstellung von Musterteilen erlangt der Anwender dieser Technik nicht nur einen Vorsprung auf dem Markt, sondern auch einen Kostenvorteil durch die deutlich verkürzten Entwicklungszeiten sowie die Reduzierung von Fehlern.

Der Konstruktionsprozeß beinhaltet nach VDI 2221 von der Idee bis zum endgültigen Produkt mehrere Stufen, so daß je nach Abstraktions- und Konkretisierungsgrad verschiedene Prototypen entstehen. Nach /1/ unterscheidet man Proportionsmodell, Ergonomiemodell, Designmodell, Funktionsmodell, Prototyp und Muster, wobei jedes Modell eine eigenständige Funktion erfüllt. Das Verfahren des Rapid Prototyping bietet dem Anwender die Möglichkeit, ein Musterstück als Positiv oder Negativ

herzustellen. Der Nutzen eines solchen Prototypen ist es, sehr früh ein anschauliches Modell in den Händen zu halten, welches u.a. zur Aufdeckung von Fehlern oder zum Finden des Optimierungspotentials führen kann. Dabei kann mit den heutigen Verfahren eine sehr hohe Produktqualität erreicht werden. Durch die gezielte Weiterentwicklung des Verfahrens in den Bereich Rapid Tooling - nicht mehr das Positiv wird als Prototyp gebaut, sondern eine „Negativform“ - scheint der Weg der Entwicklungen für die nächste Zeit festgelegt zu sein.

2 Verfahren des Rapid Prototyping

Die technischen Verfahren, die in den Bereichen des Rapid Prototyping, des Rapid Tooling oder des Rapid Manufacturing angewendet werden, basieren auf dem gleichen Prinzip (**Bild 1**): Der Strahl eines an der Geräteoberseite angebrachten Lasers wird an einem Spiegelsystem auf eine Bauplattform umgelenkt. Durch Veränderung der Lage des Spiegelsystems kann der fokussierte Laserstrahl jeden Punkt der Bauplatte abrasieren. Auf der Bauplattform wird zu Beginn des Bauvorganges eine dünne Materialschicht aufgetragen - dies kann u.a. ein Kunststoff, ein flüssiges Polymer, ein Sand oder ein Metallpulver sein. Durch das Auftreffen des Laserstrahls auf eine Stelle dieses Materials kommt es zu einer Reaktion. Durch das „Abfahren einer Kontur“ durch den Laserstrahl entsteht so auf einer Ebene eine Kontur. Das „unbelichtete“ Material verweilt weiterhin auf der Bauplattform. Durch Absenken der Bauplattform und Auftragen einer Schichtdicke des zu bearbeitenden Materials entsteht eine neue glatte Oberfläche auf der Bauplattform. Sobald der Prozeß des Materialauftrags abgeschlossen ist, „fährt“ der Laserstrahl die nächste Schicht des konstruierten Teils ab. So entsteht Schicht für Schicht ein Bauteil (generatives Verfahren), welches immer weiter in den Bauraum der Maschinen hineinwächst, von „unbenutztem“ Material umgeben. Am Ende des Bauvorganges befindet sich das fertige Teil im Bauraum - umgeben von unbenutztem Material.

Im Laufe der letzten 10 Jahre haben sich im Bereich des Rapid Prototyping viele Verfahren entwickelt, stellvertretend seien hier drei Verfahren kurz vor-

stellt: 1) Stereolithographie (STL): ein flüssiger Polymerwerkstoff wird mit einem UV-Laser ausgehärtet, 2) Selective Laser Sintern (SLS): Ein pulverförmiges Material (Sand, Kunststoff, kunststoffumhülltes Metall) wird mit einem CO₂ Laser angeschmolzen, 3) Laminated Object Manufacturing (LOM): Papierschichten werden aufeinandergeleimt, ein CO₂ Laser schneidet die gewünschte Form aus.

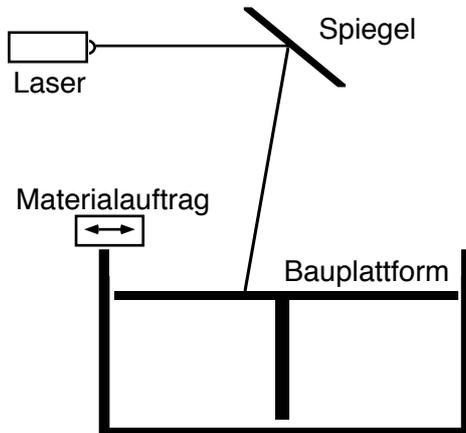


Bild 1: Grundlegendes Prinzip des Rapid Prototyping

2.1 Vorteile von Rapid Prototyping Produkten

Egal für welches Verfahren der Anwender sich entscheidet, die Vorteile der Nutzung des Rapid Prototyping - Verfahrens bestehen ganz klar in der Fehlereliminierung, in der schnellen Veranschaulichbarkeit von Funktionen und Funktionsmustern, in der Herstellung von Freiflächen und Hohlräumen. Dabei erlangen die Bauteile eine hohe Komplexität, ermöglichen kurze Entwicklungszeiten und geringe Entwicklungskosten und sorgen schließlich für eine hohe Serienqualität - aus dem Maschinenbau bekannte klassische Aspekte.

3 Rapid-Tooling

Um die Produkte noch schneller und qualitativ hochwertiger auf den Markt zu bringen, wird von der Industrie eine Verkürzung der Zeiten, insbesondere der Entwicklungszeiten gefordert. Aufgrund der guten Erfahrung mit der Herstellung von „Positivteilen“ liegt nun die Forderung der industriellen Anwender nahe, „Negativteile“ ebenso mit dem Verfahren des Rapid Prototyping zu bauen, die als Werkzeuge verwendet werden können, zum Beispiel als Spritzgußwerkzeug, oder sogar als Druckgußwerkzeug - sogenanntes Rapid Tooling. Nicht zuletzt verkürzt ein schnelles Herstellen von

Werkzeugen den Produktentwicklungsprozeß und damit die „time-to-market“ bis zu 25%.

Mit den bekannten Verfahren des SLS oder STL ist es nun ohne weiteres nicht möglich, ein industriell nutzbares Werkzeug zu bauen. Bei dem Verfahren des Selective Laser Sinterns wird nach Abschluß der Bauphase das Grünteil in einen Ofen gelegt, in dem die zum Sintern verwendete Kunststoffummantelung herausgeschmolzen und durch ein Infiltrat ersetzt wird, welches dem Bauteil eine größere Belastbarkeit verleiht und für deutlich verbesserte Oberflächengüten sorgt. Die durchaus positiven Erfahrungen zeigen, daß ein solches Vorgehen industriell im Kleinserienbau möglich ist. Darüber hinaus gibt es Tendenzen im Bereich der Forschung, die über ein indirektes Verfahren eine Werkzeugherstellung ermöglichen wollen: Eine Infiltration von Grünlingen mit Kupfer oder Graphit könnte dazu führen, daß ein Werkzeug entsteht, welche in Anlehnung an die spanabhebenden Verfahren in einer Erodiermaschinen eine Anwendung finden kann. Auf dem Gebiet der indirekten Herstellung von Werkzeugen wird des weiteren im Moment auf Basis der Stereolithographie ein System entwickelt, welches vergleichbar mit dem Silikongußverfahren einen Abguß erzeugt, aus dem dann eine Metallform entsteht. Da auf diesem Gebiet zur Zeit umfangreiche Forschung betrieben wird, ist in nächster Zukunft mit einer deutlichen Verbesserung dieses Verfahrens zu rechnen.

4 Ausblick

Aufgrund der enormen Zeitersparnis bei der Herstellung von qualitativ hochwertigen Werkzeugen wird der Bereich des Rapid Tooling immer mehr an Bedeutung gewinnen. Der sich daraus ergebende Wettbewerbsvorteil wird in Zukunft intensive Forschungsarbeiten nach sich ziehen. In diesem Zusammenhang erscheint eine Kombination von mechanischem Abtragen und generischem Aufbringen von Material sehr erfolgsversprechend. Selbst die Herstellung von Ersatzteilen vor Ort scheint realisierbar.

5 Literatur

- /1/ Gebhardt, A.: Rapid Prototyping, Hanser verlag 1996
- /2/ Tagungsband zur 1. und 2. Fachtagung Rapid Prototyping, Lemgo, 10/96, 11/97

Parameterstudie zur Terzfilterung mittels der Fast-Fourier-Transformation

Schmidt, A.; Jeschke, D.

Ausgangspunkt dieser Studie war die Suche der Autoren nach einem preisgünstigen Akustikmodul zur Durchführung einer offline Terzanalyse an gemessenen Körperschall- und Luftschallsignalen. Die wenigen am Markt erhältlichen Programme sprengten im allgemeinen den zur Verfügung stehenden finanziellen Rahmen, so daß man sich für die Entwicklung einer eigenen Lösung entschied. Mittelpunkt des generierten Lösungsalgorithmus ist die Fast-Fourier-Transformation (FFT) mit dem Problem einer geeigneten Fensterung der gemessenen Zeitsignale.

Searching for a praiseworthy acoustic module to issue an offline 1/3-octave analysis of measured structure-borne and air-borne time signals the authors figured that most available software exceeds the available financial budget. Therefore the decision was made to develop a separate solution. The centre of the generated mathematical algorithm is built by the Fast-Fourier-Transformation (FFT) and the application of an appropriate window technique to the measured signals.

1 Einleitung

In den letzten Jahren setzen sich zunehmend Meßkarten für den Rechnereinbau durch, die eine Frequenzanalyse von Signalen basierend auf der Fast-Fourier-Transformation (FFT) erlauben. Derartige Systeme sind in hohem Maße flexibel und verursachen nur einen Bruchteil der bislang üblichen Anschaffungskosten. Auf den Gebieten der Körperschall- und Luftschallanalyse hat sich über die Jahre die Terzanalyse als sinnvolles Auswertungsverfahren von Schallereignissen durchgesetzt. Die Durchführung einer Terzmessung mittels kommerzieller Analysatoren erforderte früher den Einsatz analoger Filtertechnik, und war somit ausschließlich hardwareorientiert. Ein zu analysierendes Signal wurde zu diesem Zweck einer analogen Bandpaßfilterung mit anschließender Effektivwertbildung unterzogen. Eine derartige Analyse ist durch die Einführung der digitalen Filtertechnik im Zusammenhang mit immer leistungsfähigeren Rechenan-

lagen und Meßkarten mittlerweile auch softwaretechnisch realisierbar. Ein nicht zu vernachlässigendes Problem stellt in diesem Zusammenhang eine für die digitale Filterung notwendige Fensterfunktion dar. Im folgenden wird eine Möglichkeit der digitalen Terzanalyse ausgehend von den Pegelwerten einer FFT eines vorliegenden Schallereignisses vorgestellt, und der Einfluß der Fensterfunktion auf die Signalauswertung diskutiert.

2 Grundlegende Betrachtungen

Als Testsignal diente ein zeitveränderliches Signal in Form einer Rechteckschwingung mit 1000 Hz, welches über einen Lautsprecher ausgegeben wurde. Die Signalerfassung erfolgte über ein Mikrofon, das sowohl mit einem B&K Verstärker vom Typ 2636 mit extern eingeschliffenem Terzfilter 1618 als auch einem Meßrechner mit einer digitalen Meßwerterfassungskarte vom Typ DAP 2400e/6 verbunden wurde. Dabei bietet die B&K Analytoreinheit die Möglichkeit einer manuellen On-line-Signalfilterung in Terzbändern zwischen 20 Hz und 20 kHz. Ein Vergleich der Terzanalysen für das aufgezeichnete Testsignal mittels der B&K Meßkette einerseits und dem eingesetzten softwareorientierten Auswertungsalgorithmus andererseits ermöglicht Aussagen über die Genauigkeit einer Off-line-Terzberechnung auf der Grundlage der Fouriertransformation.

Der hier behandelte Algorithmus der digitalen Terzanalyse geht aus von dem errechneten in Pegelwerten vorliegendem FFT-Schmalbandspektrum für ein in üblicher Weise gemessenes Schallsignal. Die mathematische Grundlage der Frequenztransformation basiert auf der Theorie der Fourier-Reihen bzw. des Fourier-Integrals. Die Fast-Fourier-Transformation (FFT) setzt die Existenz eines unendlichen periodischen Zeitsignals voraus. Durch Einsatz einer Fensterfunktion wird ein endliches und somit für den Rechner quasi nicht periodisches Signal in den Bereich des Unendlichen erweitert und einer Behandlung durch die Fouriertransforma-

tion zugänglich gemacht. Damit wird auch die Verarbeitung nicht periodischer Signal ermöglicht.

Der bei der FFT eingesetzte Fenstertyp beeinflusst nicht unerheblich das Frequenzspektrum des zu analysierenden Signals, vgl **Abb. 1** und **Abb. 2**. Negative Schalldruckpegel bedeuten, daß der Effektivwert des gemessenen Schalldruckpegels kleiner als der Effektivwert des Bezugsschalldrucks ist. Um die Effektivwerte der FFT einem Schalldruckpegel zuordnen zu können, wurde eine Kalibriermessung durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde bei unterschiedlichen Schalldruckpegeln der an der Meßwerterfassungskarte anliegende Effektivwert des Signals bestimmt und der am Mikrofonverstärker angezeigte zugehörige Pegelwert notiert. Man erhält eine Kalibrierkurve mit logarithmischem Verlauf. Aus den FFT-Spektren gehen zwei Gruppen von Fenstern hervor. Die eine Gruppe trennt die Peaks scharf ab, hat aber den Nachteil einer höheren Signaldämpfung von ca. 6 dB und einen insgesamt verrauschteren Verlauf (**Abb. 1**).

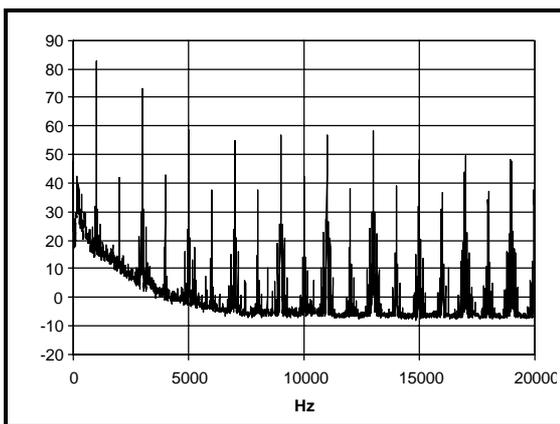


Abb.1: FFT eines Rechtecksignals, berechnet mit einem Hanningfenster

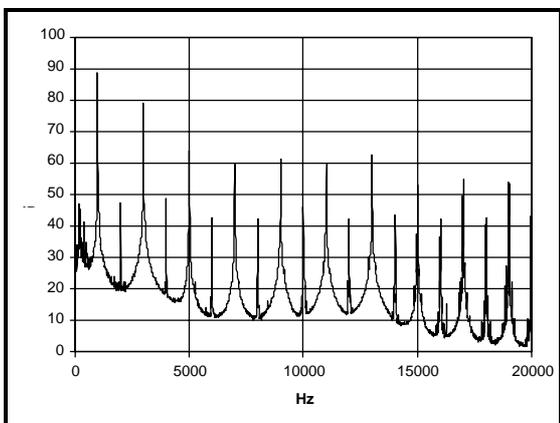


Abb.2: FFT eines Rechtecksignals, berechnet mit einem Rechteckfenster

Die andere Fenstergruppe hat einen weicheren und Kurvenverlauf, kann dafür aber die Peaks nicht so

gut abgrenzen. Innerhalb der Untersuchungen wurde der Einfluß einer Vielzahl unterschiedlicher Fenstertypen (Rechteck, Cauchy, Cos^X, Gauss, Poisson, Blackman, Hamming, Hanning und Tucky) auf die Frequenztransformation und dabei insbesondere auf das Terzspektrum analysiert.

3 Terzanalyse im Vergleich

Die FFT-Analyse wird oft bevorzugt zur hochauflösenden Frequenzanalyse benutzt, bei der die Amplitude in der jeweiligen physikalischen Einheit dargestellt wird. Eine Pegelmaß wie sie in der Terz- oder Oktavdarstellungen üblich ist, wird seltener gemacht. Eine Umwandlung der FFT in eine Terz ist schon aus diesem Grund nicht ohne weiteres möglich. Für eine Terzberechnung (konstante *relative* Bandbreite) aus einer Schmalbandanalyse (konstante *absolute* Bandbreite) ist die Summierung über konstante relative Frequenzbereiche erforderlich. Um aus Einzelpegeln einen energieäquivalenten Summenpegel zu ermitteln, nutzt man folgende Beziehung:

$$L_{Gesamt} = 10 \cdot \log \sum_1^i 10^{0,1 \cdot L_i}$$

Eine derartige Vorgehensweise summiert alle Pegel, die in das entsprechende Terzband fallen auf. Benachbarte Frequenzbänder werden hier im Gegensatz zu einer analogen Terzfilterung nicht berücksichtigt.

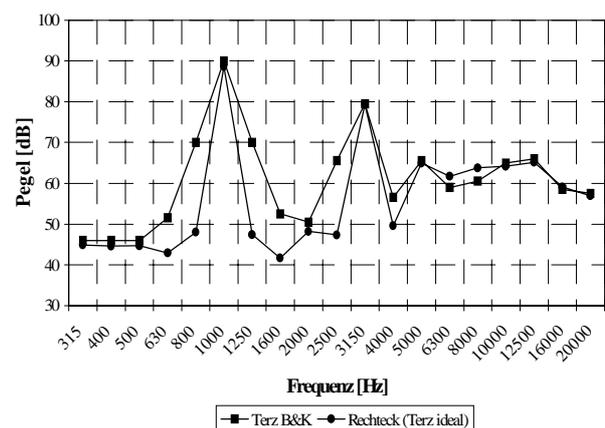


Abb 3: Vergleich einer gemessenen Terz (B&K) mit einer gerechneten Terz von einem Rechtecksignal

Vergleiche mit einer Terzmessungen nach DIN IEC 651 Klasse 0 zeigten nicht zu vernachlässigende Unterschiede der Absolutpegel in den Terzbändern (siehe **Abb. 3**).

Die qualitative Aussage ist vom Kurvenverlauf her richtig, jedoch hängt die Übereinstimmung der Spitzenpegel von der verwendeten Fensterung ab.

Darüber hinaus ist der Verlauf der idealen Terzbe-
rechnung durch eine deutlich größere Flankensteil-
heit gekennzeichnet. Eine deutlich bessere Über-
einstimmung der analog und. digital ermittelten
Terzen bringt die Berücksichtigung der Filtercha-
rakteristik des genormten Analogfilters nach DIN
45652, wie es in kommerziellen Systemen für Pegel-
messungen im Terzband eingesetzt wird, bei der
berechnung der Terz. Ausgehend vom Ideal des
Rechtecks werden durch das analoge Filter „nur“
Filterantworten gemäß **Abb. 4** erreicht.

Die Hauptcharakteristik des Filters ist geprägt durch
eine 3 dB Dämpfung an den Eckfrequenzen sowie
einer maximalen Welligkeit von ± 0.5 dB im Durch-
laßbereich. Darüber hinaus beeinflusst die endlichen
Flankensteilheit den Terzbandpegel. Durch einen
geeigneten Algorithmus kann der Einfluß benach-
barter Frequenzbänder („Pegelwerte bandfremder
Frequenzen“) auf das jeweilige Terzband infolge
der nur endlichen Flankensteilheit des genormten
Filters bei der Addition von Pegelwerten nachemp-
funden werden. Zu diesem Zweck wurde die Funk-
tion der Filterkurve ermittelt, welche als Grundlage
zur Bestimmung der Dämpfung bei der Addition der
Amplituden im Terzband diente. Der Bereich der
eigentlichen Terz (vgl. 1/3 Oktave in **Abb. 4**) geht
ohne Bewertung in die Addition ein.

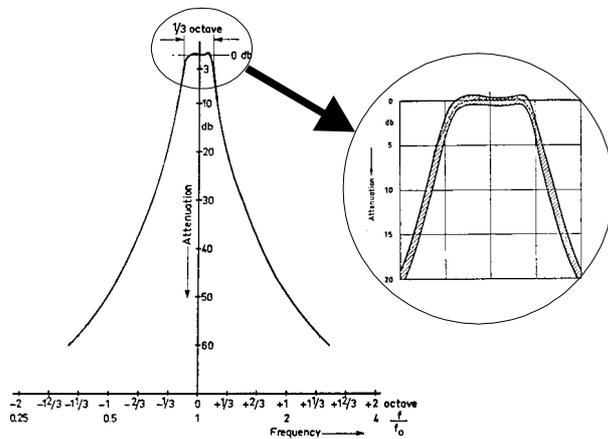


Abb. 4: Verlauf eines realen Terzfilters nach DIN 45652

Bei Anwendung auf das gleiche Zeitsignal sind nur
noch sehr geringfügige Unterschiede im Pegelver-
lauf feststellbar, **Abb. 5**. Diese sind auf Ablesefeh-
ler am Analogpegelmessers und leichte Schwankun-
gen an der Schallquelle selbst zurückzuführen.

Abb. 6 zeigt exemplarisch den Einfluß der Fenster-
ung in Form eines Hanning-Fensters bei der
Terzberechnung. Die durch die Fensterung verur-
sachte Dämpfung äußert sich in der Terzdarstel-
lung durch eine Verschiebung der Kurve entlang

der Ordinate. Es wird deutlich, daß durch die Be-
rücksichtigung des genormten Filters lediglich die
Flankensteilheit beeinflusst wird, der Spitzenpegel
hingegen nur von dem angewendeten Fenstertyp
abhängig ist.

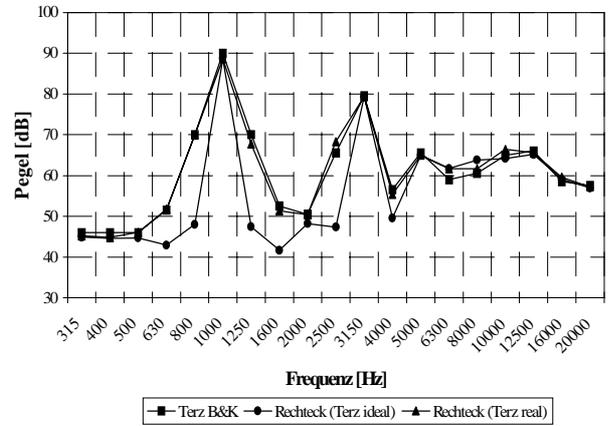


Abb. 5: Terz eines Rechtecksignals im Vergleich

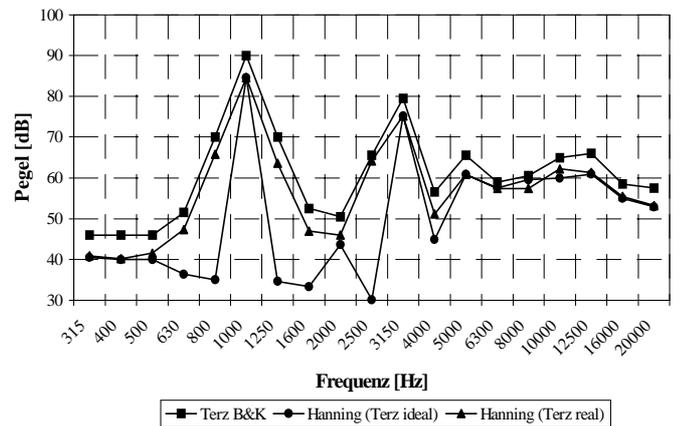


Abb. 6: Einfluß der Fensterung bei der Terzberechnung

Während die ideale Terzberechnung eine durch-
schnittliche Abweichung von $-4,9$ dB bei einer
Standardabweichung von 8 dB aufweist liegt die
durchschnittliche Abweichung der „realen“ Terzbe-
rechnung bei 0 dB bei einer Standardabweichung
von 1,32 dB. Diese Standardabweichung von 1,32
dB liegt im Bereich der Ablesegenauigkeit bzw. den
geringfügigen Schwankungen des zugrunde lie-
genden Signals.

Am exaktesten werden Terzberechnungen, die auf
Filterungen mit den Fenstertypen Cauchy, Cos^X ,
Gauss, Poisson oder Rechteck basieren. Die Fen-
stertypen Blackman, Hamming, Hanning und Tucky
liefern rein qualitativ das gleiche Bild, allerdings
muß mit einer Dämpfung von bis zu 5 dB gerechnet
werden.

Filter	Durchschnittsfehler [dB]	Standardabweichung [dB]	Dämpfung
Blackman	-5,12	1,36	Ja
Cauchy	-0,02	1,32	Nein
Cos ^X	-0,02	1,32	Nein
Gauss	-0,02	1,32	Nein
Hamming	-4,02	1,35	Ja
Hanning	-4,26	1,36	Ja
Poisson	-0,02	1,32	Nein
Rechteck	-0,02	1,32	Nein
Tucky	-4,26	1,36	Ja

Tab. 1: *Einfluß der Filterung auf die Terzberechnung*

Am exaktesten werden Terzberechnungen, die auf Filterungen mit den Fenstertypen Cauchy, Cos^X, Gauss, Poisson oder Rechteck basieren. Die Fenstertypen Blackman, Hamming, Hanning und Tucky liefern rein qualitativ das gleiche Bild, allerdings muß mit einer Dämpfung von bis zu 5 dB gerechnet werden.

4 Ausblick

Damit ist gezeigt, daß die Berechnung von Terzbändern aus einer FFT ohne weiteres möglich ist, wenn man die Filterkurve der bislang üblichen und genormten Terzen zugrunde legt und die Pegeldämpfung der Fensterfunktion bei der Terzberechnung berücksichtigt bzw. im Ergebnis ausweist. Die durchschnittliche Abweichung der „realen“ Terzberechnung von 0 dB bei einer Standardabweichung von 1,32 dB kann in diesem Sinne als durchaus befriedigend angesehen werden. Ein entscheidender Vorteil des vorgestellten Verfahrens liegt in der Möglichkeit auch umfangreichere Messungen zusätzlich zur FFT-Analyse einer Terzbewertung unterziehen zu können, ohne auf in aller Regel recht teure Akustik-analysatoren zurückgreifen zu müssen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, in wieweit die ideale Terzberechnung, die keine bandfremden Frequenzen berücksichtigt, die besseren Ergebnisse liefert. Im Sinne der strengen Definition der Terzbänder liefert sie, rein formal betrachtet, die exaktere Beschreibung. Als generell falsch kann eine Addition auf dieser Grundlage demnach nicht abgetan werden.

Konstruktion eines Prüfstandes zur Messung des Querelastizitätsmodul von Drahtseilen

Henschel, J.; Mupende, I.

In dem folgenden Beitrag werden die Grundlagen des Einflusses eines charakteristischen Seilparameters auf die Beanspruchungen in einer Trommelwinde erläutert. Die experimentelle Ermittlung des Steifigkeitsverhaltens von Drahtseilen unter Last in Längs- und Querrichtung stellen den Schwerpunkt der Untersuchungen dar. Für die Ermittlung dieser charakteristischen Kennwerte wird am Institut für Maschinenwesen ein Prüfstand entwickelt und in Betrieb genommen.

You will get an introduction in basic dependencies using wire ropes on a drum winch. The experimental analysis from wire rope characteristics is one focus in research at the IMW. Especially the measurement of the elastical behaviour from steel wire ropes in cross direction is of importance. The IMW designed and built a test rig to verify the calculation from drum winches with measurement data.

ändert. Insbesondere im Hinblick auf die Belastungen von Trommelkörpern, welche mit Drahtseilen dieser Bauart bewickelt werden, erhöhen sich Beanspruchungen bei gleicher Stranglast.

In den einschlägigen Normen (DIN 1073; DIN 51201; VDI 2358) werden jedoch lediglich Meßvorschriften für die Ermittlung der Längselastizitätsmoduli von Drahtseilen gegeben. In einer Reihe von Dimensionierungen und Bauteilbeanspruchungsanalysen wurde auf der Basis von Dietz /1/ und durch weitestführende Arbeiten am IMW jedoch der unmittelbare Zusammenhang zwischen E_{SQ} und den auftretenden Trommelbelastungen nachgewiesen.

Mit dem Bau des Prüfstandes wird das Ziel verfolgt, zuverlässige Kennwerte der Elastizität der Drahtseile in Querrichtung zu ermitteln. Die so ermittelten Kennwerte dienen unter Verwendung einer geeigneten Dimensionierungsmethode zur sicheren Auslegung von Trommelkörpern.

1 Einleitung

Der vorliegende Artikel gibt eine Übersicht über die Grundlagen, die Anforderungen und die Konstruktion eines Prüfstandes zur Ermittlung der Querelastizitätsmoduli von Drahtseilen.

Durch die Entwicklungen neuer Verseilungsarten (verdichtete Litzen; **Bild 1**) hat sich das Steifigkeitsverhalten von Drahtseilen entscheidend ver-

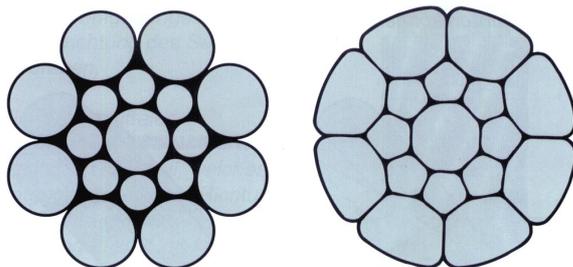


Bild 1: Standardverseilung / verdichtete Litzen

1.1 Grundlagen

Durch eine Vielzahl von Messungen an realen Bauteilen sowie der Dimensionierung von Trommelkörpern mit der Methode der finiten Elemente konnte ein Zusammenhang zwischen der Quersteifigkeit der verwendeten Drahtseile und der Beanspruchungen im Trommelkörper festgestellt werden. Die in /1/ von Dietz durchgeführten Versuche zur Ermittlung der Querelastizitätsmoduli stellen die ersten Untersuchungen in diesem Bereich dar.

Hierbei wurde festgestellt, daß bei konstanten Seillasten die Beanspruchung im Trommelkörper bei steigendem Querelastizitätsmodul zunehmen. Bestätigt wurden diese Resultate durch die in /2/ angeführten Messungen an realen Trommelkörper. Hierbei wurden drei identische Trommelkörper (F_{smax} : 30 kN; 23 Windungen, 5 Lagen) mit identischen Seillasten je Versuch unter Verwendung von Drahtseilen unterschiedlicher Machart im Versuch getestet. Zum Einsatz kamen hier:

1. Drahtseil Bauart Warrington,
2. Drehungsarmes Hubseil,
3. hochfestes Drahtseil (verdichtete Litzen).

In den Versuchen wurden unterschiedliche Trommellasten gemessen. Da lediglich die Seilmachart der variable Parameter war, wurde die Varianz in den Trommellasten hierauf zurückgeföhrt.

Es wurde festgestellt, daß durch die Verwendung eines hochfesten Drahtseiles die Trommelasten bei einer Bewicklung bis in die oberste Lage quasi linear ansteigen. Bei der Verwendung von Drahtseilen herkömmlicher Machart trifft dies nicht zu. Vielmehr ist zu beobachten, daß eine Steigerung der Trommellast bei einer Bewicklung mit mehr als drei Lagen nur noch sehr gering ist.

Durch die Gegenüberstellung der Resultate analytischer Berechnungen nach /1/, Berechnungen mit der Methode der finiten Elemente und den Ergebnissen der Messungen am realen Bauteil konnte nachgewiesen werden, daß im wesentlichen die Varianz der Seilquersteifigkeiten für die unterschiedlichen Trommelbelastungen ausschlaggebend ist. Hieraus wurde die Forderung abgeleitet, ein geeignetes Meßverfahren zur Ermittlung dieses Kennwertes zu entwickeln.

1.2 Konstruktion des Prüfstandes

Im Folgenden wird die im Institut für Maschinenwesen durchgeführte Entwicklung eines Prüfstandes zur Messung der Querelastizitätsmoduli von Drahtseilen erläutert.

Wie bereits in /1/ von Dietz festgestellt, ist die Quersteifigkeit eines Drahtseiles nicht nur von der Machart, sondern auch von der anliegenden Vorspannung abhängig. Das heißt, eine Varianz der Stranglast hat eine Veränderung des Quersteifigkeitsverhaltens zu Folge. Für die Entwicklung eines Prüfstandes bedeutet dies, daß die Aufbringung einer variablen Vorspannung in Längsrichtung sowie eine Kraftaufbringung in Querrichtung des Drahtseiles realisiert werden muß.

Zur Messung des charakteristischen Kennwertes ist zu bemerken, daß nicht die Durchmessererringerung unter Längsvorspannung den Kennwert repräsentiert, sondern das Elastizitätsverhalten unter zusätzlich wirkender Querkraft den Zielparameter darstellt.

Zu diesem Zweck wird der Prüfstand vergleichbar einer Zugprüfmaschine aufgebaut. In **Bild 2** ist der Prüfstand in der Gesamtansicht dargestellt.

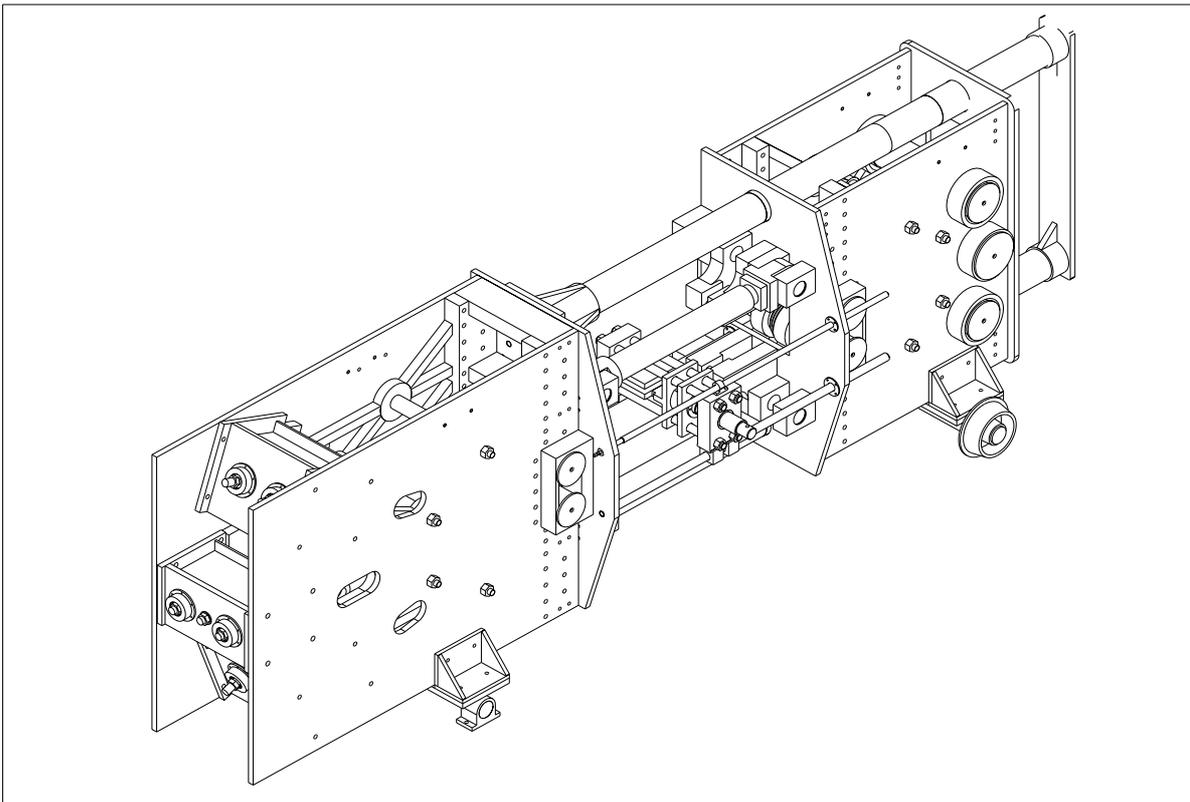


Bild 2: Gesamtansicht des Prüfstandes

Die Stranglast wird über acht Hydraulikzylinder mit einem Betriebsdruck von max. 200 bar erzeugt. Die gewählte Anordnung erlaubt die Aufnahme von bis zu sechs Drahtseilen mit einem Durchmesser von 7 bis 32 mm. Die Seilbefestigungspunkte sind einstellbar ausgeführt. Es wird hierdurch ermöglicht, daß Längenunterschiede von bis zu 70 mm zwischen den Seilen einer Prüfgruppe ausgeglichen werden können.

Die Vorspannung in den Drahtseilen ist stufenlos über ein Proportionalventil bis zur Maximalkraft von $F_{smax} = 1.200 \text{ kN}$ regelbar.

Die Messung der Querelastizitätsmoduli erfolgt bei statischer Stranglast. Die Meßeinrichtung hierfür ist in **Bild 3** dargestellt. Sie besteht im wesentlichen aus einem Hochdruckhydraulikzylinder, welcher über variable Stempelgeometrien die Querkraft in

1.3 Messprogramm

Es wird in Aussicht genommen, Drahtseile in dem o. g. Durchmesserbereich (7 bis 32 mm) zu prüfen. In Anlehnung an /1/ wird ein Verhältnis von σ_L zu $\sigma_Q = 0,1$ mit σ_L von 0 bis 50 % der Nennfestigkeit angestrebt. Eine Erweiterung der Untersuchungen auf die Grundlagen von Bechtloff /3/ wird angestrebt. Bechtloff gibt einen Längsspannungsbereich von 50 - 1.000 N/mm², d. h. im Regelfall bis weit über 50 % der Nennfestigkeit der Drahtseile an. Daneben wird unter diesen Längsspannungen ein Querspannungsbereich zwischen 0,3 N/mm² und 10 N/mm² angegeben.

Besondere Beachtung findet auch die Anordnung der Drahtseile im Prüfstand. In der gewählten Aus-

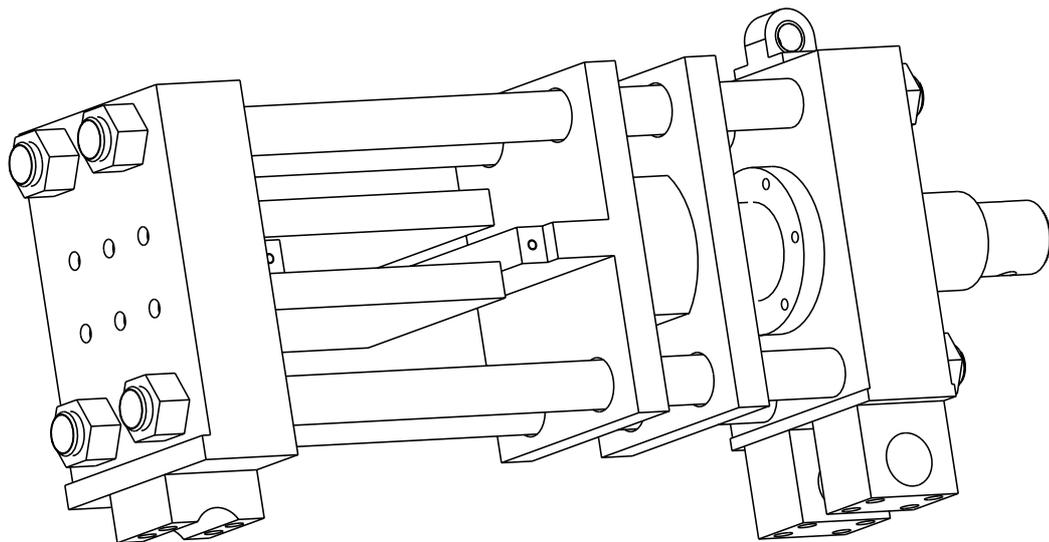


Bild 3: Baugruppe Querkraft

die im Prüfstand befindlichen Drahtseile einleitet. Zur Messung werden die aufgebrachten Kräfte in Querrichtung als auch die Stauchung der Drahtseile unter der eingestellten Last ermittelt. Durch ein horizontales Verfahren des Querprüfgerätes ist es möglich an einer Charge eingespannter Drahtseile mehrere Messungen innerhalb des Meßraumes (1,50 m) durchzuführen. Die Meßlänge wird ausschließlich von den Stempelgeometrien bestimmt.

führung ist es möglich, sowohl parallel liegende Seile als auch pyramidenförmig geschichtete Drahtseile im Hinblick auf ihr Querelastizitätsverhalten zu untersuchen. Ziel der variablen Anordnung der Drahtseilpackung ist die Simulation eines Abschnitts der Bewicklung auf einem Trommelkörper.

2 **Ausblick und Zusammenfassung**

Der am Institut für Maschinenwesen entwickelte Prüfstand zur Messung der Querelastizitätsmoduli von Drahtseilen wird 1998 in Betrieb genommen werden. Mit dem Prüfstand ist es möglich, die Querelastizitätsmoduli von Drahtseilen unter variabler Längsspannung zu messen. Es können Drahtseile in einem Durchmesserbereich von 7 bis 32 mm unterschiedlichster Machart geprüft werden.

Ziel der Untersuchung ist die Erstellung eines geeigneten, standardisierten Meßverfahrens zur Ermittlung der Querelastizitätsmoduli von Drahtseilen. Die Weiterverarbeitungen der so gewonnenen Ergebnisse wird im Rahmen des Forschungsvorhabens S 407 der Stiftung Industrieforschung zu einem Berechnungsansatz zur Dimensionierung von Trommelkörpern unter Einarbeitung der Einflüsse der Seilparameter zum Ziel haben.

3 **Literatur**

- /1/ Dietz, P.: Ein Verfahren zur Berechnung ein- und mehrlagig bewickelter Seiltrommeln. Dissertation, TH Darmstadt, 1971
- /2/ Henschel, J.: Institutsmitteilung Nr. 20, IMW Clausthal 1995
- /3/ Bechtloft, G.: Die Beanspruchung des Drahtseilquerschnittes unter Längslast und ebener Querpressung (II), Draht-Welt 55 (1969) 3, S. 147-158

SIMDES - Verfahrenstechnische Behandlung des Sorbens in einer Niedertemperaturrauchgasentschwefelungsanlage

Bönig, S., Klemp, E., Romann, M.

Ein mögliches Verfahren, um die SO_2 -Emissionen von Feuerungsanlagen zu reduzieren, ist das sog. Reaktionsverfahren im Niedertemperaturbereich. Hier wird dem schwefelhaltigen Abgas im Reaktionsraum ein calciumhaltiges basisches Sorbens in Abhängigkeit des zu erzielenden Entschwefelungsgrades zugegeben, wobei das SO_2 an der Oberfläche der Feststoffpartikel chemisch gebunden wird. Nach der Reaktion verlassen jedoch auch unreaktierte oder unvollständig reaktierte Partikel den Reaktor. Um die Sorbensmenge zu minimieren und damit auch die anfallenden Abfallprodukte zu verringern, sind verfahrenstechnische Maschinen erforderlich, die ein kontinuierliches Aufbereiten und Rückführen der noch reaktionsfähigen Sorbenspartikel ermöglichen. Forschungsergebnisse im Bereich der Feststoffbehandlung sind zum einen die Konstruktion eines geeigneten Staubabscheiders und zum anderen die Festlegung der Anforderungen an einen Sichter, der mit Hilfe von Analysen und Versuchen spezifiziert wurde.

A suitable chemical process to reduce SO_2 emissions efficiently in combustion plants is the process of low-temperature desulphurisation. The solid absorbent which is added to the exhaust gas in the reaction chamber in a definite relation to the concentration of sulphur dioxide does not react completely. Modified processing machines must follow the chemisorption in order to minimize the required absorbent as well as to avoid the accumulation of solid residual products. The result of this research is the construction of a dust collection unit which allows to recycle the unreacted particles continuously with defensible costs. Furthermore the requirements of the adjoining separation unit have been established after carrying out analysis and tests of the solid particles leaving the reaction chamber.

1 Einleitung

Bei Feuerungsanlagen sind aufgrund des im Brennstoff enthaltenen Schwefels die Schwefeldioxidemissionen nur mit einer zusätzlichen Entschwefelungsanlage zu reduzieren. Eine Vielzahl von prozeßnachgeschalteten Verfahren sind be-

reits mit unterschiedlichem Erfolg im Einsatz, um die vom Bundesimmissionsschutzgesetz vorgeschriebenen Grenzwerte bezüglich dieses für Mensch und Umwelt schädlichen Luftschadstoffes einhalten zu können.

Insbesondere bei kleinen Feuerungsanlagen spielen die Investitions- und Betriebskosten einer Entschwefelungsprozeßstufe gerade bei der Nachrüstung eine entscheidende Rolle. Ein mögliches Verfahren ist das sogenannte Reaktionsverfahren im Niedertemperaturbereich, bei dem das Schwefeldioxid des Abgases vorwiegend an der Oberfläche eines calciumhaltigen Sorbens bei Temperaturen unter 100°C durch Chemisorption eingebunden wird. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist es, daß hohe Entschwefelungsgrade erreichbar sind und die bei kleinen Anlagen auftretenden Leistungsschwankungen rasch aufgefangen werden können. Das Verfahren arbeitet trocken, vermeidet aus diesem Grund eine teure Abwasserbehandlung und beansprucht daher auch wenig Bauraum. Desweiteren kann der Anfall von deponiebedürftigen Abfallprodukten durch ein Rezyklieren des Sorbens auf ein Minimum reduziert werden.

Bevor ein solches Verfahren erstmalig in dieser Form zum Einsatz kommen kann, muß zunächst die chemische Verfahrenstechnik optimiert sowie die notwendigen verfahrenstechnischen Maschinen entwickelt und erprobt werden.

Dieser Artikel gibt einen Überblick über die am IMW gefundenen Detaillösungen im Bereich der verfahrenstechnischen Weiterbehandlung des Sorbens im Anschluß an die Reaktionsstufe einer Versuchsanlage.

2 Die Versuchsanlage

In einer Versuchsanlage, die am Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik der TU Clausthal installiert ist, wird ein feuchtes schwefelhaltiges Abgas erzeugt, das mit dem Reaktionsverfahren entschwefelt wird, siehe **Bild 1**.

Zur Erzeugung der realen Rauchgase kommt ein 30 KW Erdgasbrenner zum Einsatz, dessen Abgas nach Passieren von zwei Wärmetauschern mit Was-

serdampf konditioniert wird, bevor SO_2 mit einer Dosiereinrichtung zugegeben wird. Nachdem auf diese Weise feuchte Rauchgase von Feuerungsanlagen simuliert wurde, wird das calciumhaltige Sorbens mit einem definierten Massenstrom mittels einer Dosier- und Dispergiereinheit zugegeben und mit einer Düse mit dem Abgas vermischt.

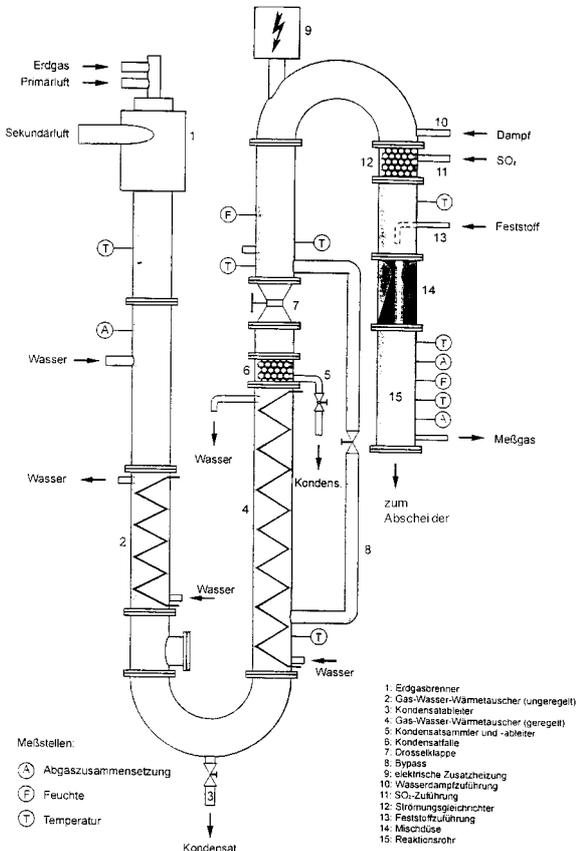


Bild 1: Versuchsanlage /1/

Im Reaktionsraum findet die Chemisorption statt, bei der das SO_2 an der Oberfläche des Feststoffs gebunden wird, so daß das Abgas weitgehend entschwefelt die Anlage verlassen kann. Der Feststoff wird mit einem kontinuierlichen Abscheider vom Abgas abgetrennt, um das nur teilweise durchreagierte Sorbens nach einer Aufbereitung wieder zurückzuführen. Die Auslegung und Konstruktion der Aufbereitungseinheit des Feststoffes, die aus Abscheider, Sieber und Fördereinheit besteht, erfolgt am IMW u.a. durch begleitende Analysen und Versuche in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik und dem Institut für Mechanische Verfahrenstechnik.

3 Stand der Forschungen am IMW

3.1 Auswahl und Konstruktion eines Abscheiders

Das im Abgas dispergierte schwefelhaltige Sorbens soll nach Verlassen der Reaktionsstufe vollständig

und kontinuierlich von der gasförmigen Phase getrennt werden.

Zu diesem Zweck stehen verschiedene Abscheider mit unterschiedlichen physikalischen Wirkprinzipien zur Verfügung. Nach Festlegung der Anforderungen und einer vergleichenden Analyse zeigt sich, daß filternde Abscheider am besten geeignet sind, diese Trennaufgabe zu erfüllen: Mit Hilfe von Schlauchfiltern, die bei Bedarf im pulse-jet Verfahren abgereinigt werden, kann der Feststoff kontinuierlich aus dem Abgas entfernt werden, wobei sehr hohe Abscheidegrade erreicht werden. Sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten sind bei dieser Bauweise gering. Ein weiterer Vorteil dieses Abscheiders ist es, daß an der Oberfläche des Filtermediums die Entschwefelungsreaktion noch immer anhält, denn das Abgas muß den Filterkuchen mit den z. T. noch reaktionsfähigen Partikeln durchströmen.

Nach Rücksprache mit verschiedenen Filter- und Faserherstellern konnte ein geeignetes Filtermaterial ausgewählt werden, das selbst bei dem vorliegenden feuchten und stark zum Verkleben neigenden Sorbens ein Zusetzen des Filters verhindert. Am IMW wurde eine Modellfilterkammer aufgebaut, in der eine Reihe von Filtrations- und Abreinigungsversuchen mit diesem Filtermaterial durchgeführt wurden, siehe **Bild 2**.

Da die in der Versuchsanlage herrschenden Betriebsbedingungen in der Modellfilterkammer fast vollständig simuliert werden konnten, wie z.B. Temperatur, relative Feuchtigkeit, spezifische Filterbelastung sowie chemische Zusammensetzung des Feststoffs, sind die Resultate auf die Versuchsanlage übertragbar. Anhand der so festgelegten Betriebs- und Auslegungsparameter wurde eine Filterkammer für den Einsatz an der Technikumsanlage konstruiert, deren Filterfläche von $0,9\text{m}^2$ auf sechs Filterschläuche verteilt vorliegt /2/.

Während des Filtrationsprozesses werden die Feststoffpartikel, die den Reaktor mit dem Abgas unter definierten Bedingungen verlassen, an der Oberfläche des Filterschlauches in Form einer zusammenhängenden Schicht abgeschieden. Schwere Partikel können aufgrund ihrer Trägheit dem umgelenkten Abgasstrom nicht folgen und sedimentieren direkt in den trichterförmigen Staubunker, siehe **Bild 3** und **Bild 4**.

Beim Abreinigungsprozeß wird der Filterkuchen online bei jeweils drei Filterelementen mit Hilfe eines rückwärtigen Druckluftimpulses entfernt. Der Abreinigungsimpuls wird ausgelöst, wenn der Druckver-

lust zwischen Rohgas- und Reingasseite den Wert von 100mbar überschreitet.

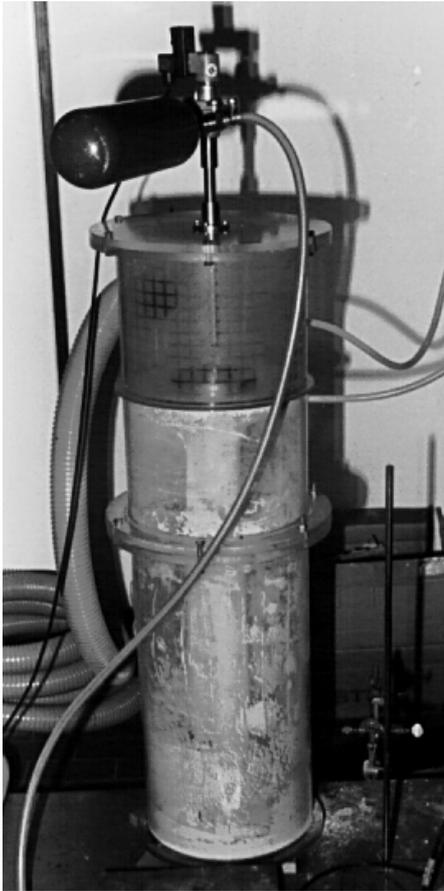


Bild 2: Modellfilterkammer

Nach jedem Abreinigungsstoß schaltet eine Elektronik zwischen den Membranventilen um, so daß jeweils drei Filterelemente abwechselnd abgereinigt werden. Das abgereinigte Material fällt in Form von Schülpfen (Platten) vom Filter und sedimentiert auf den Bunkerboden. Dabei werden die anderen drei Filterelemente, die weiterhin filtrieren, nur geringfügig belastet. Eine Zentralschleuse befördert zuletzt den Feststoff aus dem geschlossenen Filterapparat.

3.2 Trocknen des Feststoffes

Nach der vollständigen Abtrennung der Partikel aus dem Abgasstrom liegt der Feststoff im feuchten, agglomerierten Zustand vor und kann in dieser Form nur schlecht verfahrenstechnisch weiterverarbeitet werden. Verbleibt der Feststoff noch eine bestimmte Zeit im Bunker des Filterapparates und wird dieser dort aufgeheizt, so verdampft ein großer Teil des Wassers und gelangt durch Stoffaustauschvorgänge ins Abgas, mit dem es ausgetragen wird. Aufgrund der Kammergeometrie befindet sich der abgereinigte Feststoff in einer Zone lang-

samer Strömung, so daß zwar einerseits das verdampfte Wasser abtransportiert wird, aber andererseits kein Feststoff erneut auf die Filterelemente gelangt.

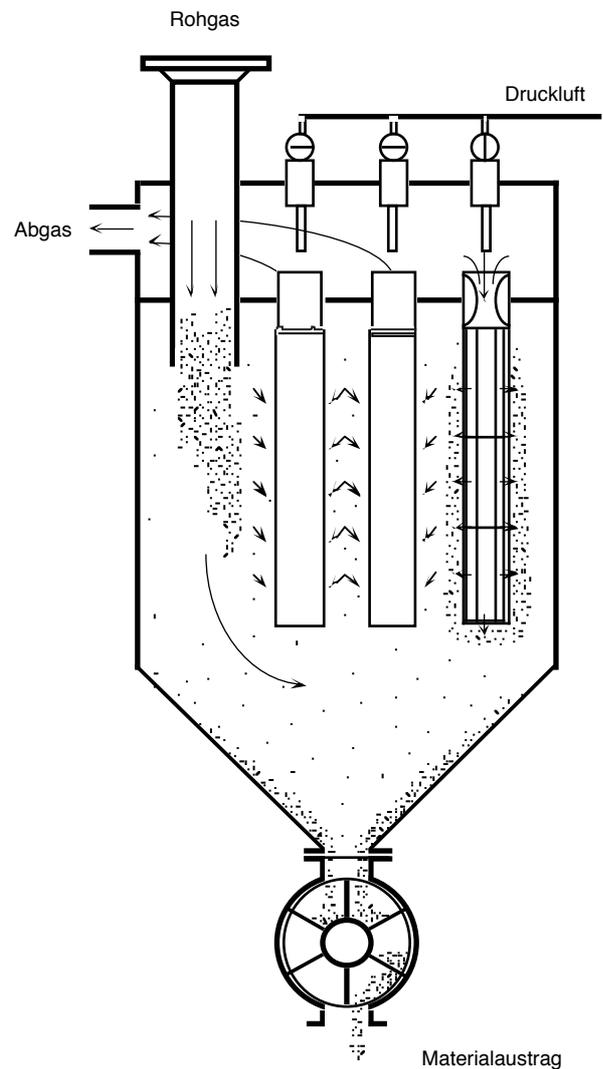


Bild 3: Schema der Filterkammer

Auf diese Art ist es möglich, den Feststoff noch im Filterapparat teilweise zu trocknen und erst dann aus dem Filterapparat zu entnehmen.

3.3 Zusätzliche Experimente

Um festzustellen, wie die Partikel für ihre weitere Verwendung aufbereitet werden können, wurde an der Technikschanze ein Experiment durchgeführt, welches Aussagen über die Partikelverteilung bezüglich des Schwefelgehaltes und der Sinkgeschwindigkeit aufgrund des unterschiedlichen Absetzverhaltens ermöglicht. Hierzu wurde der senkrechte Rohrreaktor der Entschwefelung um einen 2 m langen, waagerechten Kanal verlängert, in dem das Abgas mit 0,1 m/s strömt und sich die Partikel teilweise absetzen. Die Analyse zeigt, daß die mittlere Korngröße der Partikelverteilungen vom Ein-

lauf des Kanals zu dessen Ende hin leicht abnimmt und der Schwefelgehalt der Partikel zunimmt. Der Schwefelgehalt der Partikel, die sich nicht im Kanal abgesetzt haben, sondern in den angrenzenden Filter gelangt sind, ist am geringsten von allen. Das heißt, daß die Entschwefelungsreaktion nur einen geringen Einfluß auf die Korngröße der Partikel hat, daß aber reagierte Partikel eine erheblich höhere Dichte aufweisen.

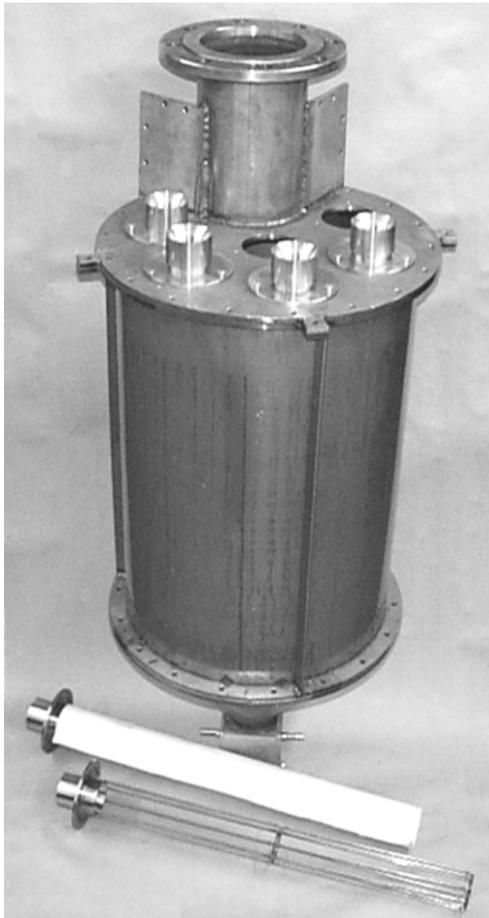


Bild 4: Geöffnete Filterkammer mit Filterelement und Stützkorb

Diese Partikeleigenschaften zeigen, daß die Hauptaufgabe der Aufbereitung nicht auf einer Zerkleinerung der Partikel beruht, sondern daß es auch aufgrund der geforderten wirtschaftlichen Betriebsweise der Aufbereitungsstufe ausreicht, die Partikel zu desagglomerieren und zu sichten.

4 Weitere Forschungen: Aufbereitung des Feststoffes durch Sichtung

Der entscheidende Verfahrensschritt zum Schließen der Partikelrückführung ist das Sichten der nicht ausreagierten Partikel. Wie die Ergebnisse aus dem Versuch mit dem waagerechten Strömungskanal gezeigt haben, weist die Partikelver-

teilung mit der geringsten Sinkgeschwindigkeit den geringsten Schwefelgehalt auf.

Eine Sichtung dieser Partikel ist nur möglich, wenn diese trocken und desagglomeriert vorliegen. Da der Feststoff stets zum Agglomerieren neigt, ist es günstig, die Verfahrensschritte Trocknen, Desagglomerieren und Sichten räumlich in einem verfahrenstechnischen Apparat zusammenzulegen.

Beispielsweise können die Partikel in einem Sichter mit umlaufendem Trommelsieb desagglomeriert und gleichzeitig in zwei Fraktionen getrennt werden.

Die Aufgabe des Trommelsiebes, das von trockener Transportluft durchströmt wird, besteht darin, die Feststoffpartikel ausreichend zu desagglomerieren, wobei der Einsatz von Mahlkörpern diesen Vorgang unterstützt. Durch Wahl einer geeigneten Mimik, wie z.B. einer Bürste, kann das Belegen der Siebaußenseite mit Partikeln verhindert werden.

Bei der Sichtung sollen die schweren schwefelhaltigen Partikel von den leichteren noch reaktionsfähigen Partikeln getrennt werden. Eine genaue Festlegung der erforderlichen Trenngrenze des Sichters ist allerdings aus zwei Gründen nicht möglich: Einerseits muß die Massenbilanz eingehalten werden, um eine Anreicherung des Feststoffes im Kreislauf zu vermeiden, andererseits hängt die Partikelgrößenverteilung von der Entschwefelungsleistung der Anlage bzw. der ursprünglichen SO_2 -Konzentration im Abgas sowie der zudosierten Sorbensmenge ab.

Mit Hilfe einer intelligenten Steuerung, wie sie bereits in der Institutsmitteilung Nr. 19 von 1994 ausführlich vorgestellt wurde, ist es möglich, diesen Teil der Anlage in dem jeweils optimalen Betriebspunkt zu betreiben.

Beim Verfahrensschritt Sichten sollen die Partikel, die der Strömung nicht zu folgen vermögen, in den Grobgutaustrag (Zellradschleuse) gelangen. Partikel, deren Sinkgeschwindigkeit kleiner als die geforderte Sinkgeschwindigkeit ist, passieren die Trennzone und werden mit der trockenen Transportluft in den oberen Teil des Apparates und anschließend bis zurück zum Reaktor befördert.

Ziele weiterer Forschungsarbeiten sind die Festlegung der Anforderungen an den Sichter sowie dessen Auslegung und Konstruktion.

5 Literatur

- /1/ SFB-Bericht 1996
- /2/ Puschmann, F.: Diplomarbeit, Institut für Maschinenwesen, 1997

Die Integration heterogener Rechnerwelten in der Praxis

Heimannsfeld, K.

Im IMW treffen seit Generationen verschiedene Rechnerwelten aufeinander. Eingesetzt werden Apple Mac's für den Büroalltag, SUN Workstations für anspruchsvollere CAD/FEM Aufgabe und vermehrt der gemeine Industriestandard PC in Werkstatt und im CIM/Fertigungsbereich. Während die UNIX Welten über relativ offene und stabile Schnittstellen verfügen, fangen bei den proprietären Lösungen von Apple und Microsoft die Probleme an. Synchronisierung von Passwörtern, Benutzerrechten, Gruppenrechten, einheitlicher Datenzugang und Benutzerprofile sind nur einige Schlagwörter, die einen Systemadministrator in den Wahnsinn treiben können.

The IMW features traditionally several computer architectures. Apple Mac's are used in the offices, SUN workstations are used for CAD and FEM purposes and industry standard PC's are used more frequently in the workshop and in the CIM/production area. While UNIX systems are relatively open, problems arise when using mostly proprietary interfaces featured by Apple and Microsoft. Password synchronisation, user rights, group rights, integrative file access and user profile are just a few key issues that can drive system administrators mad.

1 Die Ausgangssituation am IMW

Die Rechner und Computerwelt des IMW's war traditionell zweigeteilt. Im Büroalltag erfreuten Apple Macintosh's die Benutzer, während die leistungshungrigen CAD und FEM Benutzer sich zumeist auf Workstations der Firma SUN stürzten. Mit der zunehmenden Annäherung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Rechnerarchitekturen verschwimmen diese traditionellen Grenzen aber immer mehr. Neben den beiden Rechnerarchitekturen SUN und Apple gab es am IMW natürlich auch den berühmten *Industriestandard* PC mit den bekannten Betriebssystemen des Herrn Gates. Da diese jedoch zumeist ihr Leben als Messwert-erfassungsrechner in dunkeln Labors fristeten war die Integration mit Ausnahme des gelegentlichen Dateitransfers noch kein Thema. Durch die wachsende Schar von Anwendern wurde allerdings klar, das auch auf der Seite der PCs erheblicher Integrationsbedarf besteht.

Im UNIX Bereich existieren drei SUN Server. Die *PRIME* mit zwei Prozessoren dient als zentraler Datei- und Datenbankserver (ORACLE). Desweiteren ist die *PRIME* für die Verteilung der verschiedenen Softwarelizenzen im Netz verantwortlich. Die *IMWSRV* ist als der zentrale Kommunikationserver mit EMail-, FTP- und World Wide Web Aufgaben betreut. Zuletzt existiert noch ein spezieller FEM Server namens *TWINSPARK*, der kürzere FEM Berechnungen ohne Hilfe des Großrechners im Rechenzentrums der TU durchführt.

Die Macwelt wird durch einen speziellen Datei- und Druckserver mit dem Namen *MACSRV* unterstützt. Für Mac-basierte Datenbankapplikationen (Filemaker Pro) existiert weiterhin ein spezieller Datenbankserver names *MacServe*. Jetzt fängt aber schon die Verwirrung an. Während *MacServe* wirklich aus Apple Hardware besteht, ist die *MACSRV* eine SUN Workstation mit spezieller Software.

Die auch im IMW aufblühende Welt der Bill-Gates Betriebssysteme hat zu der Einrichtung eines zentralen Windows NT Servers geführt namens *NTSRV*. Neben den Aufgaben als Datei-, Applikations- und Druckserver läuft derzeit auch die Terminplanungssoftware *TeamAgenda* auf der *NTSRV*. Insgesamt versorgen diese 6 Server ca. 50 SUN Workstation, 25 Mac's und weitere 15 PC's im IMW. Zuwachs ist für die nächsten Wochen vorprogrammiert, da leistungsfähige Intel PC's mit Windows NT 4.0 zu CAD Zwecken angeschafft werden sollen.

2 Problemfelder

Eine Hauptbestandteil der täglichen Arbeit eines Systemadministrators liegt in manuellen Tätigkeiten, wie das Einrichten und Ändern von Benutzern. Das **Benutzermanagement** sollte daher möglichst von einer zentralen Stelle aus durchgeführt werden. Während der Mac Benutzer nur sehr rudimentär kennt, ist dies innerhalb von UNIX Systemen und Window NT leicht möglich. Auf allen drei Systemen Benutzer gleichzeitig also synchronisiert zu verwalten, stellt dann wieder ein erhebliches Problem dar. Benutzerprofile, Zugriffsrechte für Benutzer und Gruppen, Passwörter sind weitere

Punkte, die sich hinter dem Sammelbegriff Benutzermanagement verbergen.

Für die Integration des Zugriffs auf gemeinsame Plattenbereiche oder **Dateisysteme** stehen mehrere Lösungen zur Verfügung. Die einfachste Lösung ist die Verwendung des NFS (NetworkFileSystem) von SUN. Durch den Zukauf von Softwarezusätzen kann transparent auf UNIX Dateisysteme von MAC's und PC's zugegriffen werden. Leider ist diese Lösung wegen der mangelnden Stabilität (nicht zuletzt durch die fehlende Integration in das Betriebssystem des Herstellers) nach unseren Erfahrungen unpraktikabel. Die Alternative liegt in der Benutzung der Originalschnittstellen die Apple oder Microsoft (AppleTalk/SMB) anbieten und die als Implementierung für den entsprechenden Server verfügbar sein müssen.

Das Bereitstellen von weiteren Systemressourcen wie z.B. **Drucker** oder **zentrale Faxgeräte** ist bereits besser gelöst, nicht zuletzt durch die nicht proprietäre Unterstützung von AppleTalk und dem BSD (UNIX) Druckerprotokoll durch Windows NT.

Die regelmäßige **zentrale Sicherung** aller relevanter Daten, also die Konfigurationsdaten der einzelnen Rechner inklusive Anwendungssoftware und die Daten aller Benutzer, wäre auf Basis eines einheitlichen netzweiten Dateisystems kein Problem (wenn man einmal von der Netzbelastung absieht). Leider verkaufen viele Hersteller ihre Backup-Lösungen auf der Basis von Einzelplatzlizenzen oder mit Lizenzen pro Sicherungsclient, was sie bei Unterstützung eines netzweiten Dateisystems nicht mehr könnten.

Neben der zentralen Datensicherung spielt natürlich auch die **Softwarewartung** bzw. **-installation** der Arbeitsplatzrechner eine große Rolle. Während UNIX Software mittlerweile durchweg (wenn auch nicht mit Point- und Click) komfortabel zu installieren ist, so ist die Installation von netzweit verfügbaren Applikationen unter Windows und Apple Rechner ein erlebnisreiches Abenteuer mit oftmaligen Spätfolgen.

Durch den Zugang der breite Masse zu dem einst elitären Internet der Militärs und Wissenschaftlern kommen weiterhin erhebliche Sicherheitsbedenken zu Tage. Die Unzulänglichkeiten, des sich immer mehr verbreitenden Netzwerkprotokoll TCP/IP, zeigen immer deutlicher die Notwendigkeit zu einer sicheren, verschlüsselten Übertragung von Daten. Mit jeder Schnittstelle, die zur Integration von

heterogenen Rechnern eingesetzt werden, kommen neue mögliche Angriffspunkte für Hacker hinzu.

Dieselben Applikationen mit zumindest kompatiblen Schnittstellen und Dateiformaten netzweit für verschiedene Rechnerarchitekturen anzubieten scheint für Kenner der Microsoftwelt unmöglich zu sein. Dennoch existieren eine Reihe von leistungsfähigen Applikationen, die auch plattformübergreifend arbeiten. TeamAgenda, Tcl/Tk, StarOffice, File-Maker, Mathematica und MatLab sind gute Beispiele für Software, die unter Intel PC's, Mac's und bedingt auch auf UNIX Rechner lauffähig sind.

3 Integrationslösungen - Kreuz und Quer

Um alle in Abschnitt 2 beschriebenen Probleme zu lösen, existieren mittlerweile eine Reihe von kommerziellen und freiverfügbaren Softwarepaketen. Im IMW wurden im speziellen drei (bzw. vier) Alternativen untersucht.

- I. *Ethershare für Solaris* (nur Mac Datei- und Druckdienste)
- II. *Totalnet Advanced Server V5.1* (Mac und NT Datei- und Druckdienste)
- III. *Advanced Server for UNIX 3.51* (Primärer Domänenkontroller für Windows)
- IV. *SAMBA* (Datei- und Druckdienste für NT)

Grundsätzlich kann man zwei verschiedene Ansätze zur Integration unterscheiden.

Lösung 1 Software zur Bereitstellung von Datei- und Druckdiensten (s. Abb. 3.2) und ein separater NT Server. Dieser Ansatz wurde im IMW gewählt.

Lösung 2 Software, die einen kompletten primären Domänenkontroller (also einen NT Server auf nicht von Microsoft unterstützter Hardware) implementiert. (s. Abb. 3.1)

Ethershare für Solaris ist schon seit längerem im IMW zur Integration der Mac im Einsatz und arbeitet sehr zuverlässig. Es ist mit vertretbarem Aufwand zu konfigurieren und arbeitet als Dateiserver für die Macs mit einer annehmbaren Performance. Die Vergabe der Zugriffsrechte erfolgt auf Basis der UNIX Rechte auf Benutzerebene (USER LEVEL) und auf Basis eines einzelnen Passwortes für Bereiche des Dateisystems (SHARE LEVEL).

Totalnet Advanced Server V5.1 (TAS) erschlägt zwei Fliegen mit einer Klappe, indem es die Datei- und Druckerdienste für Mac und SMB (Server

Message Block - „das Microsoft Netzwerkprotokoll“) anbietet und zählt zur der Lösungskategorie 1. Dieses Produkt gehört ab Solaris 2.6 zum Softwarelieferumfang von SUN. Allerdings beinhaltet die von SUN mitgelieferte Version nur eine Lizenz für eine Clientverbindung, so daß man getrost von einer Evaluierungssoftware sprechen kann. Weitere Lizenzen müssen pro Verbindung zum Server gekauft werden. Die Kosten pro Verbindung bzw. Arbeitsplatz betragen 120-200DM für kommerzielle Benutzer. Die Installation und Administration kann entweder auf Basis der üblichen UNIX Kommandozeile oder auf Basis einer WWW Schnittstelle erfolgen.

Die Installation erfolgt weitgehend automatisiert, aber leider waren sich die Entwickler ihrer Verantwortung in Bezug auf die Systemsicherheit nicht bewußt. Das Einrichten von Benutzer ohne Passwörter gehört nicht gerade zu den guten Gepflogenheiten der automatischen Installation. Auf die Administration mittels der WWW Schnittstelle sollte verzichtet werden, da alle Information incl. benötigter Passwörter unsicher übertragen werden. Die WWW Schnittstelle an sich ist ein guter Ansatz, wenn auch die Benutzerführung übersichtlicher gestaltet werden könnte. Eine direkte Synchronisation der Passwörter zwischen UNIX und NT findet nicht statt. Zur Authorisierung der Benutzer kann neben einer lokalen eigenen Passwortdatei auch ein primärer Domänenserver als Passwort-Proxy benutzt werden.

Der **Advanced Server for UNIX 3.51 (ASU)** ist in Sachen Leistungsfähigkeit die Spitze der verfügbaren Integrationsprodukte für Windows Clients. Im Gegensatz zu TAS implementiert der ASU einen kompletten Windows NT 3.51 Server auf UNIX Basis. Damit kann der ASU insbesondere auch eine Authorisierung von Benutzer innerhalb einer NT Domäne durchführen und ist somit ein Vertreter der Lösungskategorie 2 ist. Die Installation läßt sich ebenso leicht bewerkstelligen, wie beim TAS. Benötigte Passwörter des Servers werden entweder mit Standardnamen belegt oder können sofort gesetzt werden.

Die Administration kann auf drei Ebene erfolgen. Entweder auf der zugegebenerweise unkomfortablen UNIX Ebene, einer textbasierte, menügesteuerten UNIX Applikation oder von einem SMB konformen Administrationsprogramm. SMB konform sind zum Beispiel alle mit Windows NT ausgelieferten Domänensoftwarekomponenten. So kann mit der Domänenbenutzerverwaltung auf einem NT Server auch der ASU administriert werden. Die Kosten pro verbundenen Arbeitsplatz liegen derzeit bei ca. 200 - 600DM (je mehr Arbeitsplätze desto preiswerter).

Der Hauptvorteil liegt natürlich auf der Integration mehrere Server in einem Rechner. Neben einer zentralisierten Verwaltung und eines zentralen Backups sind hauptsächlich die Skalierbarkeit und die Zuverlässigkeit der UNIX Hardware Argumente für eine Lösung mit ASU.

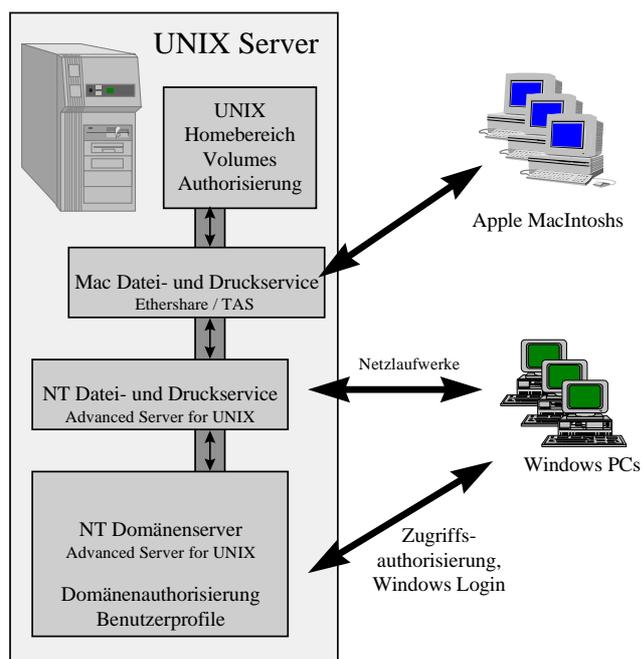


Figure 3.1: Lösung 2 - Integrierter Domänenserver und Datei- und Druckdienste über UNIX

SAMBA leitet sich von der Abkürzung **SMB** ab und implementiert dieses Protokoll (zumindest Teil davon). Die Funktionalität **SAMBA's** umfasst dabei in etwa die eines TAS Servers (mit Ausnahme der Mac Funktionalität). Arbeiten insbesondere an der Unterstützung und der Integration des NT Domänenkonzeptes (Domänen-Logon, Netzwerk Logon Skripte und Benutzerprofile) sind zur Zeit im Entstehen bzw. In der Erprobungsphase. Der wesentlichen Vorteile von **SAMBA** liegt aber in der freien Verfügbarkeit.

Freie Verfügbarkeit (Quellprogramme und Kosten) und insbesondere sogenannte Public Domain Programme werden oftmals mit minderer Qualität gleichgesetzt. Die Praxis lehrt allerdings oft das Gegenteil. Synergieeffekte durch die Verfügbarkeit der Quellprogramme im Internet garantieren, daß

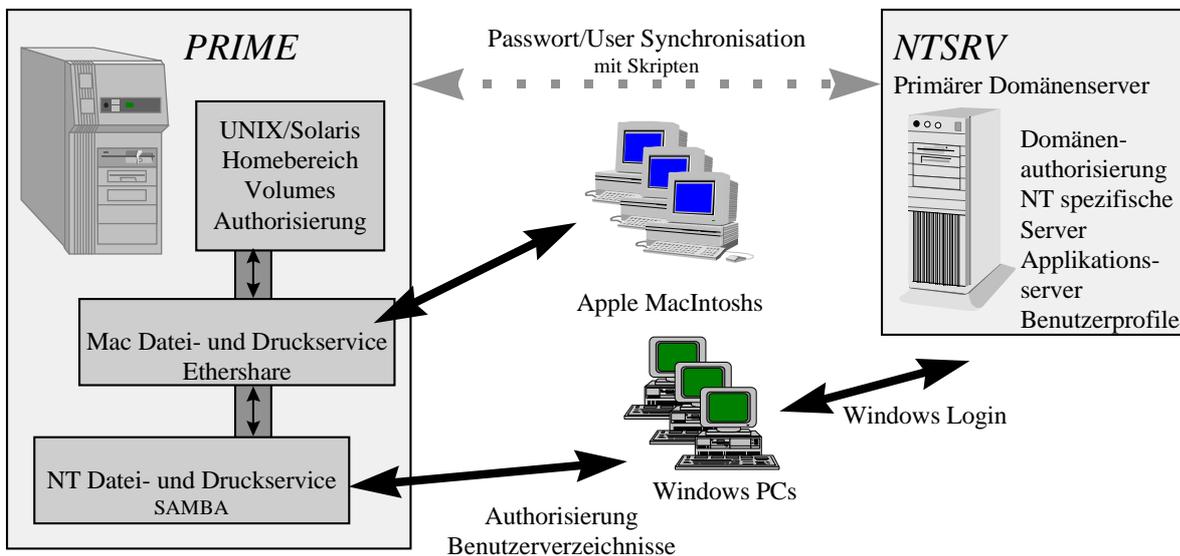


Abb. 3.2: Lösung 1 - Separater Domänenserver und Datei- und Druckdienste über UNIX

sich eine Vielzahl von Entwicklern und Anwender mit denselben Problemen beschäftigen, diese lösen und das Produkt weiterentwickeln. Ein kurzer Blick in die entsprechende FAQ (Frequently Asked Questions), in die Newsgroup oder Mailingliste reichen meistens aus, um die häufigsten Probleme zu lösen oder zumindest einen kompetenten Ansprechpartner zu finden. Nicht zuletzt bietet die Verfügbarkeit des Quelltextes dem versierten Systemadministrator auch die Möglichkeit auftretende Fehler selbstständig zu lokalisieren und zu beseitigen.

Das dieses Konzept auch im professionellen Einsatz aufgeht, zeigt sich auch an dem Erfolg des UNIX Derivates Linux, das sich in vielen Firmen in Kombination mit SAMBA als Server für PC Netzwerke etabliert hat. Gerade in klein- und mittelständischen Betrieben, die sich keine teuren kommerziellen Softwarelösungen leisten können, bietet sich hier eine preisgünstige und sehr stabile Alternative.

4 Die Zukunft im IMW

Was die zweckmäßigste Lösung ist, muß jede Firma bzw. Jeder Systemadministrator anhand seiner Anforderungen entscheiden. Benötigt man neben den Datei- und Druckerdienste auch spezifische Serverapplikationen (z.B. TeamAgenda Server), so kommt man ohne einen dedizierten Windows NT Server nicht aus und kann auf TAS oder SAMBA zurückgreifen, um Datei- und Druckerdienste anzubieten. Werden nur Datei- und Druckerdienste benötigt, so kann man mit ASU einen primären Domänenserver implementieren und in einem bestehenden UNIX Server integrieren.

Im IMW wird zu dem bestehenden UNIX Server PRIME ein spezieller TeamAgenda Server für die zentralisierte Terminplanung benötigt. Daher wird ein NT Server (auf Intel Basis) existieren müssen, den man dann auch als primärer Domänenkontrollen einsetzen kann.

Um Datei- und Druckdienste anzubieten und eine Integration der Windowsrechner zu erreichen bleiben TAS und SAMBA übrig. Da beide Produkte in etwa die gleiche Funktionalität und die gleichen Leistungen bieten, wurde auf Grund der geringeren Kosten und der freien Verfügbarkeit der Quellen die Integrationslösung mit SAMBA gewählt. Die Abb. Xyz zeigt die Integrationslösung wie sie im IMW bis Ende des Jahres implementiert werden soll. Die Integration der Mac's wird durch das bereits vorhandene und eingeführte ETHERSHARE gewährleistet.

SAMBA wird die Dateidienste für alle Windows Clients zur Verfügung stellen. Dadurch können alle Benutzerverzeichnisse zentral auf der PRIME verwaltet werden. Die NTSRV wird als primärer Domänenserver die Zugangskontrolle zu allen Windows Rechner verwalten.

Mit der Weiterentwicklung und der neuen Version 5.0 von Windows NT werden hoffentlich einige der Hauptprobleme (z.B. Quotas) gelöst werden. Der eine oder andere Teil der Integration wird damit sicherlich obsolete werden. Leider wird aber die Entwicklung nur langsam in Richtung echter offener Systeme gehen.

Systemmigration im CIM-Labor des IMW abgeschlossen

Schmitt, R.

Über einen Zeitraum von zwei Jahren wurden nach und nach die ursprünglich VAX-basierten Systeme im CIM-Labor des IMW durch Systeme auf UNIX- und PC-Basis abgelöst. Die Migrationsarbeiten konnten kürzlich abgeschlossen werden. Der folgende Artikel beschreibt die neu entstandene Hard- und Software-Landschaft des CIM-Labors.

Over the past two years the originally VAX-based systems of IMW's CIM lab have been replaced by systems for UNIX- and PC-platform. The migration activities have recently been accomplished. The following article describes the new hard- and software environment of the CIM lab.

- der Konkurs der Firma MAHO und die damit verbundene Einstellung von Weiterentwicklung und Wartung des Fertigungsleitstandes MAHO FS 2000 sowie der MAHO-Lösungen für Maschinen- und Betriebsdatenerfassung,
- das Angebot des Rechenzentrums, einen SAP R/3-Server für Forschungs- und Ausbildungszwecke einzurichten sowie
- der technologische Fortschritt auf dem Gebiet der CAM-Systeme, insbesondere bei der grafisch geführten, werkstatorientierten NC-Programmierung (WOP).

1 Gründe für die Systemumstellung

Ausschlaggebend für den Entschluß zur Umstellung der Systeme im CIM-Labor waren folgende Umstände:

- Eine rasche Abnahme der Bedeutung von VAX-Stations mit dem Betriebssystem VMS als Applikationsplattform,

2 PPS und PDM mit SAP R/3

Das Angebot des Rechenzentrums, einen R/3-Server einzurichten, führte zur Ablösung des PPS-Systems PIUSS-O auf VAX-Basis. **Bild 1** zeigt die entstandene Client-Server-Architektur bestehend aus einer UNIX-Workstation (IBM RS 6000; Rechner Nr. 1 in Bild 1) als Datenbank- und Applikationsserver sowie mehreren PC-Clients (Nr. 2) auf der CIM-

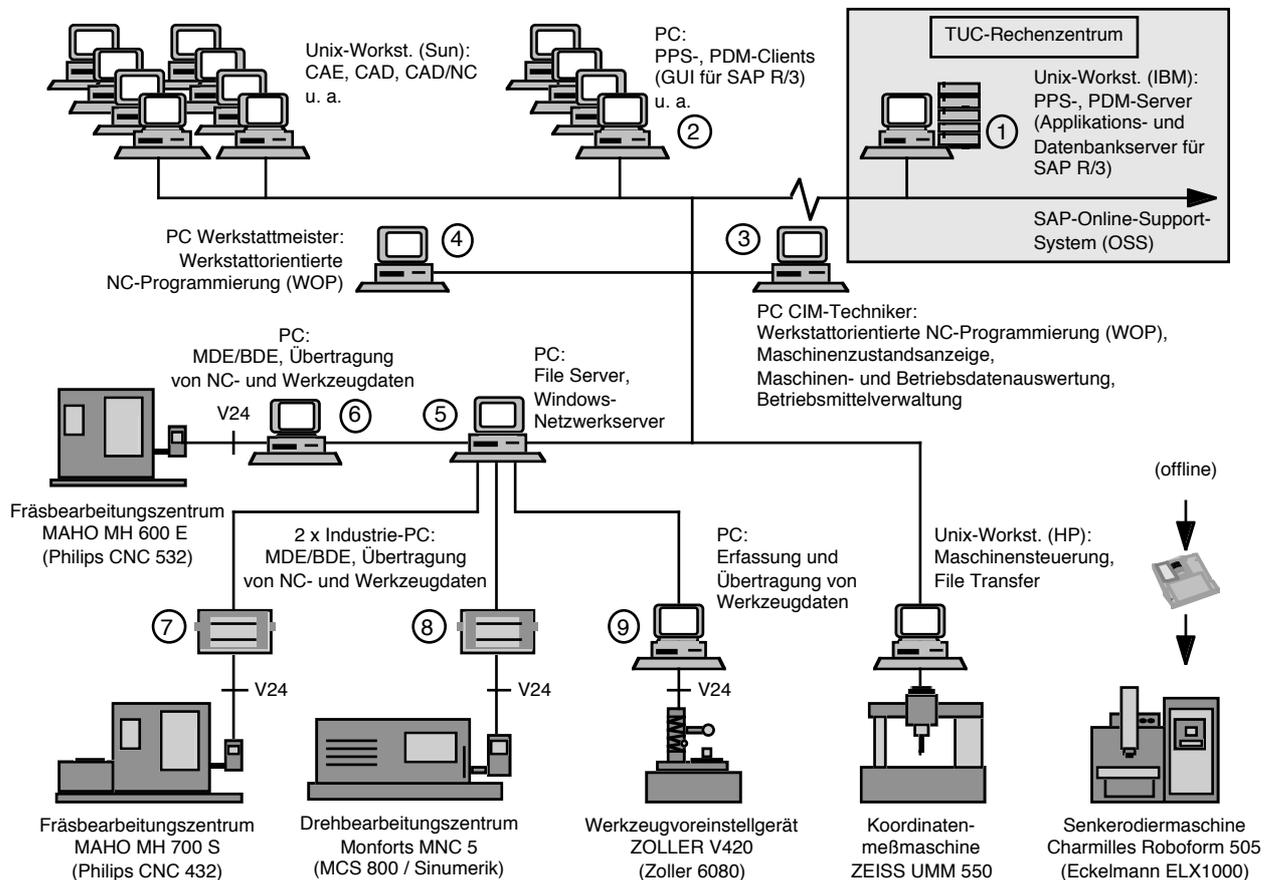


Bild 1: Die neue Systemlandschaft im CIM-Labor des IMW

Galerie des IMW. Um das an sich leere R/3-System mit Leben zu füllen wurde das virtuelle Unternehmen LIVE AG (Fahrradproduktion) der Firma Siemens Nixdorf als Mandant eingespielt. Eine Nutzung des von SAP entwickelten virtuellen Unternehmens IDES kam wegen der fehlenden Versionierbarkeit nicht in Frage. Aktueller Release-Stand des R/3-Systems ist 3.0 F.

Bisher lag der Schwerpunkt der IMW-Aktivitäten auf den R/3-Modulen PP (Production Planning) und MM (Material Management). Vor dem Hintergrund der am IMW eingerichteten Professur für Rechnerintegrierte Produktentwicklung wird sich das Interesse des IMW zukünftig verstärkt auf die R/3-Funktionalität im Bereich Produktdatenmanagement (PDM) richten. Die PDM-Teilfunktionen Dokumenten-, Produktstruktur-, Konfigurations-, Klassifikations-, Projekt- und Workflowmanagement werden mit Release 4.0 als PDM-Paket verfügbar sein.

3 Windows-basierte CAM-Systeme

Bei der Wahl der Systeme für den operativen Bereich des CIM-Labors sowie der Werkstatt fiel die Entscheidung zugunsten der Firma DLoG. Die Windows-basierten Anwendungen erforderten zunächst eine entsprechende PC-Ausstattung in den Büros des CIM-Technikers (Nr. 3) und des Werkstattmeisters (Nr. 4) sowie an den Bearbeitungsmaschinen (Nr. 6 - 9). Als Betriebssysteme wurden Windows NT 4.0 auf den Bürorechnern sowie Windows for Workgroups 3.11 auf den PC an den Bearbeitungsstationen installiert. Ein zentraler PC (Nr. 5) mit Windows NT Server 4.0 dient als Netzwerk- und Fileserver.

Nach Einrichtung, Inbetriebnahme und Vernetzung der Hardware wurden folgende CAM-Anwendungen der Fa. DLoG installiert:

- Quadro NC für Fräs- und Drehbearbeitung (Nr. 3 + 4): Ein Programm zur grafisch geführten, werkstattorientierten NC-Programmierung (WOP), welches eine maschinenneutrale Erstellung und Simulation von Teileprogrammen und deren anschließende Überführung in maschinenspezifische NC-Programme mit Hilfe von Postprozessoren erlaubt.
- Tip-DNC (Nr. 6 - 8) ermöglicht die Übertragung von NC-Programmen und Werkzeugdaten zwischen der Maschinensteuerung und dem Fileserver (Nr. 5). Ferner unterstützt das Programm die Touchscreens der beiden Industrie-PC (Nr. 7

+ 8), bei denen es sich ebenfalls um Produkte der Fa. DLoG handelt.

- Tip-DATA (Nr. 6 - 8) ermöglicht die Maschinen- und Betriebsdatenerfassung (MDE/BDE) an den Bearbeitungsstationen, wobei die Daten zum einen vom Maschinenbediener über den PC an der Bearbeitungsstation eingegeben werden; zum anderen erlaubt die Software ein direktes Abgreifen von Maschinensignalen über eine Maschinendatenerfassungskarte. Sowohl die automatisch erfaßten als auch die vom Maschinenbediener eingegebenen Daten werden direkt an das folgende Programm auf dem PC des CIM-Technikers übergeben.
- Prisma MI (Nr. 3) dient der Auswertung der eingegangenen Maschinen- und Betriebsdaten und gibt in grafischer Form Auskunft über den aktuellen Zustand der Bearbeitungsmaschinen

Ergänzt wurden die CAM-Applikationen der Fa. DLoG durch

- ein Betriebsmittelverwaltungssystem (Nr. 3): Dieses wurde auf der Grundlage des Datenbankmanagement-Systems FileMaker 3.0 im Rahmen einer Studienarbeit konfiguriert und unterstützt sowohl eine generelle Werkzeugverwaltung als auch ein auftragsbezogenes Management von Vorrichtungen und NC-Programmen.
- ein Programm zur Werkzeugdatenerfassung (Nr. 9): Dabei handelt es sich um eine vom CIM-TT Kiel entwickelte Anwendung zur Aufnahme und Weiterleitung der Istdaten von Werkzeugen, welche auf einem Voreinstellgerät vermessen werden. Die erfaßten Werkzeugdaten werden auf dem File-Server (Nr. 5) abgelegt und können von dort über die PC an den Bearbeitungsmaschinen direkt in die Maschinensteuerungen übertragen werden.

4 Unverändert: der CAD/CAE-Bereich

Ausgenommen von der Systemumstellung blieben alle konstruktionsbezogenen Anwendungen auf UNIX-Basis. Hierbei handelt es sich um das CAD-System Pro/Engineer sowie die CAE-Anwendungen Pro/Mechanica und Marc Mentat. Das Pro/E-Modul Pro/Manufacturing erlaubt als Ergänzung zur werkstattorientierten NC-Programmierung des DLoG-Systems Quadro NC eine werkstattferne Erstellung von NC-Programmen und somit eine durchgängige CAD/NC-Verfahrenskette.

SOCRATES/ERASMUS

ECTS - Einführung an der TU Clausthal

Brandt, A.

Die Europäische Union fördert Hochschulkooperationen, um Studierenden und Hochschulen eine qualitativ bessere Bildung zu ermöglichen. Eine zentrale Komponente dieser Hochschulkooperationen ist die Studentemobilität. Das ERASMUS-Programm hat gezeigt, daß ein Auslandsaufenthalt eine wertvolle Erfahrung sein kann.

Die Anerkennung von Studienleistungen und Diplomen ist eine Voraussetzung für die Schaffung eines europäischen Bildungsraums, in dem sich Studierende und Lehrende frei bewegen können. Daher wurde im Rahmen des ERASMUS-Programms das Europäische System zur Anrechnung von Studienleistungen ECTS (European Credit Transfer System) entwickelt.

Unter Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Dietz, Rektor und Leiter des Instituts für Maschinenwesen, wird ECTS an der Technischen Universität Clausthal eingeführt.

The European Community promotes inter-university cooperations to improve the quality of education for the benefit of students and higher education institution. Student mobility is a predominant element of that interuniversity cooperation. The ERASMUS programme clearly demonstrates that studying abroad can be a particularly valuable experience.

The recognition of studies and diplomas is a prerequisite for the creation of an Open European area of education and training where students and teachers can move without obstacles. That is why the European Credit Transfer System (ECTS) was developed within the ERASMUS programme.

Under the direction of Prof. Dr.-Ing. Peter Dietz, Rector and Director of the Institute of Mechanical Engineering, ECTS will be implemented at the Technical University of Clausthal.

1 Einleitung

ECTS soll mehr Transparenz schaffen, Brücken zwischen den Hochschulen schlagen und den Studierenden ein größeres und interessanteres Studienangebot ermöglichen. Mit Hilfe der für das ECTS-System gemeinsam vereinbarten Bewertungsmittel (Anrechnungspunkte und Noten) können die Hochschulen die im Ausland erbrachten Studienleistungen wesentlich leichter anerkennen. Das ECTS-System ermöglicht darüber hinaus ein besseres Verständnis der nationalen Bewertungsmethoden. Die Anwendung des ECTS-Systems beruht auf drei Prinzipien: Informationen (über Studiengänge und Studienleistungen), gegenseitiges Einvernehmen (zw. den Partnerhochschulen und dem/der Studierenden) und die Anwendung der ECTS-Anrechnungspunkte (für das absolvierte Studienpensum).

Zur erfolgreichen Umsetzung von ECTS tragen vor allem die Studierenden, Hochschullehrer und Hochschulen, die Auslandserfahrungen zu einem festen Bestandteil des Bildungsprozesses machen wollen, bei. Inhalt, Aufbau und Gleichwertigkeit der Studiengänge werden in keiner Weise durch ECTS bestimmt. Hier handelt es sich um Qualitätsaspekte, die die Hochschulen bei den Vorbereitungen für bi- und multilaterale Kooperationsvereinbarungen selbst klären müssen. Mit ECTS verfügen die Hochschulen über ein Mittel, das mehr Transparenz schaffen und die akademische Anerkennung erleichtern kann.

Volle akademische Anerkennung bedeutet, daß das Auslandsstudium (einschließlich Prüfungen und anderer Formen der Leistungsmessung) einen vergleichbaren Abschnitt des Studiums an der Heimathochschule ersetzt (einschließlich Prüfungen und anderer Formen der Bewertung), auch wenn der Aufbau des jeweils vereinbarten Studienprogramms andere inhaltliche Aspekte abdeckt.

Kommunikation und Flexibilität sind zwei weitere Aspekte, die für eine erfolgreiche akademische Anerkennung der im Ausland abgeschlossenen Studien wichtig sind. ECTS-Koordinatoren übernehmen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle,

da sie für die akademischen und verwaltungstechnischen Aspekte von ECTS zuständig sind.

2 ECTS-Anrechnungspunkte

ECTS kann nur erfolgreich sein, wenn eine freiwillige Teilnahme, Transparenz, Flexibilität und eine Atmosphäre des gegenseitigen Vertrauens gewährleistet sind. Das Hochschulpersonal muß vorbereitet und entsprechend geschult werden, damit die Prinzipien und Mechanismen von ECTS richtig angewendet werden. Dafür muß die Hochschule folgende Voraussetzungen schaffen: die Ernennung eines ECTS-Hochschulkoordinators, die Ernennung von ECTS-Fachbereichskoordinators für jedes Studienfach in den Fachbereichen/Fakultäten, die die Einführung von ECTS planen, die Zuweisung von ECTS-Anrechnungspunkten für die einzelnen Lehrveranstaltungen, die Erstellung eines Informationspaketes in der Landessprache und einer anderen EU-Sprache für alle Studienfächer, in denen ECTS angewendet wird/angewendet werden soll, die Verwendung von Bewertungsformularen, Abschriften der Studiendaten und ECTS-Studienabkommen.

ECTS-Anrechnungspunkte sind numerische Werte (1-60), die jeder Lehrveranstaltung zugeordnet werden, um das für den Kurs erforderliche Arbeitspensum des/der Studierenden zu beschreiben. Diese Anrechnungspunkte (credits) spiegeln somit den quantitativen Arbeitsanteil wider, der für eine Veranstaltung im Verhältnis zum geforderten Studienpensum für den erfolgreichen Abschluß eines gesamten akademischen Jahres an der Hochschule aufgewendet werden muß. ECTS berücksichtigt somit das gesamte Studienpensum und nicht nur den lehrergebundenen Unterricht.

Bei den ECTS-Anrechnungspunkten handelt es sich um einen relativen Wert zur Bestimmung des zu absolvierenden Studienpensums. Sie geben an, welcher Anteil des Jahrespensums für eine bestimmte Veranstaltung an der Hochschule/Institut, das diese Anrechnungspunkte zuweist, vorgesehen ist. Die Zuweisung von Anrechnungspunkten bedeutet, daß die Studiengänge mit Hilfe einer gemeinsamen „Währung“ beschrieben werden, ohne daß sie sich ändern müssen.

Innerhalb von ECTS werden für das Studienpensum eines vollen akademischen Jahres 60 Anrechnungspunkte und für ein Semester i.d.R. 30 Anrechnungspunkte zugrunde gelegt.

Für alle Veranstaltungen können ECTS-Anrechnungspunkte zugeteilt werden, egal ob es sich um Pflicht- oder Wahlkurse handelt. Anrechnungspunkte können darüber hinaus auch für Projektarbeiten, die Vorbereitung von Abschluß- und Diplomarbeiten oder Betriebspraktika vergeben werden, wenn diese "Veranstaltungen" fest in den Studiengang integriert sind. Ebenfalls berücksichtigt werden Aufbaustudiengänge, solange eine Leistungsbewertung innerhalb dieser Programme erfolgt.

3 Übertragung der ECTS-Anrechnungspunkte

Vor und nach dem Auslandsstudienaufenthalt erstellen die Heimat- und die Gasthochschule für jeden ECTS-Studierenden eine Abschrift der Studiendaten und tauschen diese aus. Die Studierenden erhalten eine Kopie der Abschrift der Studiendaten für ihre persönlichen Unterlagen. Die Heimathochschule erkennt die Zahl der Anrechnungspunkte, die der/die Studierende während seines/ihrer Auslandsstudiums an der Gasthochschule für die belegten Kurse erhalten hat, an. Die erbrachten Studienleistungen im Ausland ersetzen somit die ansonsten an der Heimathochschule zu belegenden Kurse. Auf diese Weise erfolgt eine volle akademische Anerkennung.

4 ECTS-Bewertungsskala

ECTS gewährleistet wie schon erwähnt die akademische Anerkennung von im Ausland erbrachten Studienleistungen. Es muß allerdings zwischen den Anrechnungspunkten, die das Studienpensum widerspiegeln und den Noten, die über die Qualität der Arbeit informieren, unterschieden werden. Die Benotungssysteme sind jedoch in Europa sehr unterschiedlich. Daher wurde eine ECTS-Bewertungsskala entwickelt, um den Hochschulen die Umrechnung der von den Gasthochschulen vergebenen Noten für ECTS-Studenten zu erleichtern. Sie stellt zusätzliche Informationen über die erbrachten Studienleistungen bereit und ersetzt nicht die Note der örtlichen Hochschule. Die Hochschulen entscheiden selbst, wie sie die ECTS-Bewertungsskala auf ihr eigenes Bewertungssystem anwenden wollen.

Bei der Erstellung der Bewertungsskala wurden sowohl rein numerische Definitionen als auch qualitative Definitionen berücksichtigt. Die ECTS-Be-

wertungsskala beruht auf einer kombinierten Verwendung von geeigneten Schlüsselbegriffen und numerischen Definitionen, die zur Transparenz der Schlüsselbegriffe beitragen sollen.

5 Die Abschrift der Studiendaten

Die Anrechnung der Studienleistungen erfolgt bei ECTS über den Austausch der Abschrift der Studiendaten zwischen der Heimat- und der Gasthochschule und umgekehrt. Die "Abschriften der Studiendaten" enthalten die Studienleistungen eines jeden ECTS-Studenten vor und nach dem Studienaufenthalt im Ausland. Für jeden Kurs, den der/die Studierende belegt hat, werden nicht nur die ECTS-Anrechnungspunkte, sondern auch die an der Gasthochschule vergebenen Noten sowie - falls möglich - auch die der ECTS-Bewertungsskala entsprechende Note angegeben. Die Noten und ECTS-Anrechnungspunkte spiegeln die Leistungen des/der Studierenden sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht wider.

6 ECTS an der TU Clausthal

An der TU Clausthal wird zur Zeit ein kommentiertes Vorlesungsverzeichnis in deutscher und in englischer Sprache erstellt. Das Institut für Maschinenwesen hat in Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum und dem Institut für Informatik ein Programm entwickelt, um das kommentierte Vorlesungsverzeichnis online jedem zugänglich zu machen.

In das online-Vorlesungsverzeichnis ODIN wird alles Wissenswerte über die Lehrveranstaltungen und das Institut eingegeben, s. **Bild 1**.

In der Rubrik "Personal" wird der gesamte Mitarbeiterstab des entsprechenden Instituts eingegeben. Lehrveranstaltungen, die in jedem Winter- bzw. Sommersemester gehalten werden, werden nur einmal eingegeben und über die Rubrik "Transfer" in das entsprechende Semester kopiert.

Bild 1: Eingabemaske der Lehrveranstaltungen

Lösungskonzept der Funktionsstruktur eines Flugzeugs

Betaneli, A. J.; Saginadse, N. R.

Einführung der Methoden des morphologischen Kastens und des Brainstorming in den Konstruktionsprozeß von Flugzeugen.

Implementation of the methods of the morphological box and brainstorming in the design process of airplanes.

1 Einleitung

Beim Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß eines Flugzeugs entsteht immer das Problem vom Konzipieren der Funktionsstruktur (gemeinsames Schema) des Flugzeugs.

Nach VDI 2221 /1/ ist das Arbeitsabschnitt 2. Die Formalisierung des Arbeitsabschnittes, die Generierung der verschiedenartigen Varianten der Funktionsstruktur des Flugzeugs, ist eine sehr schwierige und manchmal fast unmögliche Aufgabe. Dafür kann man CAD Systeme nicht anwenden. Die wichtigste Aufgabe ist die Beschleunigung des kreativen Denkens des Konstrukteurs. P. Dietz /2, 3/ Meinung nach, ist die Analyse der denkpsychologischen Zusammenhänge sehr wichtig für die wissenschaftlichen Grundlagen der Konstruktionssystematik und der Konstruktionslehre. G. Pahl, W. Beitz /4/ Meinung nach müssen die Erkenntnisse der Denkpsychologie in der Konstruktionslehre berücksichtigt werden.

Nach Angaben der Denkpsychologie, ist es zweckmäßig für den Algorithmus des kreativen Denkens das gemeinsame Schema anzuwenden, das in vier Phasen eingeteilt werden kann /5/:

- Phase 1 – bewußtes (diskursives) Denken. Studieren des Problems von allen Seiten. Dies ist eine Vorbedingung um einen intuitiven Schimmer der Idee zu bekommen.
- Phase 2 – unterbewußtes (intuitives) Denken. Das Reifen der leitenden Idee.
- Phase 3 – Übergang des unterbewußten Denkens in bewußtes Denken. Begeisterung. Eindringen der entscheidenden Idee in die Bewußtseinssphäre. Keine Aufmerksamkeit an dem Problem.
- Phase 4 – Die Entwicklung der Idee. Endliche Aufmachung und Nachprüfung.

Sehr viele weltberühmte Wissenschaftler (H. Helmholtz, D. Mendelejew, H. Poincaré, A. Einstein u. a.) haben durch eigene Erfahrung behauptet, daß unterbewußtes Denken eine große Rolle in der Kreativität spielt.

Daß unterbewußtes Denken die wichtige Phase der Kreativität ist, hat der österreichische Wissenschaftler S. Freud festgestellt. S. Freuds Meinung nach ist jede Kreativität das Ergebnis der Umgestaltung (Sublimation) der sexuellen Neigung (Libido sexualis).

„Aufstellung“ ist der Bereitschaftszustand, die Neigung zu einer bestimmten Aktivität in bestimmter Situation. Die Erscheinung „Aufstellung“ hat zum ersten mal der deutsche Wissenschaftler L. Lange entdeckt. Die allgemeine Theorie „der Aufstellung“ hat der georgische Wissenschaftler D. Usnadse erarbeitet. Die Beschleunigung der Forschung der Lösungsvarianten ist möglich durch Anwendung sogenannten heuristischen Methoden (diskursiv betonte Methoden, z. B. morphologischer Kasten und intuitiv betonte Methoden, z. B. Brainstorming, Synektik). Diese Methoden sind in der Literatur genau beschrieben worden /2, 3, 4/.

In diesem Aufsatz ist dargestellt, wie durch die Anwendung der Methoden des morphologischen Kastens, Brainstorming und Synektik die Beschleunigung der Lösungen für flugtechnische Konstruktionsaufgaben möglich wird.

2 Lösungskonzept der Funktionsstruktur eines Flugzeugs

Es sind verschiedene Merkmale (Teilfunktionen) für die Funktionsstruktur (Gesamtfunktion) eines Flugzeugs bekannt. Aber hauptsächlich sind dies die folgenden /6/:

- aerodynamisches Schema (**Bild 1**: 1 - Flugzeug nach klassischen Prinzipien gebaut, 2 - schwanzloses Flugzeug, 3 - Flügelflugzeug, 4 - Flugzeug mit Vorderschwanz, Entenbauart, 5 - Tandemanordnung.
- Flügelzahl und Flügelanordnung (**Bild 2**: 1 - Doppeldecker, 2 - Anderthalbdecker, 3 - Tiefdecker, 4 - Mitteldecker, 5 - Hochdecker, 6 - Parasol)

- Triebwerkstyp,
- Triebwersanordnung (**Bild 3**: 1 - im Flügel, 2 - auf dem Triebwerkträger, 3 - in den Triebwerks-gondeln, 4 - über dem Flügel, 5 - zwei Triebwerke über dem Flügel und eines in Heckanordnung, 6 - auf dem Rumpf, 7 - zwei Triebwerke auf dem Rumpf und eines in Heckanordnung)
- Machzahlbereich sowie
- Start - und Landungsart.

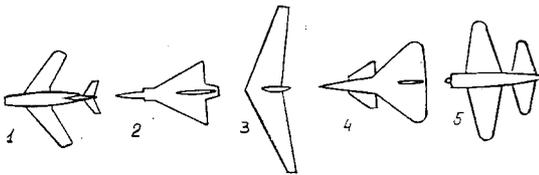


Bild 1: Aerodynamische Formen des Flugzeugs
(Erläuterungen siehe Text)

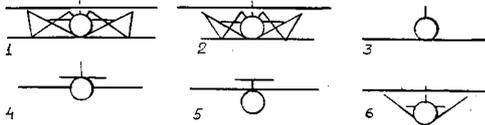


Bild 2: Flügelzahl und Flügelanordnung
(Erläuterungen siehe Text)

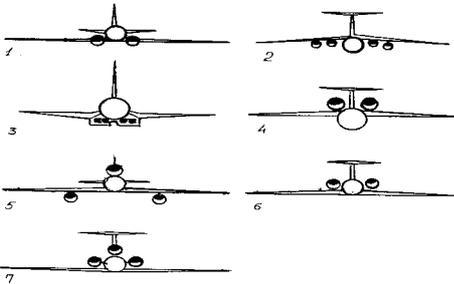


Bild 3: Triebwerksanordnung (Erläuterungen siehe Text)

Zur Lösung des Problems wurde ein morphologischer Kasten in Form einer zweidimensionalen Matrix gewählt – eine diskursive Methode der Konstruktionslehre zum systematischen Sammeln, Zuordnen und Kombinieren von Lösungselementen. In der waagerechten Achse werden alternative Varianten aufgezeigt; die senkrechte Achse ist nach Merkmalen (Teilfunktionen) geordnet (**Bild 4**).

Die Anzahl der theoretisch möglichen Gesamtlösungsvarianten ergibt sich zu:

$$N = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot \dots \cdot m_n,$$

wobei m die Zahl der alternativen Varianten in der Spalte und n die Zahl der Spalten ist.

Für den entwickelten morphologischen Kasten ist

$$N = 8 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 = 129024.$$

Zwischen der Vielzahl der Varianten sind auch sinnlose Kombinationen. Diese sinnlosen Kombinationen muß man ausschließen, um die Vielzahl der Kombinationen sinnvoll zu verringern. Dann muß man alle erwünschten Lösungen auswählen. Das ist eine schwere Aufgabe, denn es gibt keine praktischen und universellen Kriterien, um die Wirksamkeit der verschiedenen Kombinationen zu bewerten.

Für die endgültige Konzipierung einer optimalen Variante sind die Methoden des Brainstormings und der Synektik zweckmäßig anzuwenden.

Das Brainstorming läßt sich am besten mit Gedankenblitz, Gedankensturm oder Ideenfluß bezeichnen, womit gemeint ist, daß Denken sich zu einem Sturm, zu einer Flut von neuen Gedanken und Ideen freimachen soll. Synektik ist ein dem Brainstorming verwandtes Verfahren mit dem Unterschied, daß die Absicht darin besteht, sich durch Analogien aus dem nichttechnischen oder dem halbtechnischen Bereich anregen und leiten zu lassen /4/.

Kriterien für das Konzipieren der geeignetsten Variante der Funktionsstruktur des Flugzeugs sind nur Komplex-Bewertungen mit Kriterien wie „Wert-Wirksamkeit“ oder „Wirksamkeit-Wert“ /7/. In diesen Kriterien ist einerseits gezielte Funktion und andererseits die Beschränkung enthalten.

Für die Mehrheit der Flugzeuge muß man die Startmasse als eine gezielte Funktion und die flugtechnischen Daten als Beschränkung angeben. Flugtechnische Daten sind taktisch-technische Anforderungen (TTA), formuliert und festgehalten in der technischen Aufgabe (TA) – s. Arbeitsergebnis 1 in /8/.

Die geeignetste Variante der Funktionsstruktur (gemeinsames Schema) des Flugzeugs ist die Variante mit der Minimalstartmasse, bei gleichen übrigen Bedingungen /7/.

Merkmal (Teilfunktion)	Lösungsvarianten						
	1	2	3	4	5	6	7
I Aerodynamisches Schema	Flugzeug nach klassischen Prinzipiengebaute	schwanzloses Flugzeug	Flügelflugzeug	Flugzeug mit Vorderschwanz (Entenbauart)	Tandemanordnung	-	-
II Flügelzahl	Eindecker	Doppeldecker	Anderthalbdecker	Vieldecker	-	-	-
III Flügelanordnung	Tiefdecker	Mitteldecker	Hochdecker	Parasol	-	-	-
IV Triebwerkstyp	Kolbentriebwerk	TL-Triebwerk	TL-Triebwerk mit Forcing	TL-Zweikreistriebwerk	TL-Zweikreistriebwerk mit Forcing	Turboproptrieb	-
V Triebwerkszahl	1	2	3	4	5	6	7
VI Triebwerksanordnung	im Flügel	auf dem Triebwerksträger	in den Triebwerksgondeln	über dem Flügel	zwei Triebwerke über dem Flügel, und eines in Heckanordnung	auf dem Rumpf	zwei Triebwerke auf dem Rumpf und eines in Heckanordnung
VII Machzahlbereich	Unterschall	Transschall	Überschall	Hyperschall	-	-	-
VIII Start- und Landungsart	normale Start- und Landungsart	kurze Start- und Landungsstrecke	senkrecht startendes u. landendes Flugzeug	-	-	-	-

Bild 4: Zweidimensionaler morphologischer Kasten

Auf Grundlage des morphologischen Kastens kann man die Funktionsstrukturen konkreter Flugzeuge durch Strukturformeln darstellen, z. B.:

- Airbus A 321
(Deutschland)
I.1, II.1, III.1, IV.4, V.2, VI.2, VII.1, VIII.1
- Airbus A330
(Deutschland)
I.1, II.1, III.1, IV.4, V.2, VI.2, VII.1, VIII.1
- Airbus Boing 747-400
(USA)
I.1, II.1, III.1, IV.4, V.4, VI.2, VII.1, VIII.1
- Überschallflugzeug Concorde
(Frankreich-England)
I.2, II.1, III.1, IV.3, V.4, VI.3, VII.3, VIII.1
- Überschallverkehrsflugzeug TU 144
(ehem. UdSSR)
I.2, II.1, III.1, IV.5, V.4, VI.3, VII.3, VIII.1
- Airbus IL 86
(ehem. UdSSR)
I.1, II.1, III.1, IV.4, V.4, VI.2, VII.1, VIII.1
- Jagdflugzeug MiG 29
(ehem. UdSSR)
I.1, II.1, III.2, IV.5, V.2, VI.3, VII.3, VIII.1

Die Merkmale (Teilfunktionen) für die Strukturformeln sind nach /6, 9, 10, 11/ angegeben.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Hiermit ist die Expreß-Methode für das Konzipieren der Funktionsstruktur (gemeinsames Schema) eines Flugzeugs erarbeitet. Die wissenschaftliche Neuigkeit der Expreß-Methode besteht in der Anwendung des morphologischen Kastens in Form einer zweidimensionalen Matrix zum systematischen Sammeln, Zuordnen und Kombinieren von Lösungselementen und Brainstorming und Synektik zur Bestimmung der optimalen Variante. Der praktische Nutzen besteht darin, daß anstatt des langfristigen, unsystematischen Kombinierens von Lösungselementen, die Anwendung der Expreß-Methode die Möglichkeit bietet, in kurzer Zeit die Funktionsstruktur eines Flugzeugs zu konzipieren.

4 Literatur

- /1/ VDI-Richtlinie 2221; Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Düsseldorf, Mai 1993

- /2/ Dietz, P.; Institutsmittellung Nr 13, IMW Clausthal 1988
- /3/ Dietz, P.; Institutsmittellung Nr. 21, IMW Clausthal 1996
- /4/ Pahl, G. und Beitz, W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendung. 3. Auflage, Springer 1993
- /5/ Betaneli, A. J.; Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 149, No 3, 1994
- /6/ Enzyklopädie „Flugwesen“, Verlag „Die große russische Enzyklopädie“, Moskau 1994
- /7/ Eger, S. M., und andere; Entwurf der Flugzeugen, Verlag „Maschinostroenie“, Moskau, 1983
- /8/ Betaneli, A. J.; Institutsmittellung Nr 21, IMW Clausthal, 1996
- /9/ Burgner, N.; Flug Revue, Juli, 1997
- /10/ Airbus A321, Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH
- /11/ Airbus A330, Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH

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 Maschinenteilen
- Konstruktionssystematik
- Rechnereinsatz im Maschinenbau
- Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen
- Maschinenakustik
- Experimentelle Festigkeitsermittlung und Spannungsoptik
- Technische Normung

Das interdisziplinäre Team am IMW besteht aus ca. 30 wissenschaftlichen Mitarbeitern/-innen aus den Bereichen Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Informatik und Physik. Weitere 11 Mitarbeiter/-innen und 7 Auszubildende arbeiten in der Verwaltung, mechanischen und elektronischen Werkstatt.

Technische Ausrüstung

Für die entsprechenden Forschungsschwerpunkte verfügt das IMW über gut ausgestattete Labore (Spannungsoptik, Akustik, CIM), diverse maschinentechnische Prüfstände und die notwendige Rechnerausstattung.

Die Untersuchung von Maschinenelementen kann an zwei hydraulischen Verspannprüfständen, einem Torsions-Schwingprüfstand, einem Umlauf-, Biege- und Torsionsprüfstand sowie einer liegenden Zugprüfeinrichtung durchgeführt werden. Eventuelle berührungslose Übertragungen von Meßwerten werden mit einer 64 Kanal Telemetrie-einrichtung bewältigt. Ein Schleuderprüfstand für schnell drehende Maschinenteile (z.B. Rotoren, Abweiseradwindsichter), ein Prüfstand für Feinprallmühlen, eine Reaktionsschwingmühle für Gas-Feststoffreaktionen im Semi-Batch-Betrieb und ein Injektorprüfstand ergänzen die Prüfeinrichtungen des IMW für Untersuchungen an verfahrenstechnischen Maschinen.

Das Labor für statische Spannungsoptik verfügt über Einrichtungen und Werkstattinfrastruktur für spannungsoptische Untersuchungen an Bauteilmodellen von mikroskopischer Größe bis zu einer

Größe von 1,2 m. Die hierzu zum Teil notwendige eigenspannungsarme Bearbeitung von Modellmaterialien werden von der Institutswerkstatt sachkundig ausgeführt ebenso 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 10 kHz unterworfen werden. Der Einsatz als optisches Ganzfeldverfahren ermöglicht darüber hinaus auch die Visualisierung sich einstellender Beanspruchungszustände, wie sie bei Stoßanregungen oder im Bereich der Ballistik auftreten.

Das Akustiklabor am IMW verfügt über ein umfangreiches Meßequipment sowie einen schallarmen Raum zur Erfassung und Auswertung des von Maschinenstrukturen abgestrahlten Schalldruck- und Schalleistungspegels. 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 werkstatorientiertes NC-Programmiersystem, Einrichtungen zur Direktübertragung von NC-Programmen an die Maschinensteuerungen und Anwendungen zur Maschinen-/Betriebsdatenerfassung sowie zur Maschinenzustandsanzeige. Als CAD/CAM-System wird Pro/Engineer mit Pro/Manufacturing eingesetzt. Maschinenspezifische Postprozessoren erlauben eine durchgängige CAD/NC-Verfahrenskette. SAP R/3 wird als PPS-System genutzt.

Die Rechnerausstattung umfaßt sechs Server, die die insgesamt ca. 100 Rechner des Institutes vernetzen. Diese umfassen einen speziellen Internetserver (WWW/EMail/FTP), einen Apple Macintosh Server, einen Windows NT Server und einen Abteilungsserver SUN SPARC 1000 zur Versor-

gung der 50 Sun Workstations. Als Standardsoftware stehen eine Vielzahl von Programmen zur Verfügung unter anderem die CAD Pakete ProEngineer, Catia sowie die FEM Programme MARC/MENTAT, ANSYS und ProMechanica. Zwei spezielle Mehrprozessorrechner (IBM RS6000, SUN SPARC 20) stehen als COMPUTE-Server für FEM Berechnungen und kinematische Simulationen zur Verfügung.

Kooperationsangebote

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

Entwicklung und Fertigung

- Entwicklung neuer Konstruktionen,
- Fertigungsmöglichkeiten für Prüfkörper und Nullserien,
- Softwareentwicklung zur Simulation und Optimierung von Fertigungsverfahren und zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses.

Messungen und Berechnungen

- Durchführung von komplexen Festigkeitsberechnungen und -nachweisen mit Hilfe der FEM (2D/3D),
- 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 und Gutachten zur Konstruktion lärmarmen Maschinen,
- Beratung im Rahmen der Einführung von Qualitätsmanagementsystemen entsprechend DIN EN ISO 9000 ff.,
- CAD, FEM Beratung und Einführung in Betriebe,
- 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 Fördermaßnahmen 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 fünf Bereiche:

Konstruktion und Berechnung von Maschinenteilen

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

- Welle-Nabe Verbindungen (u.a. Zahnwellenverbindungen und geschwächte Schrupfverbindungen),
- Ausgleichkupplungen,
- Seiltrommeln (ein- und mehrlagig bewickelt),
- 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 elastoplastischen 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),
- 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 Heißgasumwälzaggregate,
- Entwicklung von Reaktionsmühlen,
- Untersuchung der Zusammenhänge beim Prallmahlen,
- Gestaltung schnell laufender Rotoren (Windsichter/Prallmühlen),
- Entwicklung von Maschinenelementen und Verbindungstechniken für hohe Temperaturen (über 1000° C),
- 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. Neben experimentellen Untersuchungen und Entwicklungen zu Körperschall, Schallemission und Körperschallimpedanzelementen stehen insbesondere die Entwicklung von Konstruktionssystematiken und von Beratungssystemen zur Konstruktion lärmarmen Maschinen im Vordergrund.

Experimentelle Festigkeitsermittlung

Ziel eines DFG Projektes ist es ein quantitatives spannungsoptisches Verfahren der experimentel-

len Festigkeitsermittlung für mechanische Bauteilanisotropien zu entwickeln, mit dem die Richtungsabhängigkeit der Bauteilfestigkeit modelliert werden kann. Weitere Forschungsvorhaben befassen sich mit der Lebensdaueruntersuchung von Zahnwellen.

Veröffentlichungen des Institutes seit dem 1.1.1994

Veröffentlichungen 1994

Holland, M.: Prozeßgerechte Toleranzfestlegung - Bereitstellung von Prozeßgenauigkeitsinformationen für die Konstruktion. Dissertation, TU Clausthal 1994 in VDI Fortschritt-Berichte Reihe 20: Rechnerunterstützte Verfahren Nr. 137, Düsseldorf: VDI Verlag

Wesolowski, K.: Abschlußbericht zum DFG-Vorhaben "Zahnwellenfestigkeit", Di 289 / 9-1; Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal, Juli 1994

Schäfer, G.: Das Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellenverbindungen mit Schiebeseitz; Abschlußbericht zum FVA-Forschungsvorhaben Nr. 99 III & IV Zahn- und Keilwellenverbindungen, Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal, Sep. 1994

Dietz, P.; Schäfer, G.; Wesolowski, K.: Involute Spines - Load and wear behavior; Exploitation Problems of Mashines, Polish Akademy of sciences, Mechanical Engineering Committee, Vol. 29, Issue 3-4 (99-100), 1994, page 527 - 541

Dietz, P.; Gieleßen, H.: Texture Development and Anisotropic Photoelastic Effects in Rolled Silver Chloride. Journal of Texture and Microstructures, erscheint Ende '94 / Anfang '95

Pregemann, U.: Fertigungsinformationen im Konstruktionsprozeß - Ein Konzept zur Sammlung, Dokumentation und Nutzung von Fertigungsinformationen. Dissertation, TU Clausthal 1994 in VDI Fortschritt-Berichte Reihe 20: Rechnerunterstützte Verfahren Nr. 143, Düsseldorf: VDI Verlag

Rübbelke, L.: Konstruktive Lösungen und Auslegungsmethoden für Hochgeschwindigkeitsabweiseradsichter aus Leichtbauwerkstoffen in der Verfahrenstechnik. Dissertation, TU Clausthal 1994

Rothe, F.: Spielbehaftete Laschenverbindungen bei quasistatischer Belastung unter Berücksichtigung nichtlinearer Randbedingungen. Dissertation, TU Clausthal 1994

Erb, J.; Kruse, P.J.: Die STEP-Lösung für das Zeichnungswesen. Konstruktion, Heft 12, Dezember 1994

Rübbelke, L.; Schäfer, H.: Einfluß der Welle-Nabe-Verbindung auf das dynamische Verhalten von Hochgeschwindigkeitsrotoren. Konstruktion, Heft 6, Juni 1994

Dietz, P.; Burgtorf, U.: Das Beanspruchungsverhalten von Zahnwellenverbindungen mit Preßsitz. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 250 der FVA, Bad Soden 1994

Veröffentlichungen 1995

Hsueh, I-Ching: An approach for NC manufacturing information feedback. Dissertation, TU Clausthal 1995

Bugow, R.: Die Bereitstellung von Teilebibliotheken im rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß. Dissertation, TU Clausthal 1995 in DIN Normungskunde Bd. 35, Berlin: Beuth-Verlag

Kruse, P.: Anforderungen in der interdisziplinären Systementwicklung: Erfassung, Aufbereitung, Bereitstellung. Dissertation, TU Clausthal 1995

Dietz, P.; Rothe, F.: Rechnerische Ansätze zum Beanspruchungsverhalten von Ketten und symmetrischen Tragmitteln. F+H Fördern und Heben 45 (1995) Nr. 11

Dietz, P.; Rothe, F.: Berechnung und Optimierung von Bolzen-Lasche-Verbindungen. Konstruktion 47 (1995) S. 277-284

Schiedeck, N.; Docquier, H.; Ciesla, M.; Pietschmann, J.: Rückführung von Fertigungsinformationen an die Fertigungsplanung. Zwf CIM 2/1995

Dietz, P.; Kunze, K.; u.a.: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben "Einfluß von Verzahnungsabweichungen auf das Passungs- und Laufverhalten von Zahnwellen-Verbindungen und Zahnkupplungen. Funktionsgerechtes Toleranzsystem und betriebsnahe Meß- und Lehrenverfahren", Volkswagenstiftung, I/66 120, IMW TU Clausthal, IFBL TU Dresden, 6/1995

Barth, H.-J.; Jakel, R.; Kraushaar, H.*; Scholz, R.* (*Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik der TU Clausthal): Vollkeramischer Radialventilator bis 1350 °C für Industrieofenanlagen - Konstruktion, Förderverhalten und Betriebserfahrungen. Chemie Ingenieur Technik 9/1995

Anderl, R.; Kruse, P.; Polly, A.; Sabin, A.; Stephan, M.; Ungerer, M.: Produktmodellierung - Die Basis für integriertes Qualitätsmanagement in der Konstruktion. Zwf 4/1995

Dietz, P.; Schäfer, G.; Wesolowski, K.: Betriebsverhalten und Lebensdauer von Zahnwellen-Verbindungen. DVM-Tagung, Betriebsfestigkeit, 11./12.10.1995 Dresden

Dietz, P.; Burgtorf, U.: Das Beanspruchungsverhalten von Zahnwellenverbindungen mit Preßsitz. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 250 der FVA, Bad Soden 1995

Veröffentlichungen 1996

Hartmann, D.: Modell zur qualitätsgerechten Konstruktion. Dissertation, TU Clausthal 1996 in VDI Fortschritt-Berichte Reihe 1: Konstruktionstechnik/

Maschinenelemente Nr. 260, Düsseldorf: VDI Verlag

Kruse, P. J.: Anforderungen in der Systementwicklung - Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung von Anforderungen in interdisziplinären Entwicklungsprojekten. Dissertation, TU Clausthal 1996 in VDI Fortschritt-Berichte Reihe 20: Rechnerunterstützte Verfahren Nr. 191, Düsseldorf: VDI Verlag

Dietz, P.: Concurrent Engineering - Implications for Training. 4th Symposium DESIGN 96, 16.-17.5.96 Opatija, Volume I, ISBN 953-6326-04-3

Dietz, P.; Tan, L.: Beanspruchungen und Übertragungsfähigkeit geschwächter Welle-Nabe-Preßverbindungen. Antriebstechnik 35 (1996), Heft 4 (Teil I) und 5 (Teil II)

Dietz, P.: Considerations on the Systematic and Fully Stressed Design of Processing Technology Machines. 4th Symposium DESIGN 96, 16.-17.5.96 Opatija, Volume I, ISBN 953-6326-04-3

Dietz, P.; Ort, A.: Verwendung von Wiederholteil- und Normteilkatalogen nach ISO 13584 "Parts Library" unter Berücksichtigung der Anforderungen in der Konstruktion. VDI Berichte 1289, ISBN 3-18-091289-8

Dietz, P.; Schäfer, G.; Wesolowski, K.: Involute Splines - Load and Wear Behaviour. 4th Symposium DESIGN 96, 16.-17.5.96 Opatija, Volume II, ISBN 953-6326-04-3

Dietz, P.; Klemp, E.; Romann, M.: Simultaneous development of chemical process, process engineering machinery and process control systems with special reference to low temperature desulphurisation, SIMDES. European Workshop on Environmental Technologies 1996, 13.- 15. November 1996 Kopenhagen, Beitrag No 19

Prengemann, U.; Schmitt, R.: Fertigungserfahrung zur Entscheidungsunterstützung in der Konstruktion, Industrie Management 1/96, Berlin, 1996 (GI-TO)

Schmitt, R.; Prengemann, U.: Manufacturing Information System for the Designer. 4th Symposium DESIGN 96, 16.-17.5.96 Opatija, Volume I, ISBN 953-6326-04-3

Haje, D.: Knowledge Based Systems for the Development of Low-Noise Products. 4th Symposium DESIGN 96, 16.-17.5.96 Opatija, Volume I, ISBN 953-6326-04-3

Neumann, U.: Konstruktionsmethodische Vorgehensweise zur Entwicklung verfahrenstechnischer Maschinen und Anlagen am Beispiel eines "Reaktionsverdichters" für das Recycling von Kunststoffen durch den Einsatz von überkritischem Wasser. Dissertation, TU Clausthal 1996

Engel, K.: Analyse der Körperschalleitung mit sensorischen, optischen und numerischen Verfahren am Beispiel von Zahnradkörpern. Dissertation, TU Clausthal 1996

Dietz, P.; Burgtorf, U.: Das Beanspruchungsverhalten von Zahnwellenverbindungen mit Preßsitz. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 250 der FVA, Würzburg 1996

Veröffentlichungen 1997

Dietz, P.; Kruse, P.J.; Leschonski, K.: Behandlung von Anforderungen in der Entwicklung verfahrenstechnischer Prozesse, Maschinen und Anlagen. Konstruktion, Heft 1/2, Januar 1997

Dietz, P.; Penschke, St.; Ort, A.: Ansätze zur parallelen Gestaltung von Produkten und Fertigungsprozessen. VDI Berichte 1322, S. 313-329, 1997

Dietz, P.; Ort, A.: The Use of ISO 13584 Methodology for Building Part Hierarchies in Practice. Proceedings of European Conference Product Data Technology Days, S. 83-89, 15.-16.4.1997, Sophia Antipolis

Dietz, P.; Penschke, St.; Ort, A.: Strategies for Product Knowledge Management and Feedback to Design - Application Examples. Report of Product Knowledge Sharing and Integration Workshop, 17.-18.4.1997, Sophia Antipolis

Dietz, P.; Ort, A.; Penschke, St.: Perspectives on Design Support Strategies. Proceedings of IIM '97 European Conference on Integration in Manufacturing - Facilitating deployment of Information and Communications Technologies for competitive manufacturing, S. 505-514, 24.-26.9.1997, Dresden

Jakel, R.: Ein Beitrag zur Berechnung und konstruktiven Gestaltung keramischer Bauteile, angewendet am Beispiel eines keramischen Heißgasventilatorrades. Dissertation, TU Clausthal 1997 in VDI Fortschritt-Berichte Reihe 1: Konstruktionstechnik/Maschinenelemente Nr. 280, Düsseldorf: VDI Verlag

Haje, D.: Entwicklung eines Informationssystems zur Konstruktion lärmarmen Produkte. Dissertation, TU Clausthal 1997 in Lärmarm konstruieren XVII, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung Fb 768 Arbeitsschutz, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW

Wesolowski, K.: Dreidimensionale Beanspruchungszustände und Festigkeitsnachweis drehmomentenbelasteter Zahnwellen-Verbindungen unter elastischer und teilplastischer Verformung. Dissertation, TU Clausthal 1997 in VDI Fortschritt-Berichte Reihe 1: Konstruktionstechnik/Maschinenelemente Nr. 286, Düsseldorf: VDI Verlag

Dietz, P.; Burgtorf, U.: Das Beanspruchungsverhalten von Zahnwellenverbindungen mit Preßsitz. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 250 der FVA, Würzburg 1997

Dietz, P.; Klemp, E.: SIMDES. European Workshop on Environmental Technologies 1997, 10.- 12. Dezember 1997, Cranfield GB

Mitarbeiter des Institutes

Birkholz, Hagen: Jahrgang 1967, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.9.1997 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Bönig, Sabine: Jahrgang 1969, studierte Maschinenbau an der TU Braunschweig u. Verfahrenstechnik an der TU Clausthal, seit 1.5.1997 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW.

Brandt, Anja: Jahrgang 1965, studierte Geologie/Paläontologie an der TU Clausthal, Promotion 1994, seit 21.4.1997 Koordinator für studentische Auslandskontakte (zentrale Universitätseinrichtung).

Burgtorf, Uwe: Jahrgang 1965, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.10.1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

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.

Garzke, Martin: Jahrgang 1969, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.1.1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Gummersbach, Frank: Jahrgang 1965, studierte Maschinenbau mit den Schwerpunkten Betriebsfestigkeit, Betriebs- und Systemverhalten an der TU Clausthal, seit 1.6.1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Große, Andreas: Jahrgang 1969, studierte Maschinenbau, Fachrichtung Produktionstechnik an der TU Clausthal, seit 1.5.1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Grünendick, Torsten: Jahrgang 1967, studierte Luft- und Raumfahrttechnik mit dem Schwerpunkt Leichtbau und Strukturmechanik an der Universität der Bundeswehr München, von 1993 bis 1996 Fachgruppenleiter bei einem Luftfahrzeugtriebwerks - Instandsetzer in Erding, ab 1996 dort Leiter Qualitätssicherung, seit 1.8.1997 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Heider, Gunther: Jahrgang 1968, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.4.1994 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Heimannsfeld, Klaus: Jahrgang 1968, studierte Informatik an Universität Fridericiana (TH) in Karlsruhe (Schwerpunkte Netzwerke, Transaktionssysteme und Computergrafik, Nebenfach Maschinenbau, Fertigungstechnik), seit 1.5.1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Heinen, Frank: Jahrgang 1969, studierte Produktionstechnik an der TU Clausthal, seit 1.8.1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Henschel, Jürgen: Jahrgang 1968, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Braunschweig und der TH Darmstadt, seit 1.3.1994 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Islíker García, Marco: Jahrgang 1970, studierte Mechanik an der Polytechnischen Universität Valencia, Spanien, seit 15.10.1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Isranuri, Ikhwanayah: Jahrgang 1964, studierte Maschinenbau an der Universität Sumatera Utara, Indonesien, seit 1.4.1994 Gastwissenschaftler am IMW.

Klemp, Eric: Jahrgang 1966, studierte Maschinenbau, Fachrichtung Produktionstechnik an der TU Clausthal, seit 1.7.1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Li, Zhenpan: Jahrgang 1961, studierte Maschinenbau an der TU Jilin, China, seit 1.9.1994 Gastwissenschaftler am IMW.

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

Mupende, Ilaka, Ivon: Jahrgang 1964, studierte allgemeinen Maschinenbau an der Universität von Kinshasa, Demokratische Republik Kongo, seit 1.10.1996 Gastwissenschaftler am IMW.

Ort, Andreas: Jahrgang 1968, studierte Informatik an der Universität Fridericiana (TH) in Karlsruhe, seit Mitte April 1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Penschke, Steffen: Jahrgang 1965, studierte allgemeinen Maschinenbau (Fachrichtung Förder-technik) an der TU Dresden, ab 1.3.1992 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik der TU Dresden, seit 1.4.1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

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

Schmidt, Axel: Jahrgang 1963, studierte Maschinenbau mit den Schwerpunkten Technische Mechanik und Informationstechnik an der TU Clausthal, seit 1.1.1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Schmitt, Reinhard: Jahrgang 1967, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.9.1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Tawil, Mohamed: Jahrgang 1969 (Palästinenser), seit Oktober 1987 in Deutschland, studierte Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.11.1997 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW.

Wächter, Martina: Jahrgang 1959, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.4.1985 wissenschaftlicher Mitarbeiterin am IMW, seit 1.9.1996 Frauenbeauftragte der TU Clausthal.

Wuttke, Sabine: Jahrgang 1969, studierte Energie- und Verfahrenstechnik an der TU Berlin, seit 1.6.1997 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW.

Xie, Huimin: Jahrgang 1965, studierte Festkörpermechanik am Peking Institute of Technology, China, Promotion über Moiré-Interferometrie 1992 an der Tsinghua Universität, seit 1.9.1994 Gastwissenschaftler am IMW.

Zhang, Daxin: Jahrgang 1959, studierte Maschinenbau an der TH Fuxin, China, seit 1.1.1996 Gastwissenschaftler am IMW.

So finden Sie das IMW:

Aus Richtung Hannover / Hamburg:

A 7 bis Ausfahrt **Seesen** → An Ampel rechts;
nach ca. 1,5 km links auf vierspurige **B 243**
B 243 an Ausfahrt Clausthal-Zellerfeld, Braunlage verlassen auf die **B 242**
B 242 → Richtung Ortsteil Zellerfeld abbiegen

Im Ortsteil **Zellerfeld** rechts auf **B 241** einbiegen → Nach langgezogener Linkskurve in Kreisverkehr einbiegen → Auf rechter Spur Verlauf von **B 241** folgen und Kreisverkehr verlassen → Nach ca. 100 m rechts in *Robert-Koch-Straße* einbiegen. Das IMW befindet sich nach ca. 400 m (zwei Querstraßen) auf der rechten Seite.

Aus Richtung Göttingen / Kassel:

A 7 bis Ausfahrt Northeim-Nord → **B 3** bis **Northeim**;
in Northeim Umgehungsstraße zur **B 247** →
B 247 Richtung Katlenburg / Duderstadt

In **Katlenburg** auf **B 241** Richtung Osterode abbiegen

Am Ortseingang **Osterode** auf **B 243** Richtung Herzberg. Nach ca. 500 m Ausfahrt Goslar/Clausthal-Zellerfeld abfahren → **B 241** Richtung Clausthal-Zellerfeld
Nach Ortseingang **Clausthal-Zellerfeld** der Hauptstraße folgend rechts abbiegen → An T-Einmündung (rechterhand eine Tankstelle) rechts abbiegen; Clausthal verlassen.
Nach 1,5 km links abbiegen Richtung Goslar/Clausthal → Ortsschild Clausthal → In die dritte Straße (*Robert-Koch-Straße*) einbiegen → Das IMW befindet sich nach ca. 250 m auf der linken Seite.

