



Technische Hochschule Darmstadt

Festschrift

25 Jahre

Fachgebiet

Maschinenelemente und Mechanik

Prof. Dr.-Ing. W. Raab

Darmstadt 1991

Folgenden Unternehmen wird für Ihren Beitrag zur Herstellung dieser Festschrift gedankt:

WELLA AG, Darmstadt
ARNOLD & STOLZENBERG GmbH, Einbeck
MAN Roland Druckmaschinen AG, Offenbach

Inhalt

Zum Geleit

Professor Dr. Helmut Böhme
Präsident der Technischen Hochschule Darmstadt

Seite 1

*

Grußwort

Prof. Dr.-Ing. F. G. Kollmann
Prädekan des Fachbereichs Maschinenbau

Seite 3

*

Das Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik und das wissenschaftliche Prüfungsamt

Frank - H. Schatz
Leitender Direktor des wissenschaftlichen Prüfungsamtes
für das Lehramt an beruflichen Schulen

Seite 5

*

Partnerschaft zwischen Hochschule und Wirtschaft

Dr.-Ing. Rupert Zang
Wella AG, Darmstadt

Seite 10

*

25 Jahre Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik

Professor Dr.-Ing. Walter Raab
Leiter des Fachgebiets Maschinenelemente und Mechanik

Seite 12

**Von der tabellarischen Lösungssammlung zur wissensbasierten
Konstruktionsunterstützung - Aktuelle Konstruktionsforschung am
Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik vor dem Hintergrund
25-jähriger Forschungsaktivität**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Horst Größer
Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik

Seite 20

*

**Die Beanspruchungen von genuteten Wellen und Paßfederverbindungen
- Untersuchungsmethoden und Ergebnisse -**

Dipl.-Ing. Armin Renneisen
Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik

Seite 37

*

**Die Kette - ein Relikt der Vergangenheit oder ein modernes
Maschinenelement?**

Dipl.-Ing. Edgar Dörsam
Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik

Seite 60

*

**Verzeichnis der bisher am Fachgebiet Maschinenelemente und
Mechanik erstellten Dissertationen**

Seite 76

*

**Verzeichnis der bisher am Fachgebiet Maschinenelemente und
Mechanik erstellten Studien- und Diplomarbeiten**

Seite 78

Zum Geleit

von Helmut Böhme

Das Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik, das in diesem Jahr auf ein 25jähriges erfolgreiches Wirken zurückblicken kann, weist unter den insgesamt 24 Fachgebieten des Fachbereichs Maschinenbau ein eigenes, ganz besonderes Profil auf.

Entstanden ist es in einer Zeit, da die Ausbildung des Lehrernachwuchses für die beruflichen Schulen der Bundesrepublik an die wissenschaftlichen Hochschulen, in Hessen an die Technische Hochschule Darmstadt, verlegt wurde. Im Jahr 1965 wurde der Lehrstuhl Maschinenelemente und Mechanik, später in Fachgebiet umbenannt, eingerichtet, nachdem bereits 1963 der seit 1873 bestehende Lehrstuhl Maschinenbau II für Maschinenelemente angesichts der gewaltig gestiegenen Studentenzahlen im Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen in die beiden Parallel-Lehrstühle Maschinenbau und Getriebe sowie Maschinenbau und Konstruktionslehre geteilt worden war.

Anstoß zur Einrichtung des neuen Lehrstuhls war in erster Linie die Tatsache, daß man in Hessen spezielle Ausbildungskonzepte im ingenieurwissenschaftlichen Bereich für Gewerbelehrer anstrebte. Diese Zielsetzung hat das Fachgebiet bis heute, wengleich natürlich nicht ausschließlich, geprägt. Man könnte geradezu von einem "Dienstleistungsfachgebiet" sprechen. Professor Dr.-Ing. Walter Raab, der 1966 den neuen Lehrstuhl übernahm und bis heute das Fachgebiet leitet, und seine Mitarbeiter bieten Lehrveranstaltungen für den Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, den Fachbereich Erziehungswissenschaften, Psychologie und Sportwissenschaft sowie für die drei elektrotechnischen Fachbereiche an. Allerdings werden seit langem nicht nur angehende Berufsschullehrer, sondern auch Studenten der Elektrotechnik und des Wirtschaftsingenieurwesens, die den Abschluß Diplom anstreben, betreut, wobei es konkret um die konstruktive Grundlagenausbildung mit den Schwerpunkten Darstellung und Gestaltung geht. Schon ein flüchtiger Blick auf die Studentenzahlen der Elektrotechnik der letzten Jahre, gekennzeichnet durch eine dauernde ganz erhebliche Überlast, zeigt mehr als deutlich, mit welchen hohen Lehrbelastungen das Fachgebiet konfrontiert war und ist. Die Hochschule schuldet Professor Raab und seinen Mitarbeitern Dank, daß sie sich diesen Belastungen stets mit großem Engagement gestellt haben.

Daß trotz der umfangreichen Aufgaben in der Lehre auch im Bereich der Forschung Beachtliches geleistet wurde, verdient Anerkennung. Anfangs - die experimentelle Ausstattung war noch sehr eingeschränkt - entwickelte sich zunächst ein theoretisch orientierter Forschungsschwerpunkt zur Unterstützung des methodischen Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses. Als sich dann Ende der 70er Jahre die Laborverhältnisse spürbar verbesserten, kamen mehr experimentell ausgerichtete Schwerpunkte hinzu. Es ging und geht dabei um die "Untersuchung des Einflusses

der Mehrfachkerbwirkung in antriebstechnischen Bauelementen" und um die Beschäftigung mit Umschlinggetrieben. Bei allen drei Forschungsschwerpunkten bestehen Kontakte zu industriellen Partnern, Theorie und Praxis sind also erfreulicherweise eng verbunden. Die am Fachgebiet betriebene Forschung schlug sich nicht zuletzt auch in einer Vielzahl von Studien-, Diplom- und wissenschaftlichen Hausarbeiten sowie in 16 Dissertationen nieder. Eine Bilanz, die sich besonders in Anbetracht der enormen Lehrbelastungen - es muß dies nochmals betont werden - sehen lassen kann.

Professor Walter Raab und seinen Mitarbeitern wünsche ich auch für die kommenden Jahre Erfolg bei der Bewältigung der an sie gestellten vielfältigen Aufgaben.

Grußwort

zum 25-jährigen Jubiläum des Fachgebietes "Maschinenelemente und Mechanik"

von F. G. Kollmann

Lieber Herr Kollege Raab, sehr verehrte Damen, meine Herren,

im Namen des Fachbereichs Maschinenbau gratuliere ich Ihnen, lieber Herr Kollege Raab, sehr herzlich zum 25-jährigen Bestehen des von Ihnen geleiteten Fachgebietes "Maschinenelemente und Mechanik".

Verehrte Anwesende, lassen Sie mich in aller Kürze die historische Entwicklung des Fachgebietes darstellen: Im Jahr 1965 wurde an der Technischen Hochschule Darmstadt im Fachbereich Maschinenbau der neue Lehrstuhl "Maschinenelemente und Mechanik" eingerichtet mit der Absicht, in Hessen spezielle Ausbildungskonzepte im ingenieurtechnischen Bereich für Studenten des Gewerbelehrerfaches zu verwirklichen. Im gleichen Jahr wurde der heutige Inhaber auf diesen Lehrstuhl berufen. Die Anfänge des neuen Lehrstuhls waren durch Provisorien gekennzeichnet. So waren Büro- und Werkstatt- sowie Laborräume räumlich getrennt. Erst 1978 konnte ein stufenweiser Umzug in die derzeit vom Fachgebiet genutzten Räume erfolgen.

1966 begannen Sie, sehr geehrter Herr Kollege Raab, mit den Lehrveranstaltungen für die Gewerbelehrer-Studiengänge, wobei erstmals eine hierfür speziell konzipierte integrierte Vorlesung "Mechanik und Maschinenelemente" angeboten wurde. 1969 kamen eigenständige Lehrveranstaltungen für die konstruktive Grundlagenausbildung der Studierenden der Elektrotechnik hinzu. 1975 wurde ein 2-semesteriges Seminar für Studenten aller Lehramtsstudiengänge eingeführt, in dem technische Fragestellungen unter didaktischen Gesichtspunkten behandelt werden. Infolge der stark angestiegenen Studentenzahlen des Faches Elektrotechnik mußten ab dem akademischen Jahr 1975/76 die Übungen grundsätzlich zweimal durchgeführt werden. 1982 wurde eine Blockvorlesung und ein Praktikum "Spannungsoptik" für die ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge und das Metallgewerbelehrerfach eingerichtet. Diese kurze Aufzählung zeigt, daß das Fachgebiet "Maschinenelemente und Mechanik" in außergewöhnlichem Ausmaß Dienstleistungen für andere Fachbereiche und Studiengänge erbringt. Die Situation ist gekennzeichnet dadurch, daß im Winter-Semester insgesamt 27 Semester-Wochenstunden und im Sommer-Semester insgesamt 26 Semester-Wochenstunden an

Pflichtveranstaltungen als Dienstleistungen für andere Fachbereiche erbracht werden. Eine besondere Belastung stellt dabei die Ausbildung der Studierenden der Elektrotechnik und der Wirtschaftsingenieure Fachrichtung Elektrotechnik dar. Müssen doch in den konstruktiven Übungen etwa 600 Studenten in kleinen Gruppen betreut werden, wofür etatmäßig nur 3 wissenschaftliche Mitarbeiter zur Verfügung stehen.

Nach dieser Würdigung der Aktivitäten in der akademischen Lehre darf ich auf die Forschungsschwerpunkte des Fachgebietes eingehen. Da zunächst die experimentellen Möglichkeiten des Fachgebietes stark eingeschränkt waren, wurden in einem ersten Forschungsschwerpunkt Möglichkeiten zur methodischen Unterstützung des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses erarbeitet. Dabei wurde konsequent der Einsatz immer leistungsfähigerer Rechenanlagen genutzt. Ferner wurde der ergonomischen Gestaltung besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die Spannweite der durchgeführten Arbeiten reicht von der Entwicklung eines Konzeptes für ein Skibindungssystem bis zur Unterstützung ergonomiegerechten Konstruierens durch rechnergestützte Wissensverarbeitung.

Etwa ab 1980 konnte ein zweiter Forschungsschwerpunkt aufgebaut werden, in dem mit Hilfe der spannungsoptischen Untersuchungstechnik der Einfluß der Mehrfachkerbwirkung in antriebstechnischen Bauelementen systematisch erforscht wurde. Dazu konnten auch ein am Fachgebiet konzipierter und gebauter Verspannungsprüfstand eingesetzt und die Ergebnisse von Schwingfestigkeits-Untersuchungen herangezogen werden. Es wurden wichtige Erkenntnisse zur Kerbwirkung beim Zusammentreffen von Paßfedernuten mit Wellenabsätzen und Sicherungsringnuten sowie zur Beanspruchungsanalyse kompletter Paßfederverbindungen unter Torsions- und Biegebelastung erarbeitet. Aus Fragen, die aus der industriellen Praxis stammten, entwickelte sich seit Mitte der 70er Jahre der Forschungsschwerpunkt "Umschlingungsgetriebe", wobei insbesondere Riemen- und Rollenkettengetriebe untersucht wurden. Aus der am Fachgebiet laufenden Forschung entstanden zum Teil in Zusammenarbeit mit Industrie-Unternehmen mehr als 260 Studien-, Diplom- und wissenschaftliche Hausarbeiten. Insgesamt sind am Fachgebiet 16 Promotionen entstanden.

Lieber Herr Kollege Raab, der Fachbereich Maschinenbau dankt Ihnen und allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des von Ihnen geleiteten Fachgebietes für das ständige Engagement in der Lehre und in der Forschung. Dabei wird dankbar anerkannt, daß das Fachgebiet "Maschinenelemente und Mechanik" in der Lehre einen weit über das übliche Maß hinausgehenden Einsatz leistet. Im Namen des Fachbereichs wünsche ich Ihnen und allen Angehörigen Ihres Fachgebietes weiterhin viel Erfolg in Forschung und Lehre.

Das Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik und das wissenschaftliche Prüfungsamt

von Frank-H. Schatz

Traditionell spielt die Lehrerausbildung an der Technischen Hochschule in Darmstadt - verglichen mit der Lehrerausbildung etwa an den Universitäten in Frankfurt, Gießen und Marburg - eine eher bescheidene Rolle innerhalb des weiten Feldes der Studienangebote, eine Rolle, von der viele meinen, sie sei lästig oder doch "läßlich", eine Rolle, von der andere - u.a. der Präsident unserer Hochschule - jedoch meinen, daß sie ein geradezu nützliches, wenn nicht gar erforderliches "Korrektiv" des Ausbildungsangebotes unserer Hochschule darstelle.

So weist der Präsident unserer Hochschule in seinem Rechenschaftsbericht für das Jahr 1990 darauf hin, daß er die Stagnation der Nachfrage der Abiturienten nach einem Lehramtsstudium für Berufsschulen und Gymnasien bedauert, obwohl er - wie er schreibt - aus kapazitativen Gründen eher dankbar darüber sein müßte. Und er führte fort: "Wer pädagogisch interessiert ist und sich heute für ein Lehramtsstudium an beruflichen Schulen entscheidet, wird nach Studienabschluß gewiß eine Stelle im Schulbereich finden. Da dieselbe Entwicklung auf dem Sektor der allgemeinen Lehrerbildung voraussehbar ist, sollten auch hier Studieninteressen unterstützt werden. Das Lehrerüberangebot ist passé".

Ein Angebot der Lehrerausbildung für das Lehramt an beruflichen Schulen gewerblich-technischer Fachrichtung gibt es in Hessen - abgesehen von einigen Ausnahmen - de facto nur in Darmstadt.

Erinnern wir uns:

Die Neufassung des Gesetzes über das Lehramt an öffentlichen Schulen vom 13. November 1958 bestimmte u.a., daß auch künftige Gewerbelehrer an wissenschaftlichen Hochschulen vorgebildet werden sollten. Das bedeutete die Überführung der Studien von dem auslaufenden "Berufspädagogischen Institut" in Frankfurt an die Technische Hochschule im Jahre 1963/64. Den Schock, den diese Entscheidung, "nicht-wissenschaftliche Sachgebiete" Einzug in die THD halten zu lassen, damals auslöste, beschreibt Ludwig Fertig in seinem Beitrag "Von der Schule zur Lehrerbildungsstätte" im Jahrbuch 1976/77 unserer Hochschule anschaulich.

Dennoch ging man nun daran, die Überführung von Frankfurt nach Darmstadt ins Werk zu setzen und erstmals taucht im Personal- und Vorlesungsverzeichnis der Technischen Hochschule Darmstadt 1963/64 ein Studium für das "Höhere Lehramt an Berufsschulen, Berufsfachschulen und Fachschulen (gewerbliche Richtung)" auf, in dem die Lehrbefähigung für einige Zweige der - wie es damals hieß - "Technologischen Pädagogik" erworben werden konnte, u.a. auch für das Metallgewerbe. Und bald erscheint auch die Verordnung über die Erste Staatsprüfung für das höhere Lehramt an Berufs-, Berufsfach- und Fachschulen gewerblicher Richtung in der Fassung vom 23. Oktober 1964.

Die zahlenmäßige Entwicklung der Studierenden in der Fachrichtung Metallgewerbe begann im Wintersemester 1963/64 mit 45 Studierenden, stieg dann bis zum Wintersemester 1976/77 - gewiß auch als Folge des sogenannten Ingenieur-Erlasses vom 18.12.1970 mit der Einführung des bis zum 12. Juli 1983 möglichen sogenannten Aufbau-Studiums - bis auf 424 Studierende an, um dann kontinuierlich bis zum Sommersemester 1987 bis auf 33 Studierende zu fallen. Seitdem sind die Zahlen wieder leicht gestiegen, derzeit sind 56 Studierende in der Fachrichtung Metallgewerbe eingeschrieben.

Dabei ist weiter beachtlich, daß sich der prozentuale Anteil der "Metaller" an der Gesamtzahl der Studierenden für das Lehramt an beruflichen Schulen nicht weniger dramatisch entwickelt hat: Waren es im Wintersemester 1963 noch 56,25 % und blieb der Prozentsatz bis in die späten 70er Jahre schwankend zwischen 30 % und 45 %, so sank er danach (im Wintersemester 1988/89) bis unter 15 % ab und hat derzeit einen relativ stabilen Wert von ca. 17 % erreicht.

Unabdingbarer Bestandteil dieses Hochschulstudiums Metallgewerbe sind Ausbildungsveranstaltungen für Mechanik und Maschinenelemente I bis IV, sowie die Veranstaltung Maschinen- und Projektionszeichnen (dies auch für die Studierenden des Lehramts Elektrotechnisches Gewerbe), die alle unter Leitung und Federführung von Professor Dr.-Ing. Walter Raab stehen.

Zu diesen Ausbildungsveranstaltungen für Mechanik und Maschinenelemente gehören auch die Prüfungen in Mechanik und Maschinenelemente I und II (die im Rahmen der sogenannten Vorprüfung abgeprüft werden) und die Prüfungen in Mechanik und Maschinenelemente III und IV (die zur Hauptprüfung gehören).

Darüber hinaus ist es auch möglich, die sogenannte Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung im Fach Mechanik und Maschinenelemente anzufertigen, doch sind hier die Zahlen traditionsgemäß eher gering; dies mag möglicherweise seinen Grund in der besonderen Schwierigkeit der Aufgabenstellung haben.

Herr Professor Dr.-Ing. Walter Raab wurde auf Antrag vom 09. Mai 1966 in das Wissenschaftliche Prüfungsamt für das Lehramt an beruflichen Schulen gewerblich-technischer Fachrichtung berufen und mit Urkunde vom 05. März 1969 - Professor Dr. Fritz Huhle bekleidete seinerzeit das Amt des Ersten Stellvertretenden Vorsitzenden - von der damaligen Staatssekretärin Dr.

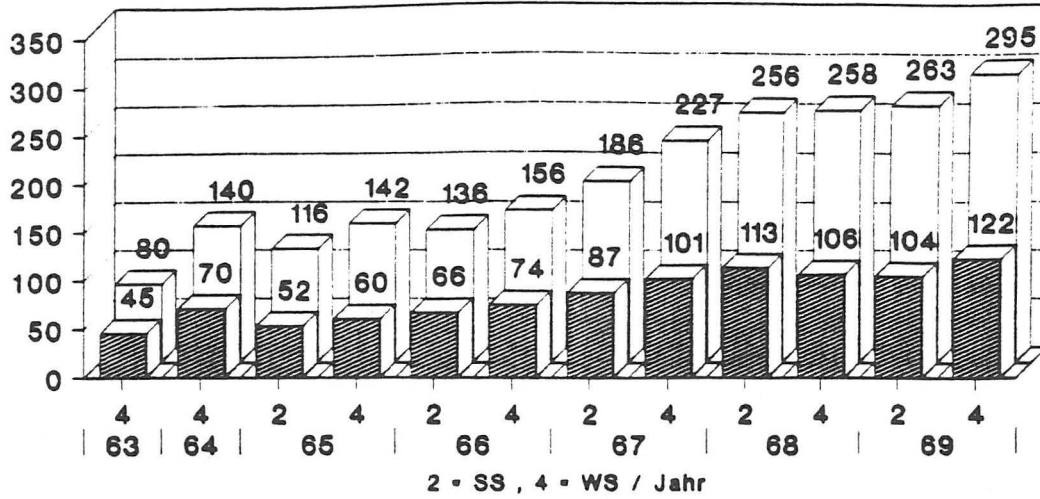
Hildegard Hamm-Brücher zum Zweiten Stellvertretenden Vorsitzenden berufen. In diesem Amt mehrfach bestätigt, wurde Professor Raab als Nachfolger von Professor Huhle nach dessen Ausscheiden aus dem aktiven Dienst des Landes Hessen zum Ersten Stellvertretenden Vorsitzenden ernannt.

Das Wissenschaftliche Prüfungsamt schuldet Professor Raab großen Dank: Mit viel Umsicht, Feingefühl und Takt hat er bei aller von der Sache her gebotenen Verpflichtung und Verantwortlichkeit dem Fach gegenüber durch sein teilnehmendes Wesen, seine bestimmte und verlässliche Art des Umgangs sowohl mit den Studierenden wie auch mit dem Prüfungsamt diesem Prüfungsamt große Dienste und Hilfe erwiesen.

Wir wissen, daß wir uns auf Professor Raab und seine Mitarbeiter am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik jederzeit verlassen und auch unsere Probleme und Fragen an sie herantragen können, um sie mit ihnen zu erörtern und einer vernünftigen Lösung zuzuführen.

Auch im Namen von Herrn Kollegen Skoda danke ich dem Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik und insbesondere Professor Raab und seinen Mitarbeitern für die geleistete Arbeit, hoffe, daß die hervorragende Kooperation der vergangenen Jahre auch weiterhin anhalten möge und daß wir uns auch in der Zukunft auf den Rat, das Wissen und die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit Professor Raab werden verlassen können.

Metallgewerbe Entwicklungen 1963 - 1969

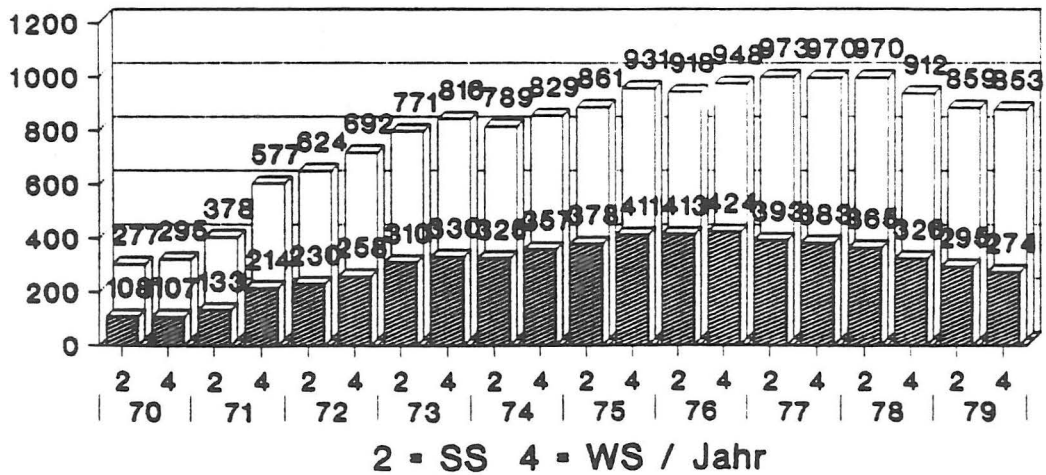


Legende

▨ Stu/Stl MetGew □ Stu/Stl LAB ges

K.Linder: 26.08.1991
Quelle: Studentenstatistik THD

Metallgewerbe Entwicklung 1970 - 1979



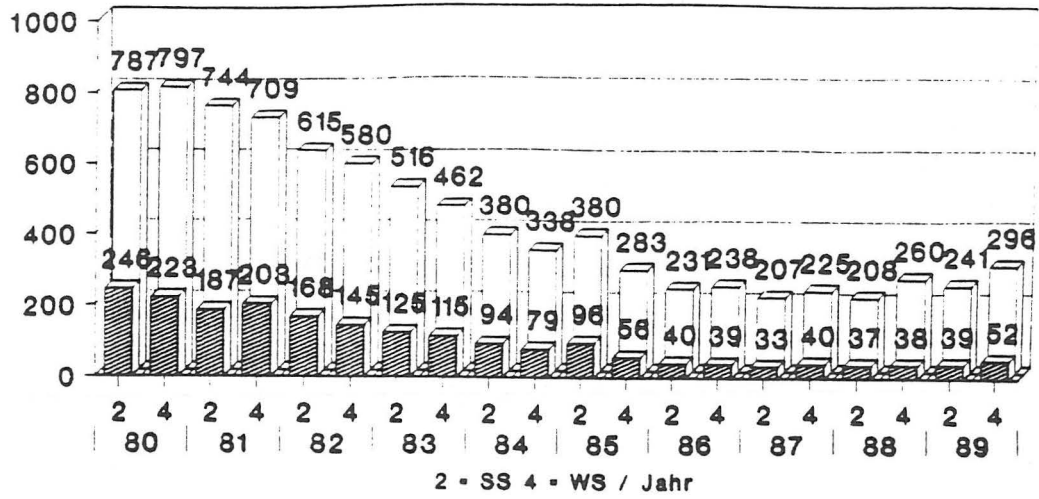
Legende

▨ Stu/Stl MetGew □ Stu/Stl LAB ges

K.Linder, StR; 26.08.1991
Quelle: Studentenstatistik THD

Metallgewerbe

Entwicklung 1980 - 1989



Legende

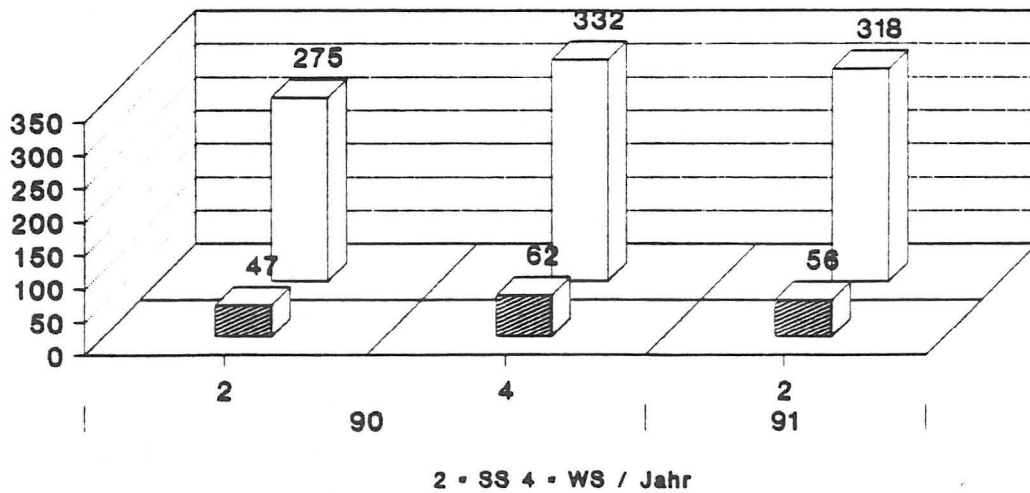
Stu/Stl MetGew

Stu/Stl LAB ges

K.Linder, StR; 28.08.1991
Quelle: Studentenstatistik THM

Metallgewerbe

Entwicklung 1990 - 1991



Legende

Stu/Stl MetGew

Stu/Stl LAB ges

K.Linder; 28.08.1991
Quelle: Studentenstatistik THM

Partnerschaft zwischen Hochschule und Wirtschaft*

von Rupert Zang

Der Wohlstand eines Landes hängt von den Leistungen der Wirtschaft ab. Diese Leistungen werden in der BRD sehr stark durch die Technologie und das Know how der Industrie, und damit den Wissensstand der Menschen in diesem Land geprägt. Die Qualität der Ausbildung junger Menschen hat somit einen direkten Einfluß auf das Leistungsvermögen der Wirtschaft und damit auch auf den Wohlstand unseres Landes.

Schulen und Hochschulen haben die verantwortungsvolle Aufgabe, die Auszubildenden auf die Erfordernisse des beruflichen Alltags vorzubereiten. Der Zwang nach wirtschaftlichem Erfolg und damit nach einer permanenten Weiterentwicklung des heutigen Wissensstandes setzt vor allem eine Bereitschaft zu einem kontinuierlichen Lernprozeß voraus. Neben der reinen Wissensvermittlung müssen an den Hochschulen auch die Grundlagen dieser Bereitschaft geschaffen, und die methodischen Hilfsmittel gelehrt werden.

Bei einer zu einseitigen Definition des Lehrstoffs ist jedoch die Gefahr groß, daß Wunsch und Realität weit auseinanderklaffen, Wirtschaftsunternehmen, die ihren Personalbestand zu einem Großteil aus Schul- und Hochschulabgängern rekrutieren, merken am deutlichsten, wo es an verwertbarem praktischem Wissen und Können mangelt. Sie fordern deshalb, schon im Vorfeld zum Berufsleben diese Defizite durch einen intensiven Dialog aller Beteiligten zu minimieren.

Die Industrie hat ein großes Interesse, diesen Dialog zu intensivieren. Sie kann mit ihren Erfahrungen den Hochschulen mit Rat und Tat zur Seite stehen. Doch es kann nicht Aufgabe der Industrie sein, Defizite in der Infrastruktur des Bildungswesens auf Dauer durch Spenden oder andere finanzielle Unterstützung auszugleichen. Es muß vielmehr das Ziel sein, durch dauerhafte Kontakte und aktive Dialogbereitschaft zufriedenstellende Lösungen für alle Beteiligten zu finden. Wenn dies auf unbürokratischem Wege geschieht, profitieren beide Seiten davon.

Bei WELLA spiegelt sich diese besondere Verpflichtung gegenüber dem Nachwuchs im vielfältigen Kontakt mit Schulen und Hochschulen wider. Einige Beispiele hierfür sind:

- Innenarchitekturstudenten entwerfen in einer Semesteraufgabe einen Friseursalon in einem unter Denkmalschutz stehenden Haus im Odenwald

* Teile dieses Vortrags wurden dem Artikel "Partnerschaft im Bildungswesen von Karl Heinz Krutzki in "Blick durch die Wirtschaft" vom 07. Mai 1991 entnommen.

- Seit 1985 nimmt WELLA einen offiziellen Lehrauftrag an der TH Darmstadt im Rahmen der Fachrichtung "Kosmetikchemie" für Gewerbelehrer wahr
- Darüberhinaus werden alle Hochschulen regelmäßig über neue Lehrmittel informiert, die für die praktische Arbeit im Unterricht zur Verfügung stehen

Eine der längsten und intensivsten Kooperationen besteht mit dem Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik. Seit 1976 arbeitet das Fachgebiet mit dem Bereich "Friseurtechnik" der WELLA AG zusammen. Im Mittelpunkt dieser Zusammenarbeit stand die Konzeption und Entwicklung von Tragelementen für Trockenhauben und die Suche nach neuen physikalischen Wirkprinzipien für anwendungstechnische Friseurgeräte. Dieses Betätigungsfeld gehört sicherlich zu den Randproblemen eines Fachgebietes für Maschinenelemente. Die interessanten Aufgabenstellungen und erarbeiteten Ergebnisse zeigten jedoch, daß die Beschäftigung mit diesen Problemen für beide Seiten von Vorteil war.

Die mittlerweile 15 Jahre andauernde Zusammenarbeit ist durch die Anwendung des "Methodischen Konstruierens" auf die bearbeiteten Problemfelder geprägt. Die Integration dieser Methodik in den täglichen Arbeitsablauf einer Konstruktionsabteilung bewirkte eine gegenseitige starke Befruchtung für die tägliche Arbeit des Konstrukteurs und die weiteren wissenschaftlichen Arbeiten an der Hochschule. In den ersten Jahren konzentrierte sich die gemeinsame Arbeit auf das Erstellen von Konstruktionskatalogen mit dem Ziel, Lösungsvarianten für bestehende technische Aufgabenstellungen zu finden. Mitte der achtziger Jahre verschob sich der Aufgabenschwerpunkt hin zur systematischen Ermittlung der technischen Anforderungen an neue Produkte. Speziell diese Erkenntnisse aus den gemeinsamen Projekten führten dazu, daß am Fachgebiet die Ermittlung von technischen Anforderungen unter weiterführenden wissenschaftlichen Aspekten in einer Forschungsarbeit intensiv bearbeitet wurde. Unabhängig vom jeweiligen Schwerpunkt der Zusammenarbeit ergaben sich, durch das Zusammenspiel wissenschaftlicher Methoden und langjähriger Konstruktionserfahrung, wertvolle und innovative Lösungsansätze.

Über die reine Projektarbeit hinaus, die in der Regel organisatorisch in Studien- und Diplomarbeiten oder Dissertationen eingebettet war, wurden mehrere angehende wissenschaftliche Mitarbeiter des Fachgebietes in der Konstruktionsabteilung der WELLA AG beschäftigt. Diese intensive Form der Kooperation sorgte nicht nur für eine weiterhin engagierte Zusammenarbeit, sondern ermöglichte auch für die Lehre eine praxisorientierte Umsetzung des Lehrstoffes.

Synergie ist das Schlüsselwort, das die Interessen von Hochschulen und Wirtschaft gleichermaßen in sich vereint. Das Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik hat dieses Schlüsselwort in den vergangenen Jahren durch die Zusammenarbeit mit der WELLA AG mit Leben gefüllt.

Im Sinne der eingangs genannten Zielsetzung bringt diese sinnvolle Vernetzung von Theorie und Praxis allen Beteiligten Vorteile und eröffnet dadurch neue Zukunftschancen.

25 Jahre

Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik

von Walter Raab

1. Zielsetzung bei der Schaffung des Bereichs Maschinenelemente und Mechanik im Rahmen der Lehre der Maschinenelemente an der Technischen Hochschule Darmstadt

Die Einrichtung des damaligen Lehrstuhls für Maschinenelemente und Mechanik an der Technischen Hochschule Darmstadt im Jahre 1966 erfolgte in einer Zeit, in der die Zahl der Studierenden in den Ingenieurbereichen stark anstieg. Mit dem Ziel, die Lehr- und Betreuungskapazitäten zu vergrößern, entstanden in der Folge an fast allen wissenschaftlichen Hochschulen auch im Bereich der Maschinenelemente Parallellehrstühle, die die zunehmende Belastung vor allem durch die Grundlagenausbildung in diesem Fach dann gemeinsam tragen konnten.

So wurde auch an der Technischen Hochschule Darmstadt der 1873 eingerichtete Lehrstuhl Maschinenbau II für Maschinenelemente, dem 1908 auch ein Laboratorium angegliedert worden war, im Jahr 1963 in zwei Parallellehrstühle (Maschinenelemente und Getriebe ab 1963 Prof. H. W. MÜLLER und Maschinenelemente und Konstruktionslehre ab 1965 Prof. G. PAHL) aufgeteilt.

Im Unterschied dazu hatte der Lehrstuhl Maschinenelemente und Mechanik als neue Einrichtung ursprünglich die Aufgabe, die ingenieurspezifische Grundlagenausbildung für den neuen Studiengang des Lehramts an beruflichen Schulen gewerblich-technischer Fachrichtungen im Bereich Metall-, Elektrotechnisches und Graphisches Gewerbe zu übernehmen. Im Rahmen der Verlagerung aller Lehramtsstudiengänge an die wissenschaftlichen Hochschulen war an der Technischen Hochschule Darmstadt 1963 dieser Studiengang neu eingerichtet worden.

Durch das Lehrangebot des Lehrstuhls Maschinenelemente und Mechanik hat 1966 einzig die damalige Fakultät für Maschinenbau die Zielvorstellung einer eigenständigen Ausbildung dieser Studierenden im technischen Bereich unabhängig von den Ingenieurstudiengängen realisiert. Dabei sollte zum einen durch die gemeinsame Darstellung der Mechanik und der Maschinenelemente den Studierenden die wesentliche Bedeutung mechanischer Grundlagenkenntnisse für das Verständnis und die Lösung von Ingenieuraufgaben verdeutlicht werden. Zum anderen wollte man - im Hinblick auf die große zeitliche Belastung der Lehramtsstudiengänge durch die stärkere

fachliche Differenzierung im Vergleich mit den Ingenieurstudiengängen (naturwissenschaftlich-technisches, erziehungswissenschaftliches, gesellschaftswissenschaftliches Fachgebiet und ein Wahlfach) - mit diesem Lehrkonzept eine Reduzierung der erforderlichen Vorlesungsstunden erreichen.

2. Entwicklung des Lehrstuhls und späteren Fachgebiets Maschinenelemente und Mechanik

2.1 Allgemeines

Da sich der neu installierte Bereich nicht auf einen Parallellehrstuhl abstützen konnte, standen ihm auch keine Räumlichkeiten im Maschinenbau zur Verfügung. Deshalb sollte der Lehrstuhl Maschinenelemente und Mechanik zunächst mit anderen an der Gewerbelehrausbildung beteiligten Lehrstühlen in der provisorisch wieder aufgebauten "Staatsbauschule" in der Adelongstraße untergebracht werden. Die dort vorgesehenen Räume waren aber noch durch das Institut für Arbeitswissenschaft belegt, da der Neubau des Fachbereichs Maschinenbau auf der Lichtwiese noch nicht zur Verfügung stand. So begann die Arbeit des Lehrstuhls Maschinenelemente und Mechanik in einem vom Lehrstuhl Berufspädagogik geliehenen Raum.

Erst durch den Umzug des Instituts für Arbeitswissenschaft und nach dem Einbau von Trennwänden wurden bis 1969 die notwendigen Voraussetzungen für die Unterbringung der Mitarbeiter und die Durchführung des Lehrbetriebs in der Adelongstraße geschaffen. In diesen Zeitraum fiel auch die Einrichtung einer Werkstatt im Keller und eines provisorischen spannungsoptischen Labors mit Dunkelkammer auf dem ausgebauten Dachboden des Gebäudes in der Adelongstraße.

Die für die endgültige Unterbringung vorgesehenen Räume und Laborflächen für den aufgrund des Hessischen Universitätsgesetzes in Fachgebiet umbenannten Lehrstuhl für Maschinenelemente und Mechanik konnten schließlich in den Jahren 1978/79 bezogen und genutzt werden. In diesem Zusammenhang ließ sich eine räumliche Trennung der Fachgebietswerkstatt von den neuen Laborflächen über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr nicht vermeiden.

Erschwerend für den Aufbau des neuen Bereichs war auch, daß mit Ausnahme der Berufungsmittel das Fachgebiet entgegen ursprünglichen Zusagen niemals Mittel für besondere Betriebseinrichtungen oder ähnliche Zwecke erhalten hat und sogar die Aufstellung der Werkzeugmaschinen nach dem Umzug 1979 teilweise aus Etatmitteln bestreiten mußte.

Menschlich sehr tragisch und zugleich erschwerend für die Entwicklung des Fachgebiets Maschinenelemente und Mechanik war der Tod zweier wissenschaftlicher Mitarbeiter; 1969 verstarb JÜRGEN FRAMHEIM an den Folgen eines Verkehrsunfalls und 1978 erlitt THOMAS SLEDZIEJOWSKI einen tödlichen Sportunfall.

2.2 Lehre im Bereich Maschinenelemente und Mechanik

2.2.1 Lehramt an beruflichen Schulen

Zum Wintersemester 1966/67 wurden vom damaligen Lehrstuhl Maschinenelemente und Mechanik die Lehrveranstaltungen mit der speziell für die Lehramtsstudiengänge konzipierten Vorlesung "Mechanik und Maschinenelemente" für ca. 60 Studierende aufgenommen. Unmittelbar im Anschluß an dieses Semester fand dann erstmals die dreiwöchige Blockveranstaltung "Projektionszeichnen und Technisches Zeichnen" statt, die aus didaktischen Gründen 1970 in eine normale Lehrveranstaltung im Wintersemester umgewandelt wurde.

Seit 1971 wird, nachdem für das Graphische Gewerbe keine konstruktive Grundlagenausbildung mehr erfolgt, zusätzlich eine zweisemestrige Lehrveranstaltung "Technische Mechanik" für diesen Studiengang angeboten. Ferner ergänzt seit 1975 ein Seminar zum Thema "Behandlung technischer Fragestellungen unter didaktischen Gesichtspunkten" das Lehrangebot des Fachgebiets für die Lehramtsstudiengänge.

Diese Ausweitung des Lehrangebots wurde durch die 1970 geschaffene Dauerstelle am Fachgebiet ermöglicht, die 1971 durch einen bewährten Oberstudienrat im Hochschuldienst besetzt wurde, was auch den Fachgebietsleiter hinsichtlich seiner hohen Vorlesungsverpflichtung zunächst entlastete.

2.2.2 Ingenieurstudiengänge

Die stark ansteigenden Studentenzahlen einerseits und andererseits der Wunsch, für die Studierenden der Elektrotechnik eine eigene konstruktive Grundlagenausbildung zu realisieren, führten im Wintersemester 1969/70 zur Einrichtung einer zweisemestrigen Lehrveranstaltung "Technisches Zeichnen" und "Einführung in die Gestaltungslehre". Diese war zunächst für die Studierenden der Elektrotechnik vorgesehen und nach Einrichtung des neuen Studiengangs Wirtschaftsingenieurwesen technische Fachrichtung Elektrotechnik sollte sie auch für diese Studierenden als Pflichtveranstaltung angeboten werden. Auf Wunsch der Fakultät Maschinenbau wurde diese Veranstaltungen vom Lehrstuhl Maschinenelemente und Mechanik zusätzlich zu den Lehrveranstaltungen im Gewerbelehrerbereich konzipiert und durchgeführt (ursprünglich ca. 220 Studierende).

Im Zuge einer Änderung der Studienpläne im Bereich der Elektrotechnik mußte dieses Lehrangebot im Wintersemester 1973/74 und im Sommersemester 1974 sogar doppelt durchgeführt werden (jeweils ca. 330 Studierende). Seit dem Wintersemester 1975/76 werden wegen der stark angestiegenen Teilnehmerzahlen und der begrenzten Betreuungs- und Raumkapazität die Übungen grundsätzlich in zwei Übungsgruppen zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführt (im Wintersemester 1986/87 mehr als 700 Studierende).

2.2.3 Spannungsoptisches Praktikum

Seit 1982 bietet das Fachgebiet in jedem Semester eine Blockvorlesung und ein Praktikum zur Einführung in die Spannungsoptik als experimentelle Methode der Spannungsanalyse an. Diese Vorlesung und das Praktikum sind Pflichtveranstaltungen für die Studierenden des Metallgewerbes und können auch von Ingenieurstudenten im Hauptstudium belegt werden.

Die nachstehende Übersicht verdeutlicht noch einmal das Lehrangebot des Fachgebietes Maschinenelemente und Mechanik, das mit Ausnahme der letzten Spalte ein reines Dienstleistungsangebot in der Lehre für andere Fachbereiche darstellt.

Lehrveranstaltungen des Fachgebietes Maschinenelemente und Mechanik

Semester	Lehramt für			Ingenieurstudiengänge	
	Metallgewerbe	ET-Gewerbe	Allgemein	ET-Wi/ET	MB-Wi/MB
I	Maschinenelemente u. Mechanik 1		Technische Mechanik 1	Technisches Zeichnen	
II	Maschinenelemente u. Mechanik 2		Technische Mechanik 2	Gestaltungslehre	
III	Projektionszeichn. Techn. Zeichnen	Techn. Zeichnen			
	Mechanik und ME 2 (Fortsetz.)				
IV	Maschinenelemente und Mechanik 3 + 4				
V					Einführung in die SpO Studien- und Diplom- arbeiten
VI	Seminar				
VII	Seminar				
	Einf.in die SpO				
VIII	Wissenschaftl. Hausarbeit				

Übersicht der am Fachgebiet angebotenen Lehrveranstaltungen

2.3 Forschungsrichtungen am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik

2.3.1 Konstruktionsforschung

Aufgrund der bis 1980 stark eingeschränkten experimentellen Arbeitsmöglichkeiten am Fachgebiet entwickelte sich - angeregt durch die bis heute noch vielfältigen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Optimierung der Vorgänge beim Definieren und Entwickeln technischer Problemlösungen - zuerst eine an diesen Fragestellungen orientierte Forschungsrichtung.

Dabei war das Interesse zunächst auf eine möglichst vollständige Erfassung des potentiellen Lösungsfeldes gerichtet. So entstanden für verschiedene Problemstellungen zahlreiche, später als Konstruktionskataloge bezeichnete, Wissensspeicher als Hilfsmittel für den Konstrukteur. Diese konnten dann im Rahmen von Kooperationen mit verschiedenen Unternehmen bei der Bearbeitung unterschiedlicher Fragestellungen aus der Praxis getestet und weiterentwickelt werden /1 - 5/. Ferner wurden in diesem Zusammenhang auch Überlegungen zur Erarbeitung einer primär funktionsorientierten zeichnerischen Darstellungsweise durchgeführt /6/. Mit Hilfe von Konstruktionskatalogen /7/ und einer am Fachgebiet entwickelten Analysemethode /8/ waren auch Hilfsmittel über ergonomische Erkenntnisse für den Konstrukteur verfügbar. Außerdem konnte die Eignung von Konstruktionskatalogen für die Bearbeitung von Fragestellungen aus dem Patentwesen gezeigt werden /9/. Spätere Arbeiten beschäftigten sich dann mit den Möglichkeiten, die sich aufgrund der rasch fortschreitenden Entwicklung in der elektronischen Datenverarbeitung für den Informationsumsatz im Konstruktionsprozeß ergaben /10 - 11/.

Bei zukünftigen Arbeiten auf diesem Gebiet werden, neben dem verstärkten Einsatz systemtheoretischer Betrachtungsweisen, die Berücksichtigung von psychologischen Erkenntnissen beim Entwickeln von Lösungen und auch die grundlegende Bedeutung einer umfassenden Anforderungsermittlung für die Qualität der gefundenen Problemlösung zunehmend Schwerpunkte bilden.

2.3.2 Experimentelle Spannungsanalyse antriebstechnischer Bauelemente

Bereits in den 50er Jahren wurden im Maschinenelementebereich der Technischen Hochschule Darmstadt am Beispiel von Sicherungsringen für Wellen und Bohrungen, genuteten Wellen und kompletten Sicherungsring-Verbindungen Maschinenelemente der Antriebstechnik experimentell mit Hilfe der Spannungsoptik untersucht und die Ergebnisse mit entsprechenden Schwingversuchen an Originalbauteilen verglichen /12 - 13/.

Mit den seit Ende der 70er Jahre durch das spannungsoptische Labor im Gebäude Magdalenenstraße am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik gegebenen Analysemöglichkeiten konnten diese Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkung von Mehrfachkerbwirkung, wie sie bei antriebstechnischen Bauelementen häufig auftritt, fortgesetzt und erweitert werden.

Diese Untersuchungen konzentrierten sich bald auf die Beanspruchungen der Welle in Welle-Nabe-Verbindungen mit Paßfedern. Neben räumlichen spannungsoptischen Untersuchungen längsgenuteter Wellen mit Wellenabsätzen und Sicherungsringnuten erfolgte auch die Untersuchung kompletter Paßfederverbindungen unter Torsion und Biegebelastung. Dabei zeigten parallel durchgeführte Schwingversuche, für die auch das Konzept eines universell einsetzbaren Verspannungsprüfstands für Umlaufbiegung und Umlaufbiegung mit überlagerter statischer Torsion entwickelt und realisiert wurde, daß infolge des maßgeblichen Einflusses des Schwingungsverschleißes nur Untersuchungen an kompletten Paßfederverbindungen verwertbare Ergebnisse liefern /14 - 16/.

Ziel dieser Untersuchungen, die vom kommenden Jahr an auch in ein größeres FVA-Forschungsvorhaben eingebunden sein werden, ist es, Möglichkeiten für eine versagensgerechte Dimensionierung von Paßfederverbindungen unter Belastung durch Torsion, Umlaufbiegung und Umlaufbiegung mit kombinierter quasistatischer Torsion zu erarbeiten. Hierzu wird auf der Seite der Beanspruchungsanalyse eine hybride Vorgehensweise mittels spannungsoptischer Untersuchungen angestrebt, deren Ergebnisse dann gleichzeitig als Orientierung für die Definition der Randbedingungen bei Finite-Elemente-Berechnungen im Rahmen von Parametervariationen dienen.

2.3.3 Umschlingungsgetriebe

Fragestellungen hinsichtlich einer differenzierten Betrachtung der Kraftübertragung im Umschlingungsbogen von Flachriemengetrieben und die Möglichkeiten zur Steigerung der Raumleistung solcher Antriebe /17 - 18/ führten, auch durch aktuelle Probleme aus der Praxis veranlaßt, Anfang der 80er Jahre zur forschungsmäßigen Beschäftigung mit Rollenkettengetrieben. Dabei konzentrierten sich diese Untersuchungen schwerpunktmäßig auf die Erfassung technologischer Einflüsse und auf die Vorgänge im Tribosystem Kettengelenk /19 - 20/.

Zur Durchführung entsprechender experimenteller Untersuchungen wurde in diesem Rahmen ein großer universell einsetzbarer Rollenkettenprüfstand entwickelt und in Betriebe genommen /21/. Durch zwei weitere kleinere Prüfstände, die sich zur Zeit im Aufbau befinden, werden sich in kürze die experimentellen Möglichkeiten für Dauerlaufversuche und Versuche mit stoßartiger Kettenbelastung noch erweitern.

Im Hinblick auf den künftigen Einsatz von Rollenketten sind Untersuchungen zur Steigerung der Umfangsgeschwindigkeit und der Verminderung der Betriebsgeräusche ebenso interessant wie solche zum Betrieb wartungsarmer oder wartungsfreier Rollenkettengetriebe.

2.3.4 Schutzrohrberechnung

Durch eine vom VDE (Arbeitskreis DKE UK 921.1/NPM) in den 70er Jahren veranlaßte Umsetzung einer bekannten Vorgehensweise zur Dimensionierung von Schutzrohren für Thermometer in ein leistungsfähiges Rechenprogramm, die am Fachgebiet durchgeführt wurde, ergaben sich Bedenken hinsichtlich der dort verwendeten Versagenshypothese. Deshalb wurde aufgrund einer theoretischen Analyse ein neues Belastungsmodell für solche Rohre und darauf aufbauend ein Rechenprogramm für eine beanspruchungsgerechte Dimensionierung der verschiedenen Bauformen dieser Schutzrohre entwickelt /22/.

3. Literaturhinweise

- /1/ EWALD, Otto: Tabellarische Lösungssammlung als Hilfsmittel für das methodische Konstruieren, Diss. Darmstadt, 1974.
- /2/ MAYER, Ernst: Das Schutzsystem, ein Element der mittelbaren Sicherheitstechnik aus kybernetischer und systemtheoretischer Sicht, Diss. Darmstadt, 1975.
- /3/ SCHNEIDER, Jürgen: Konstruktionskataloge als Hilfsmittel bei der Entwicklung von Antrieben, Diss. Darmstadt, 1985.
- /4/ STORANDT, Ralf: Systematische Untersuchung zur Verbesserung des Verletzungsschutzes im alpinen Skilauf und Konzeption eines neuen Skibindungssystems, Diss. Darmstadt, 1980.
- /5/ UNLAND, Georg: Entwicklung eines Ultraschallzerstäubungsgerätes mit Hilfe der Konstruktionssystematik, Diss. Darmstadt, 1980.
- /6/ LÜPERTZ, Henning: Neue zeichnerische Darstellungsart zur Rationalisierung des Konstruktionsprozesses vornehmlich bei methodischen Vorgehensweisen, Diss. Darmstadt, 1974.
- /7/ NEUDÖRFER, Alfred: Gesetzmäßigkeiten und systematische Lösungssammlungen der Anzeiger und Bedienteile, Diss. Darmstadt, 1980.
- /8/ BOEHME, Andreas: Entwicklung einer heuristischen Analysemethode zur Ermittlung ergonomiebezogener Schwachstellen in Wirksystemen, Diss. Darmstadt, 1987.
- /9/ NEUDÖRFER, Alfred u. Wolfgang VOOS: Patentanalyse, systematisch durchgeführt am Beispiel von Sicherheitsskibindungen, Feinwerktechnik und Meßtechnik 85 (1977), S. 385 - 392

- /10/ GUTBERLET, Thomas: Konzeptentwicklung zur informationellen Unterstützung ergonomiegerechten Konstruierens unter Einsatz rechnergestützter Wissensverarbeitung, Diss. Darmstadt, 1990.
- /11/ ROGLER, Ernst: Entwicklung und Einsatz eines lernfähigen rechnergestützten Informationssystems für komplexe technische Systeme als Hilfsmittel zur Wissensverarbeitung, Diss. Darmstadt 1988.
- /12/ PAHL, Gerhard: Untersuchungen an offenen Ringen als Sicherungselemente, Diss. Darmstadt, 1954.
- /13/ RAAB, Walter: Sonderprobleme bei spannungsoptischen Untersuchungen, Diss. Darmstadt, 1961.
- /14/ PERSEKE, Winfried: Untersuchung zur Mehrfachkerbwirkung beim Zusammentreffen von Paßfedernut und Wellenabsatz sowie Paßfedernut und Sicherungsringnut, Diss. Darmstadt, 1984.
- /15/ ZANG, Rupert: Beanspruchungen in der Welle einer Paßfederverbindung bei statischer und dynamischer Torsionsbelastung, Diss. Darmstadt, 1987.
- /16/ WEIGAND, Michael: Untersuchung der Beanspruchung von Paßfederverbindungen bei umlaufender Biegebelastung, Diss. Darmstadt, 1991.
- /17/ LANGER, Hans-Peter: Verformungen in Flachriemen und Beitrag zur Bestimmung ihres mittleren Reibbeiwertes, Diss. Darmstadt, 1977.
- /18/ RAAB, Walter u. Wolfgang MOCKER: Bericht zum Forschungsvorhaben "Steigerung der Raumleistung von Riemengetrieben", TH Darmstadt 1982.
- /19/ BINZ, Hans-Georg: Untersuchung des Einlaufverschleißverhaltens von Rollenketten unter besonderer Berücksichtigung der Buchse-Lasche-Preßverbindung, Diss. Darmstadt, 1985.
- /20/ PAWLIK, Christian: Untersuchungen über den Einfluß unterschiedlich oberflächenbehandelter Bolzen-/Buchsen-Paarungen auf das Verschleißverhalten von Rollenketten, Diss. Darmstadt, 1990.
- /21/ RAAB, Walter u. Hans-Georg BINZ: Drehmoment- und Drehzahlmessung an einem Kettenprüfstand, Meßtechnische Briefe 20 (1984), S. 35 - 40.
- /22/ UHRIG, Otto: Beitrag zur Berechnung und Gestaltung von hochbeanspruchten Schutzrohren für Widerstandsthermometer und Thermoelemente, Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften R1, Nr. 82

Von der tabellarischen Lösungssammlung zur wissensbasierten Konstruktionsunterstützung

Aktuelle Konstruktionsforschung am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik vor dem Hintergrund 25-jähriger Forschungsaktivität

von

Horst Gröber

25 Jahre Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik bedeuten auch 25 Jahre konstruktionsmethodische Forschung. Ziel dieser Forschungsrichtung war und ist es, Konzepte und Hilfsmittel zur Rationalisierung und Steigerung der Effizienz der Konstruktionsarbeit sowie zur Entlastung der Konstrukteure zu entwickeln. In diesem Aufsatz werden aktuelle konstruktionsmethodische Forschungstätigkeiten am Fachgebiet im Lichte zurückliegender Aktivitäten auf diesem Gebiet betrachtet.

Bild 1 zeigt eine Zeittafel der Bearbeiter von Forschungsprojekten, die sich in den vergangenen 25 Jahren am Fachgebiet mit der Konstruktionsmethodik befaßt haben. Man kann diese 25 Jahre Forschungstätigkeit in drei Abschnitte einteilen:

1. die *Pionierzeit*, d. h. die ersten acht Jahre von 1967 bis etwa 1975,
2. die *Zeit der Konsolidierung*, d. h. das zweite Drittel ungefähr zwischen 1976 und 1984 und
3. die *Zeit der Exploration* ab etwa 1983.

Die folgenden Ausführungen stellen die abgeschlossenen Forschungsprojekte - eingeteilt in diese Zeiträume - kurz vor.

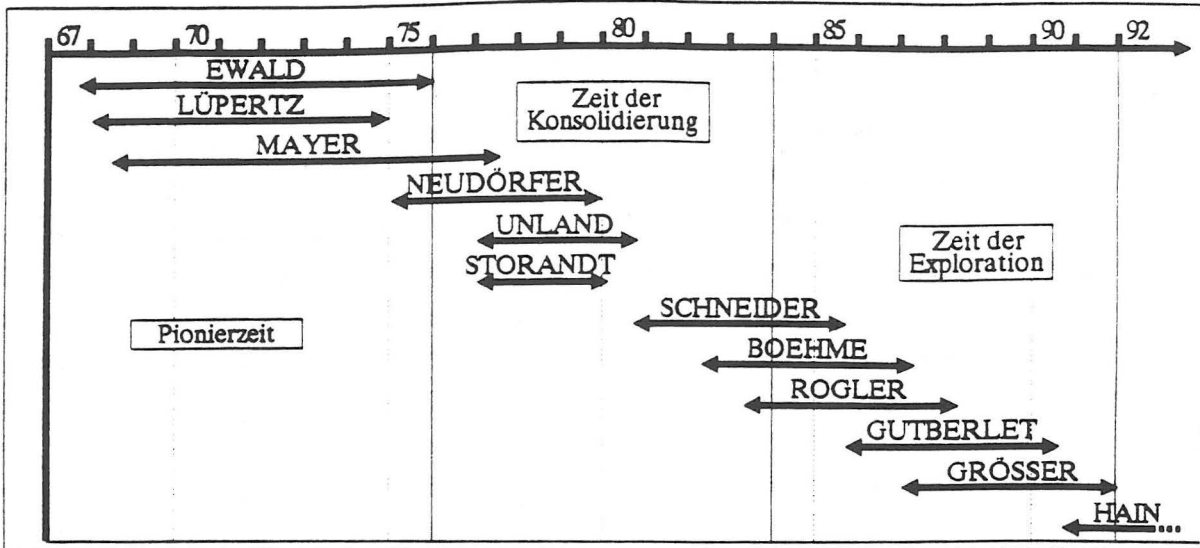


Bild 1: Zeittafel der Bearbeiter konstruktionsmethodischer Forschungsprojekte am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik

Pionierzeit

Die Pionierzeit von 1967 bis 1975 war insbesondere durch Aufbauarbeit gekennzeichnet. Die Konstruktionsmethodik - seinerzeit sprach man noch von Konstruktionssystematik - befand sich in der damaligen Bundesrepublik noch in den Anfängen, als Ewald, Lüpertz und Mayer am Fachgebiet begannen, systemtheoretische und kybernetische Aspekte für die Konstruktionsarbeit zu nutzen.

EWALD (1974) entwickelte ein neuartiges Hilfsmittel zur systematischen, tabellarischen Speicherung von Lösungen für den Konstruktionsprozeß, das später als sogenannter "Konstruktionskatalog" Gegenstand intensiver konstruktionsmethodischer Forschung nicht nur am Fachgebiet sondern auch an anderen Forschungsstellen wurde. Da er für die Darstellung seines Hilfsmittels auch ein Anwendungsgebiet brauchte, führte er mit der Antriebstechnik ein zweites, neben der Systemtheorie eher anwendungsorientiertes, Standbein der konstruktionsmethodischen Forschungsaktivitäten am Fachgebiet ein, das später ebenfalls noch einmal intensiver aufgegriffen wurde.

LÜPERTZ (1974) konzentrierte sich zur gleichen Zeit auf Hilfsmittel, die dem Konstrukteur bei der Darstellung der gefundenen Lösungen nützlich sind. Bei der Entwicklung seiner neuen zeichnerischen Darstellungsart kam es ihm aber nicht auf das Ersetzen bewährter genormter Darstellungsarten an - vielmehr ergänzte er diese um eine Symbolik, die dem Konstrukteur die Darstellungsarbeit schon in der Konzept- und Entwurfsphase - also vor dem eigentlichen Anfertigen der technischen Zeichnung - wesentlich erleichtert und darüberhinaus das funktionale Zusammenwirken der Bauelemente besser erkennen läßt. Schon damals wies er darauf hin, daß seine Darstellungsart in Verbindung mit dem Einsatz von Computern zu einer erheblichen Reduzierung der Zeichenarbeit führt. Angesichts aktueller Rationalisierungsbemühungen in den Konstruk-

tionsabteilungen deutscher Maschinenbau-Unternehmen ein Hinweis, den aufzugreifen sich lohnen könnte.

MAYER (1975) war der Dritte der Konstruktionssystematik-Pioniere am Fachgebiet. Von der Elektromechanischen Konstruktion kommend, befaßte er sich mit Schutzsystemen in der Sicherheitstechnik und deren mathematischer Beschreibung. Dabei ging er weniger auf die gestalterische Ausführung von Schutzsystemen ein. Vielmehr entwickelte er auf der Grundlage eines kybernetischen Ansatzes eine allgemeine Vorgehensweise zur Synthese von Schutzsystemen für alle technischen Produkte, mit denen ein Mensch unmittelbar in Berührung kommen kann. Zugleich war damit das dritte Standbein der konstruktionsmethodischen Forschung am Fachgebiet entstanden: neben der Systemtheorie als methodischer Grundlage und dem Anwendungsgebiet Antriebstechnik stand nun die Sicherheitstechnik, deren verwandte Disziplinen in den folgenden Jahren die Forschung am Fachgebiet noch maßgeblich beeinflussen sollten.

Im Jahre 1976 stellte sich der "Disziplinen-Baum" der konstruktionsmethodischen Forschung am Fachgebiet folglich als "Dreibein" dar (vgl. Bild 2). Auf der Grundlage der Konstruktionslehre wurden damals unter Anwendung der Systemtheorie und Kybernetik Hilfsmittel für konstruktive Aufgaben in den Anwendungsbereichen Antriebstechnik und Sicherheitstechnik entwickelt.

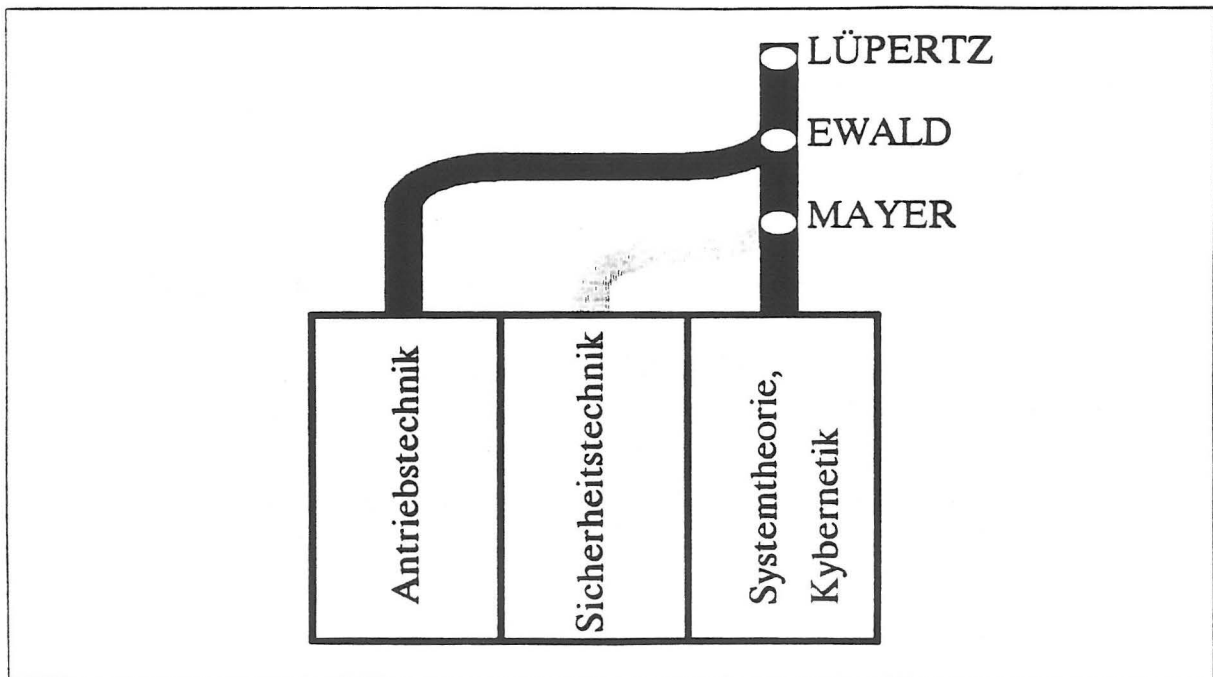


Bild 2: "Disziplinen-Baum" der konstruktionsmethodischen Forschung am Fachgebiet im Jahre 1976

Zeit der Konsolidierung

Die Pionierzeit wurde etwa um 1976 für wiederum rund acht Jahre von einer Zeit der Konsolidierung konstruktionsmethodischer Forschung am Fachgebiet abgelöst. Im Mittelpunkt standen nun Aktivitäten, um die Konstruktionsmethodik sowohl wissenschaftlich als auch in praxi zu etablieren. Wie die folgenden Ausführungen zeigen, war diese Zeit aber auch durch eine starke Orientierung an Produkten und Systemen gekennzeichnet, mit denen der Mensch im täglichen Leben unmittelbar in Berührung kommt.

Zunächst griff NEUDÖRFER (1980) den Ansatz EWALDS (1974) auf und realisierte eine konkrete Lösungssammlung, einen Konstruktionskatalog, für ein ganz bestimmtes Anwendungsgebiet. Dieses Anwendungsgebiet kam ursprünglich vom Institut für Arbeitswissenschaft unter Leitung von Prof. Rohmert und sollte von nun an auch am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik intensiv bearbeitet werden. Es handelte sich um die Ergonomie, also die Wissenschaft, die sich um eine Anpassung der Arbeit an den Menschen einerseits und um eine Anpassung des Menschen an die Arbeit andererseits bemüht. NEUDÖRFER (1980) versuchte natürlich nicht, den arbeitenden Menschen "konstruktiv" an das Produkt anzupassen, sondern er wandte sich dem anderen Zweig der Ergonomie zu und entwickelte eine tabellarische Lösungssammlung der Anzeiger und Bedienteile. Seine Dissertationsschrift wurde einmal von einem Wissenschaftlichen Mitarbeiter eines Design-Instituts der Universität Stuttgart, der sich auf der Suche nach einem Promotionsthema befand und auch uns einen Besuch abstattete, als "Pflichtlektüre" und "Standardwerk der Ergonomie" bezeichnet.

Gleichzeitig mit NEUDÖRFER waren UNLAND (1980) und STORANDT (1980) damit befaßt, Konstruktionssystematik und Ergonomie in der praktischen Produktentwicklung zu erproben, was unter anderem auch zu intensiven Kontakten mit Industrieunternehmen führte. In Verbindung mit der Wella AG, Darmstadt entwickelte UNLAND (1980) ein Zerstäubungsgerät für Haarlacke, dessen Besonderheit darin lag, daß es nicht auf umweltschädliche Treibmittel wie Fluorkohlenwasserstoffe angewiesen war. Er nutzte einen Ultraschallschwinger, um ein optimales Sprühbild zu erreichen. Angesichts der inzwischen gewonnenen Erkenntnisse über die lebensbedrohende Beeinträchtigung der Ozonschicht durch Fluorkohlenwasserstoffe hat diese Thematik bis heute nicht an Aktualität verloren.

Ebenso wie UNLAND hat auch STORANDT (1980) an einem Gebrauchsprodukt gearbeitet, mit dem der Mensch häufig in unmittelbarem Kontakt kommt. In Zusammenarbeit mit der GEZE GmbH, Leonberg konzipierte er, auch gestützt auf Vorarbeiten von VOOS und SLEDZIEJOWSKI, ein neuartiges Skibindungssystem, das die Verletzungsgefahr im Bereich der Unterschenkel reduzieren sollte. Das Konzept wurde bis hin zu einem Prototypen konkretisiert.

Die Zeit, in der die Konsolidierung der konstruktionsmethodischen Forschung im Vordergrund stand, endete dann mit den Forschungsarbeiten von SCHNEIDER (1985). Auch er griff den Ansatz EWALDS (1974) auf und entwickelte Konstruktionskataloge. Als Anwendungsgebiet bot sich, an-

gesichts der Aktivitäten der beiden anderen Richtungen am Fachgebiet (vgl. DÖRSAM 1991, RENNEISEN 1991) und der Vorarbeiten EWALDS, die Antriebstechnik an. Ergebnis seiner Arbeit waren zwölf, zum Teil in Zusammenarbeit mit dem Institut für Elektromechanische Konstruktion entwickelte, Kataloge für verschiedene Elemente der Antriebstechnik, vom mechanischen Huberzeuger über Getriebe, Kupplungen, Pumpen und Motoren bis hin zu Sekundärenergiespeichern. Die Besonderheit seiner Arbeit lag u. a. darin, daß er wichtige konstruktionsrelevante Daten als Relativangaben und auch Kosten und Bezugsquellen in die Zugriffsteile der Kataloge aufnahm.

Im Jahre 1985, nach dem Abschluß der Arbeit von SCHNEIDER (1985), war der "Disziplinen-Baum" der Konstruktionsforschung am Fachgebiet gefestigt. Das industrielle Anwendungsgebiet Antriebstechnik war durch die Feinwerktechnik und die Sicherheitstechnik durch die Ergonomie ergänzt worden. Nach wie vor bildete die Systemtheorie den roten Faden der Aktivitäten (vgl. Bild 3).

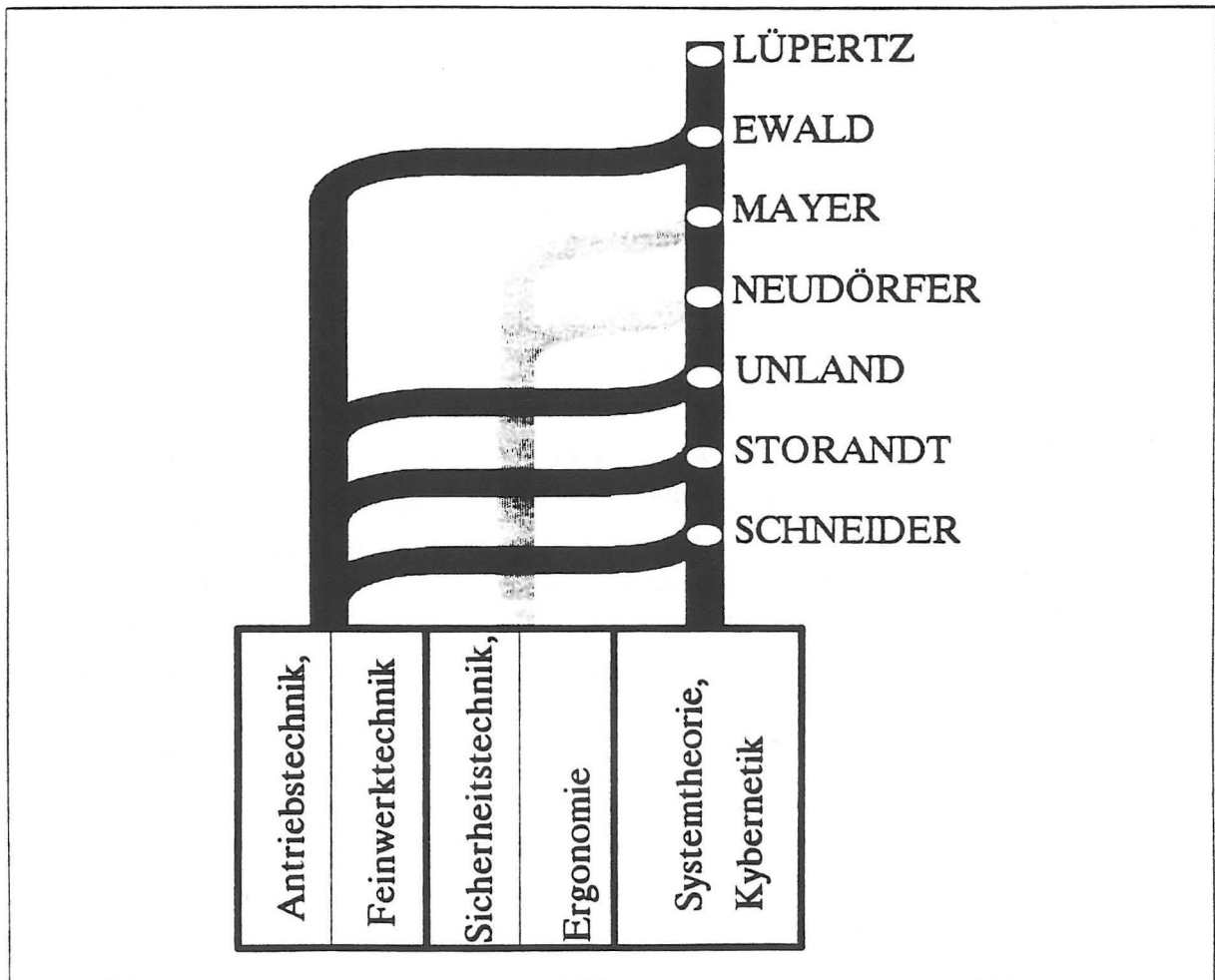


Bild 3: "Disziplinen-Baum" der konstruktionsmethodischen Forschung am Fachgebiet im Jahre 1985

Zeit der Exploration

Mitte der 80er Jahre geriet die konstruktionsmethodische Forschung in Deutschland ein wenig ins Stocken. Aus der Sicht der Forschung war die Zeit der Konstruktionskataloge abgeschlossen, der gewünschte breite Durchbruch der Konstruktionsmethodik in der praktischen Konstruktionsarbeit aber noch nicht gelungen. Dies hatte verschiedene Ursachen. Eine davon war sicherlich die, daß man bislang in der Methodikforschung den Anwender ein wenig vernachlässigt hatte. Hier ergab sich also ein neuer Ansatzpunkt für Forschungsaktivitäten.

Ein zweiter Ansatzpunkt resultierte daraus, daß Rechner in immer stärkerem Maße Einzug in die Konstruktionsbüros hielten und nicht nur für Zeichenarbeiten im Sinne graphischer Datenverarbeitung am Ende des Konstruktionsprozesses (CAD im engeren Sinne), sondern auch bereits beim Entwerfen und Konzipieren eingesetzt werden sollten. Bereits zu Beginn der 80er Jahre entstand am Fachgebiet beispielsweise eine Programmsammlung zur Berechnung von Maschinenelementen, die bis in die heutige Zeit Anklang in der Industrie findet.

Für die konstruktionsmethodische Forschung - nicht nur am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik - führten die neuen Ansatzpunkte zu einer Phase, die durch Exploration gekennzeichnet war. Man bemühte sich darum, auch Erkenntnisse aus anderen Disziplinen einzubringen.

BOEHME (1986) bezog als erster am Fachgebiet Ergebnisse denkpsychologischer Forschung, die erst wenige Jahre zuvor gewonnen worden waren, in seine Überlegungen ein. Seine Analysemethode zur Ermittlung ergonomiebezogener Schwachstellen in Mensch-Maschine-Systemen nahm in besonderer Weise Rücksicht auf die Person des Analytikers, auf seinen Kenntnisstand, seine Erfahrungen und seine Denkweise. Die Erprobung der Methode fand an Druckmaschinen der MAN Roland Druckmaschinen AG, Offenbach statt. Intensive Kontakte des Fachgebiets mit diesem Unternehmen sind also auch auf diese Zeit zurückzuführen. Daneben führte BOEHME (1986) eine umfassende Methodik-Recherche durch, die noch Anstoß für nachfolgende Forschungsaktivitäten werden sollte.

ROGLER (1987) wandte sich kurz darauf verstärkt dem Rechnereinsatz in der Konstruktion zu. Noch auf der Basis herkömmlicher, sogenannter prozeduraler Programmiersprachen entwickelte er ein Informationssystem für komplexe technische Systeme, das sich als Hilfsmittel zur Verarbeitung von Wissen in der Konstruktion verstand. Die Allgemeingültigkeit seines Ansatzes ermöglichte die Anwendung des Systems in so unterschiedlichen Wissensgebieten wie Dichtungstechnik, Fototechnik, Wälzlagertechnik und Didaktik.

Mit GUTBERLET (1990) hielt der Rechner dann vollends Einzug in die konstruktionsmethodische Forschung am Fachgebiet. Ausgehend von den Problemstellungen, die sich beim ergonomiegerechten Konstruieren ergeben und häufig vernachlässigt werden, entwickelte er ein Konzept zur Unterstützung des Konstrukteurs bei der Verarbeitung von Informationen. Wesentlicher Bestandteil dieses Konzepts war die Einbeziehung wissensbasierter Ansätze, wie sie zum Beispiel auch bei

der Entwicklung von Expertensystemen auftreten. Doch betonte GUTBERLET (1990) immer wieder, daß es nicht Ziel rechnerorientierter Konstruktionsforschung sein kann, den Konstrukteur durch einen selbständig konstruierenden Rechner zu ersetzen. Er verstand den Rechner vielmehr als einen Werkzeugkasten, aus dem sich der Konstrukteur nach Belieben mit den entsprechenden Werkzeugen versorgen kann. Dieses Grundverständnis der Rechneranwendung im Konstruktionsbüro nahm den seinerzeit stark aufkommenden Wissensbasierten Systemen bzw. Expertensystemen etwas von der Mystik "Künstlicher Intelligenz" und ermöglichte eine realistischere Einschätzung ihres Rationalisierungspotentials.

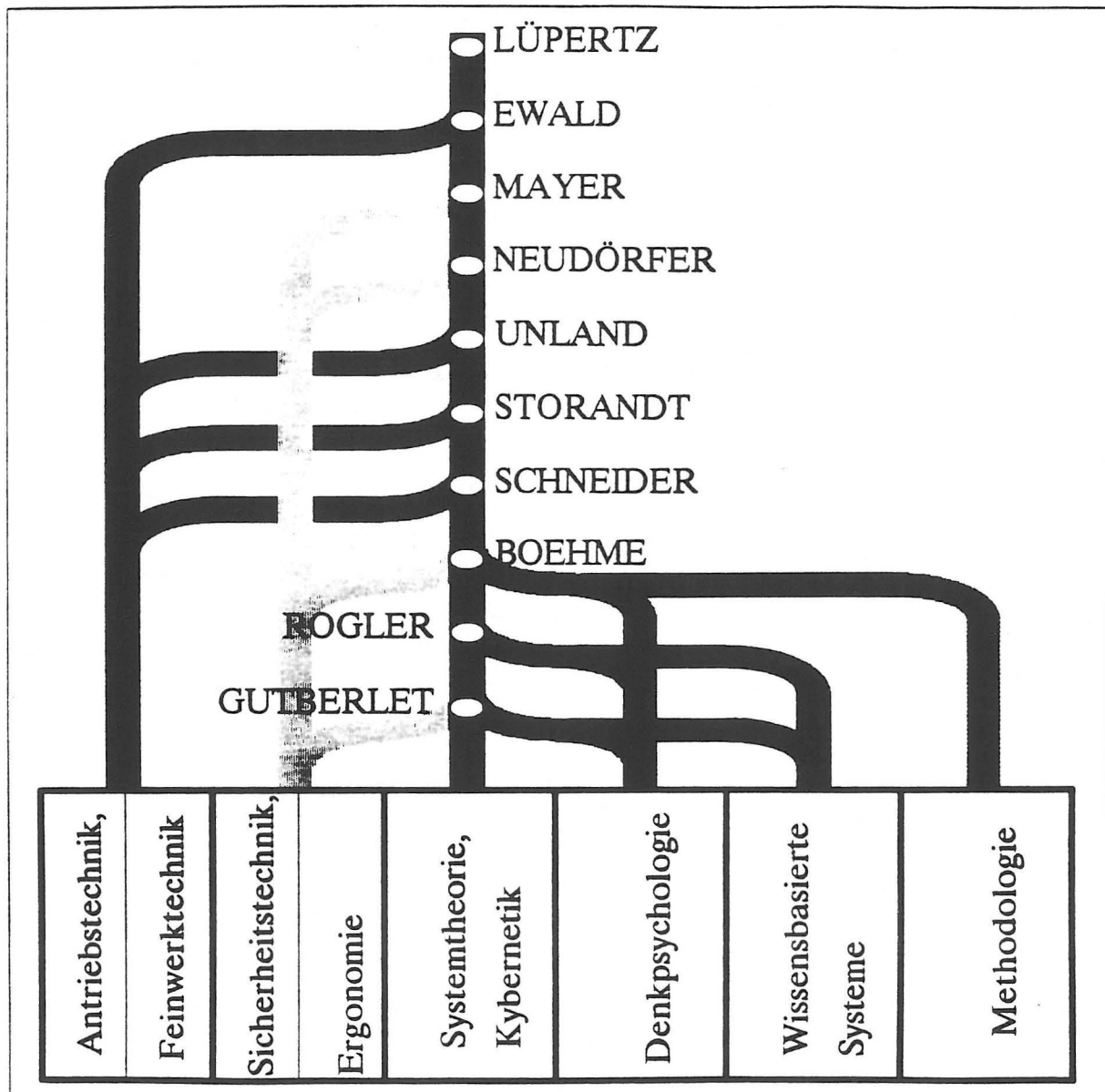


Bild 4: "Disziplinen-Baum" der konstruktionsmethodischen Forschung am Fachgebiet im Jahre 1990

Der "Disziplinen-Baum" der Konstruktionsforschung am Fachgebiet war nach den drei genannten Forschungsprojekten deutlich breiter geworden (vgl. Bild 4). BOEHME, ROGLER und GUTBERLET bezogen die Denkpsychologie ein, ROGLER und GUTBERLET außerdem den Ansatz

der Wissensbasierten Systeme und BOEHME die allgemeine Methodologie. Aber auch zu den bis 1985 berücksichtigten Anwendungsgebieten bestanden enge Beziehungen. So befaßten sich BOEHME und GUTBERLET nach wie vor mit der Ergonomie. Dies war also der Stand der konstruktionsmethodischen Forschung am Ende der 80er Jahre.

Phasen / Tätigkeiten	Aufgabe klären	Konzipieren	Entwerfen	Ausarbeiten
Informationen verarbeiten		← EWALD → ← ROGLER → ← GUTBERLET →		
Lösungen suchen		← MAYER → ← NEUDÖRFER → ← SCHNEIDER →		
Lösungen überprüfen u. bewerten			← BOEHME →	
Darstellen			← LÜPERTZ →	
konkrete Produktentwicklung		← UNLAND → ← STORANDT →		

Bild 5: Matrix der durch die konstruktionsmethodische Forschung am Fachgebiet unterstützten Konstruktionsphasen und -tätigkeiten

Der "Disziplinen-Baum" stellt allerdings nur die *Breite* der Aktivitäten bis Ende der 80er Jahre dar. Daraus wird nicht ersichtlich, in welchen *Phasen* des Konstruktionsprozesses und bei bei welchen *Tätigkeiten* der Konstrukteur durch die entwickelten Konzepte und Instrumentarien nun tatsächlich unterstützt wurde. Dies veranschaulicht Bild 5. Es zeigt eine Matrix, in deren Kopfzeile die Phasen des systematischen Konstruktionsprozesses aufgetragen sind, und deren Kopfspalte typische Tätigkeiten während dieses Prozesses enthält.

Die erste Phase (vgl. Kopfzeile in Bild 5) eines Konstruktionsprozesses ist in der Regel das Klären der Aufgabenstellung. Der Konstrukteur macht sich mit dem Konstruktionsproblem vertraut und stellt eine Anforderungsliste auf, sofern diese nicht bereits in der Aufgabenstellung enthalten ist. Die zweite Phase ist das Konzipieren. Hier muß der Konstrukteur die wichtigsten Funktionen des Produkts erkennen, das er konstruieren soll. Sodann muß er für die erkannten Funktionen prinzipielle Lösungen suchen und die Einzellösungen sinnvoll miteinander kombinieren. Daran schließt sich die Phase des Entwerfens an. Hier nehmen die Prinziplösungen konkrete geometrische und stoffliche Gestalt an. Der Konstruktionsprozeß endet mit der Ausarbeitungsphase, in der die Fertigungsunterlagen, wie Einzelteilzeichnungen und Stücklisten, erstellt werden müssen.

Die typischen Tätigkeiten, die der Konstrukteurs während eines solchen in Phasen eingeteilten Konstruktionsprozesses ausführt, sind (vgl. Kopfspalte in Bild 5):

- Informationen verarbeiten, d. h. sammeln, ordnen, speichern und abrufen,
- Lösungen suchen,
- Lösungen überprüfen und bewerten sowie schließlich
- Lösungen darstellen.

Man findet diese Tätigkeitsarten in allen vier Phasen des Konstruktionsprozesses. Schon beim Klären der Aufgabenstellung muß der Konstrukteur Informationen verarbeiten, "Lösungen" suchen, überprüfen und darstellen. Zwar sucht er hier noch nicht die endgültige Lösung seines kompletten Konstruktionsproblems aber beispielsweise die Lösung der Frage, welche Leistungsanforderungen das zu konstruierende Produkt erfüllen soll oder wer die zukünftigen Benutzer dieses Produkts sein sollen.

In die Felder der Matrix in Bild 5 sind die am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik entwickelten Konzepte und Instrumente zur Unterstützung der Konstruktionsarbeit nach den unterstützten Phasen und den unterstützten Tätigkeiten eingeordnet.

- Man erkennt, daß die grundlegende Arbeit von EWALD (1974) über tabellarische Lösungssammlungen als ein Hilfsmittel zur Informationsverarbeitung in den Phasen "Konzipieren" und "Entwerfen" eingeordnet ist.
- Die von NEUDÖRFER (1980) und SCHNEIDER (1985) entwickelten konkreten Konstruktionskataloge sind dagegen Hilfsmittel für die Lösungssuche in diesen beiden Phasen.
- Das von MAYER (1975) entwickelte Instrumentarium zur Synthese von Schutzsystemen findet sich ebenfalls im Tätigkeitsbereich Lösungssuche wieder. Anders als die Konstruktionskataloge ist es aber insbesondere in den Phasen "Aufgabe Klären" und "Konzipieren" einsetzbar.
- Phasenbezogen gilt dasselbe für die von ROGLER (1988) und GUTBERLET (1990) entwickelten rechnerunterstützten Konzepte. Auch diese sind schwerpunktmäßig in den Phasen "Aufgabe Klären" und "Konzipieren" einsetzbar. Die von beiden unterstützte Tätigkeitsart ist dagegen die Informationsverarbeitung.
- Die Arbeiten von BOEHME (1986) und LÜPERTZ (1974) eignen sich schließlich als Hilfsmittel für die Entwurfsphase. Während die Analyseverfahren von BOEHME (1986) das retrospektive Überprüfen einer konkreten Lösung im Hinblick auf ihre ergonomische Gestaltungsqualität

unterstützt, ist die neue zeichnerische Darstellungsart von LÜPERTZ (1974) für die Lösungsdarstellung gedacht.

Die Matrix in Bild 5 ist aber nicht nur eine Übersicht der konstruktionsmethodischen Forschung am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik, sondern sie kann gleichsam als Abbild der gesamten Konstruktionsforschung in Deutschland in den vergangenen 25 Jahren gesehen werden. Der Schwerpunkt lag eindeutig im Bereich der Konzeptphase, mit den übrigen Phasen befaßte man sich deutlich weniger. Berücksichtigt man ferner, daß die schattierte Spalte (Ausarbeitungsphase) und die schattierte Zeile (Darstellen) ein Forschungsgebiet markieren, das inzwischen weitgehend von der graphischen Datenverarbeitung beherrscht wird, bleiben im Bereich des Entwerfens und des Klärens der Aufgabenstellung weiße, durch die Forschung noch wenig bearbeitete Felder. Hier nun setzt die aktuelle Konstruktionsforschung am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik ein.

Aktuelle konstruktionsmethodische Forschung

Die aktuelle konstruktionsmethodische Forschung am Fachgebiet befaßt sich mit der ersten Phase des Konstruktionsprozesses, mit dem Klären der Aufgabenstellung. Eine wichtige Aufgabe, die innerhalb dieser Phase gelöst werden muß, ist es, herauszufinden, welche Eigenschaften ein Produkt aufweisen muß, damit es, wenn es später auf den Markt kommt, einen ausreichend großen Käuferkreis findet. Man bezeichnet diese Tätigkeit als "*Ermittlung von Produktanforderungen*". Allerdings ist die Anforderungsermittlung keine Aufgabe, die allein von Konstrukteuren zu erledigen wäre, sondern sie steht vielmehr als *Bindeglied* zwischen der dem Marketing zufallenden Aufgabe, die Bedürfnisse der potentiellen Kunden zu erforschen, und der eigentlichen Aufgabe der Konstruktion und Produktgestaltung, die geforderten Produkteigenschaften in konkrete (technische) Lösungen umzusetzen. Daher darf man die Anforderungsermittlung nicht nur aus der Sicht der Konstruktion betrachten, sondern es müssen auch die dem Konstruktionsprozeß vorgelagerten Bereiche Produktplanung und Marketing einbezogen werden. Deshalb bewegt sich die Forschung am Fachgebiet heute an der Schnittstelle zwischen den betriebswirtschaftlich orientierten Bereichen Produktplanung und Marketing einerseits sowie den technisch/naturwissenschaftlich orientierten Bereichen Produktentwicklung und Konstruktion andererseits.

Die Probleme, die in vielen Unternehmen an dieser Schnittstelle gelöst werden müssen, sind weitgehend bekannt:

- Bedürfnisse und Märkte verhalten sich dynamisch. Viele Produkte, die vor kurzer Zeit die Kundenwünsche noch optimal erfüllten, sind heute nur noch "Durchschnittsprodukte" und werden demnächst völlig vom Markt verschwunden sein. Anforderungen müssen aber bereits heute für Produkte der Zukunft ermittelt werden. Dieser dynamischen Entwicklung gerecht zu werden, bereitet die größten Probleme.

- Viele Mitarbeiter - seien sie nun technisch/naturwissenschaftlich oder kaufmännisch ausgebildet - sehen das Produkt und damit die Produkthanforderungen häufig nur aus ihrem Blickwinkel. Echte ganzheitliche Betrachtungen werden in den wenigsten Fällen angestellt.
- Entsprechend verhält es sich oft mit den Empfehlungen zur Vorgehensweise. Jeder Bereich - sei es Marketing oder Konstruktion - "schwört" auf seine eigenen Methoden und Hilfsmittel zur Anforderungsermittlung und lehnt die des jeweils anderen Bereichs ab.
- Terminologische Barrieren verhindern oder erschweren häufig die Verständigung bei der Ermittlung von Produkthanforderungen zwischen Marketing und Produktplanung auf der einen und Produktentwicklung und Konstruktion auf der anderen Seite.

Auch die Folgen, die diese Probleme - sofern sie nicht gelöst werden - für die Unternehmen nach sich ziehen, sind nicht unbekannt:

- Die Produktentwicklung nimmt zu viel Zeit in Anspruch, sodaß Wettbewerber mit ähnlichen Produkten schon früher auf dem Markt sind.
- Es findet sich kein ausreichend großer Käuferkreis für ein Produkt, weil es nicht genügend differenziert auf die Kundenbedürfnisse ausgerichtet wurde.
- Die Kosten für Beschaffung, Lagerhaltung, Fertigung, Vertrieb und Service im Laufe des Produktlebens steigen stark an, weil die Teilevielfalt infolge nachträglich entwickelter Produktvarianten überhandnimmt.

Dies sind nur wenige ausgewählte Beispiele negativer Auswirkungen einer magelhaften Anforderungsermittlung.

Die Problematik, mit der sich die aktuelle methodische Forschung am Fachgebiet befaßt, läßt sich also folgendermaßen umreißen: es geht darum, methodische Wege und Mittel zu finden und aufzuzeigen, mit denen man die Erarbeitung von Produkthanforderungen an der Schnittstelle zwischen Produktplanung und Produktentwicklung unterstützen und effektiver gestalten kann.

Ein besonderes Augenmerk muß dabei auf den methodischen Ansatz gelegt werden. Die Vergangenheit hat nämlich gezeigt, daß starre Ablaufpläne nicht auf die gewünschte Akzeptanz in der Praxis treffen. Man bemängelte, sie seien nicht genügend an der konkreten Problemstellung und an den Vorkenntnissen und Erfahrungen der Bearbeiter orientiert. Ein vielversprechender Ansatz wurde in der Entwicklung von Methodenbaukästen bzw. - wenn man einen Rechner dafür einsetzt - von Methodeninformationssystemen gesehen.

Bild 6 zeigt, wie ein solches Methodeninformationssystem prinzipiell aufgebaut ist. Es setzt sich aus drei Komponenten zusammen:

1. einem Situationsanalysator
2. einem Methodenspeicher und
3. einem Methodenselektor.

Der Situationsanalysator dient dazu, die jeweilige Problemsituation, in der eine Problemlösemethode benötigt wird, zu erfassen. In der Anforderungsermittlung hat er somit konkret die

Aufgabe, die mehr oder weniger unsystematisch formulierte Aufgabenstellung, z. B. "Ermittle alle relevanten Anforderungen an das Produkt!", und deren Umgebung als Input aufzunehmen, zu analysieren und als "profilierter Aufgabenstellung" wieder abzugeben. Dabei werden sehr unterschiedliche Aspekte einer Aufgabenstellung berücksichtigt, z. B.

- Art und Erscheinungsform der Aufgabenstellung,
 - Art und Entwicklungsstand des Produkts, für das Anforderungen ermittelt werden sollen,
 - Kenntnisse, Erfahrungen und Denkstile der mit der Anforderungsermittlung beauftragten Personen,
 - einsetzbare Geld- und Sachmittel,
 - Art des jeweils aktuellen Teilproblems der Anforderungsermittlung
- etc.

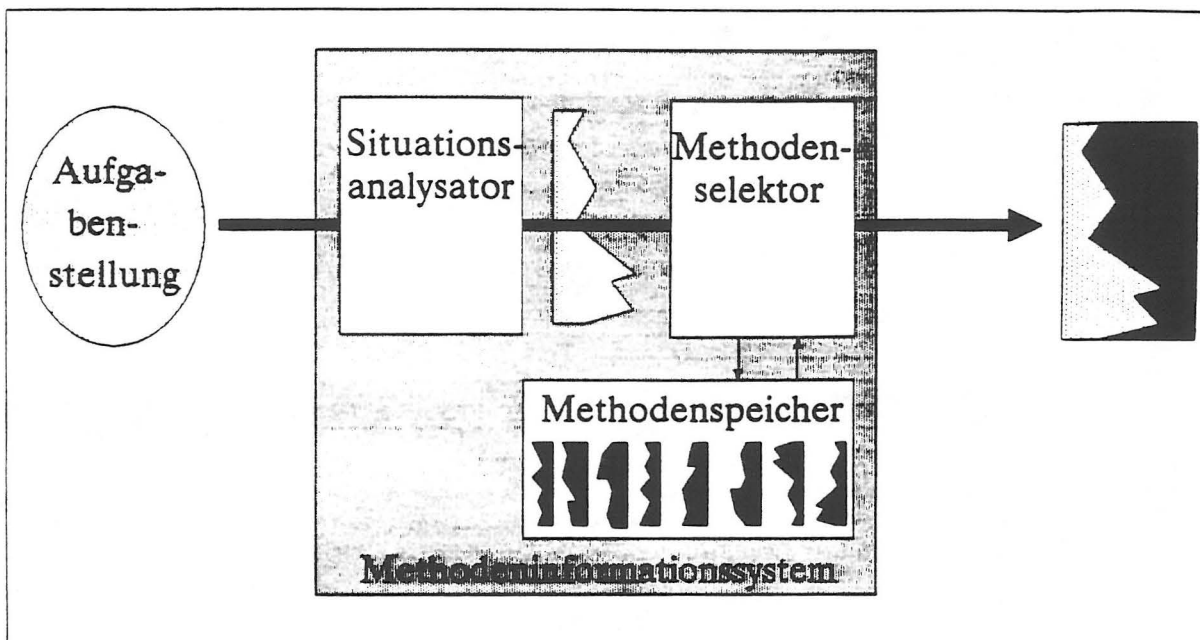


Bild 6: Grobkonzept eines Methodeninformationssystems für die Ermittlung von Produkthanforderungen

In der rechnergestützten Form ist der Situationsanalysator ein einfaches Dialogsystem, das seinem Benutzer konkrete Fragen stellt - z. B. (vgl. Bild 7) "In welcher Form liegt Ihnen die Aufgabenstellung vor?" - deren Antworten der Benutzer dann aus einer vom System vorgeschlagenen Liste auswählen kann.

Die am Ende der Situationsanalyse entstandene "profilierter Aufgabenstellung" stellt dann den Input des Methodenselektors dar. Er enthält das Know-how, das benötigt wird, um in einer bestimmten Problemsituation die richtige Problemlösemethode auszuwählen. Dieses Know-how liegt in Form von Wenn-Dann-Regeln vor, die aufgrund bestimmter vorliegender Situationseigenschaften die geeignete Problemlösemethode auswählen.

Dazu greift der Methodenselektor auf den Methodenspeicher zu. Seine Aufgabe besteht nur darin, die Methoden in geordneter Form bereitzuhalten. Da er im Idealfall alle bekannten Pro-

blemlöseverfahren speichert - z. Zt sind es erst etwa 100 -, ist er invariant über alle möglichen Probleme bzw. Aufgaben.

THD MuM
Methodeninformationssystem Anforderungsermittlung
Situationsanalyse

Abbruch

In welcher Form haben Sie die Aufgabenstellung erhalten?

Wählen Sie eine Antwortmöglichkeit und bestätigen Sie die Auswahl mit OK!

verbal mündlich
gegenständlich
graphisch
symbolisch
verbal_mündlich
verbal_schriftlich

OK **unbekannt**

Hilfe

Bild 7: Beispiel für einen Dialog-Bildschirm im Methodeninformationssystem

THD MuM
Methodeninformationssystem Anforderungsermittlung
ABC-Analyse

Abbruch

ABC-Analyse

**** Zweck:**

Die ABC-Analyse ist eine Methode der Prioritäten-
setzung. Mit ihrer Hilfe werden große Elemente-
mengen hinsichtlich eines bestimmten Kriteriums in
drei typische Gruppen zusammengefaßt. Zweck der
Methode ist es, durch prioritäre Betrachtung der A-
Gruppe, die z. B. 20% der Elemente enthält, jedoch
z. B. 80% zu diesem Kriterium (Umsatz, Kosten,
Gewicht u. ä.) beiträgt - somit stark überproportio-
nale Wichtigkeit besitzt - das gesamte Massen-
phänomen näherungsweise zu erfassen.

Nächste

Druck

Bild 8: Beispiel für eine Methodenbeschreibung aus dem Methodeninformationssystem

Nach Zuordnung einer Methode zur "profilierten Aufgabenstellung" verlassen beide den Methodenselektor und schließlich das Methodeninformationssystem als dessen Output.

Im rechnergestützten Methodeninformationssystem erhält man als Output eine einzelne oder eine Liste geeigneter Methoden, die nicht nur unter dem Aspekt der spezifischen Problemsituation bei der Anforderungsermittlung, sondern auch unter Berücksichtigung der Erfahrungen und des Denkstils der Anforderungsermittler sowie der einsetzbaren Geld- und Sachmittel ausgewählt wurde. Auf Wunsch liefert das Programm auch eine detaillierte Beschreibung der Methode(n) (vgl. Bild 8).

Man sieht also, daß am Fachgebiet z. Zt. ganz neue Wege der methodischen Unterstützung im Produktentwicklungsprozeß gegangen werden. Die Zukunft wird zeigen, ob solche Ansatz auf eine breite Akzeptanz in der Praxis treffen. Bislang konnten beim Einsatz des Systems in realen Anforderungsermittlungsprozessen jedenfalls gute Erfahrungen hinsichtlich des Eignungsgrades der vom System ausgewählten Methoden gemacht werden.

Weitere *Vorteile* gegenüber den bisherigen, ablauforientierten Methodikansätzen stellen sich zusammenfassend folgendermaßen dar:

- Durch die breite Methodenbasis kann das Programm über weite Strecken des Produktentwicklungsprozesses nutzbringend eingesetzt werden. Phasenbezogen reicht sein Einsatzfeld vom Zeitpunkt der Entscheidung, sich systematisch und methodisch mit der Entwicklung neuer oder mit der Überarbeitung bereits vorhandener Produkte zu befassen, über die konstruktionsvorbereitende Anforderungsermittlung bis hin zur Phase der Inbetriebnahme des neuen bzw. überarbeiteten Produkts, in der z. B. Fragen der Markteinführung, der Distribution, des Transports, der Montage und der Preisgestaltung methodisch zu klären sind.
- Breiter noch als das phasenbezogene Einsatzfeld ist das sachbezogene. Das Methodeninformationssystem kann in Entwicklungsprozessen für beliebige Produkte (auch für Dienstleistungen) unabhängig von Unternehmensstrukturen und Branchen eingesetzt werden. Es bestehen keinerlei Restriktionen in bezug auf Umfang des Entwicklungsprojekts, Anzahl sowie Ausbildung und Erfahrung der Projektbearbeiter, Projektorganisation, Projektdauer etc.

Die *einzelnen Module* des Programms bieten darüberhinaus folgende konkrete Nutzen für den Prozeß der Ermittlung von Produkthanforderungen:

- Der systematische und dialogorientierte Aufbau des Situationsanalysators unterstützt den Benutzer dabei, seine konkrete Aufgabenstellung zu präzisieren und sich Klarheit über die anstehenden Probleme zu verschaffen. Er fördert die Zerlegung des Prozesses der Anforderungsermittlung in Teilprobleme und gibt außerdem Hinweise zur Organisation dieses Prozesses.
- Die im Methodenspeicher enthaltenen Methodenbeschreibungen geben konkrete Hinweise zur Methodenanwendung beim Lösen der einzelnen Problemstellungen.

Weitere Vorteile, die möglicherweise erst in Zukunft zum Tragen kommen, sind folgende:

- Die im Methodenspeicher enthaltene Klassifizierung von derzeit rd. 100 allgemeinen Problemlöseverfahren ist nicht nur für den Produktentwicklungsprozeß nutzbar. Sie kann zur Methodenauswahl für jeden beliebigen Problemlöseprozeß verwendet werden.
- Das Grobkonzept des Methodeninformationssystems kann auf beliebige andere Aufgabenstellungen - ob im Rahmen des Produktentwicklungs-, des Konstruktions- oder anderer komplexer Problemlöseprozesse - übertragen werden. Der Methodenspeicher könnte in vollem Umfang genutzt, Situationsanalysator und Methodenselektor müßten nur teilweise überarbeitet werden.

Zum Abschluß der Darstellung aktueller methodischer Forschungsaktivitäten am Fachgebiet sei nun noch ein weiteres Mal der "Disziplinen-Baum" betrachtet (vgl. Bild 9). Die in den vergangenen fünf Jahren einbezogenen Disziplinen Denkpsychologie, Methodologie und Wissensbasierte Systeme wurden durch die Betriebswirtschaftslehre ergänzt. Nach wie vor bildet die Systemtheorie den roten Faden der Aktivitäten. Damit steht die Forschung am Fachgebiet heute auf einer breiten disziplinären Basis, die - will man auch in Zukunft Konstruktionsforschung betreiben - auch erforderlich ist, wie der folgende Ausblick auf die 90er Jahre zeigt.

Ausblick auf die Konstruktionsforschung der 90er Jahre

Hinsichtlich einer Ausrichtung der Konstruktionsforschung in den nächsten Jahren seien folgende Prognosen gewagt:

1. Qualität und Dauer von Produktentwicklungs- und Konstruktionsprozessen werden in Zukunft mehr noch als heute zu einem Erfolgsfaktor der Unternehmen werden. Um kürzere Entwicklungszeiten zu erreichen, muß sich die Anzahl der Entwicklungsschleifen verringern. Außerdem müssen frühzeitig im Entwicklungsprozeß qualitätssichernde Maßnahmen und Kontrollpunkte - nicht zuletzt wegen der verschärften Produkthaftung - eingeführt werden. Berücksichtigt man ferner, daß andere funktionale Bereiche, wie Materialwirtschaft, Produktion, Marketing und Vertrieb, ebenfalls höhere Anforderungen an die Konstruktion stellen, ist eine weitgehende Öffnung der Produktentwicklung und Konstruktion gegenüber den anderen Bereichen erforderlich. In diesem Zusammenhang werden die Begriffe "Simultaneous Engineering" und "Integrierte Produktentwicklung" ihren Schlagwortcharakter verlieren. Die fernöstliche Konkurrenz diktiert uns, sie zu zentralen Aktionsbereichen der Unternehmen zu machen.
2. Die Konstruktionsforschung wird sich darauf einstellen und auch in den nächsten Jahren durch Exploration gekennzeichnet sein. Bereits heute erforscht man intensiv, welche Denkvorgänge in den Köpfen von Konstrukteuren beim Konstruieren ablaufen. In Zukunft wird man mehr und mehr auch betriebswirtschaftliche und management-theoretische Aspekte einbeziehen müssen.
3. Die Konstruktionsphasen "Klären der Aufgabe" und "Entwerfen", die bislang vernachlässigt wurden, werden in den Mittelpunkt der Aktivitäten rücken.

4. Der Rechner ist aus der Konstruktion nicht mehr wegzudenken. Zukünftige Konzepte müssen sich an den hard- und softwaretechnologischen Möglichkeiten orientieren. Umgekehrt müssen auch Hard- und Software-Entwickler stärker als bisher auf die Aufgabenstellungen in Produktentwicklung und Konstruktion Rücksicht nehmen.

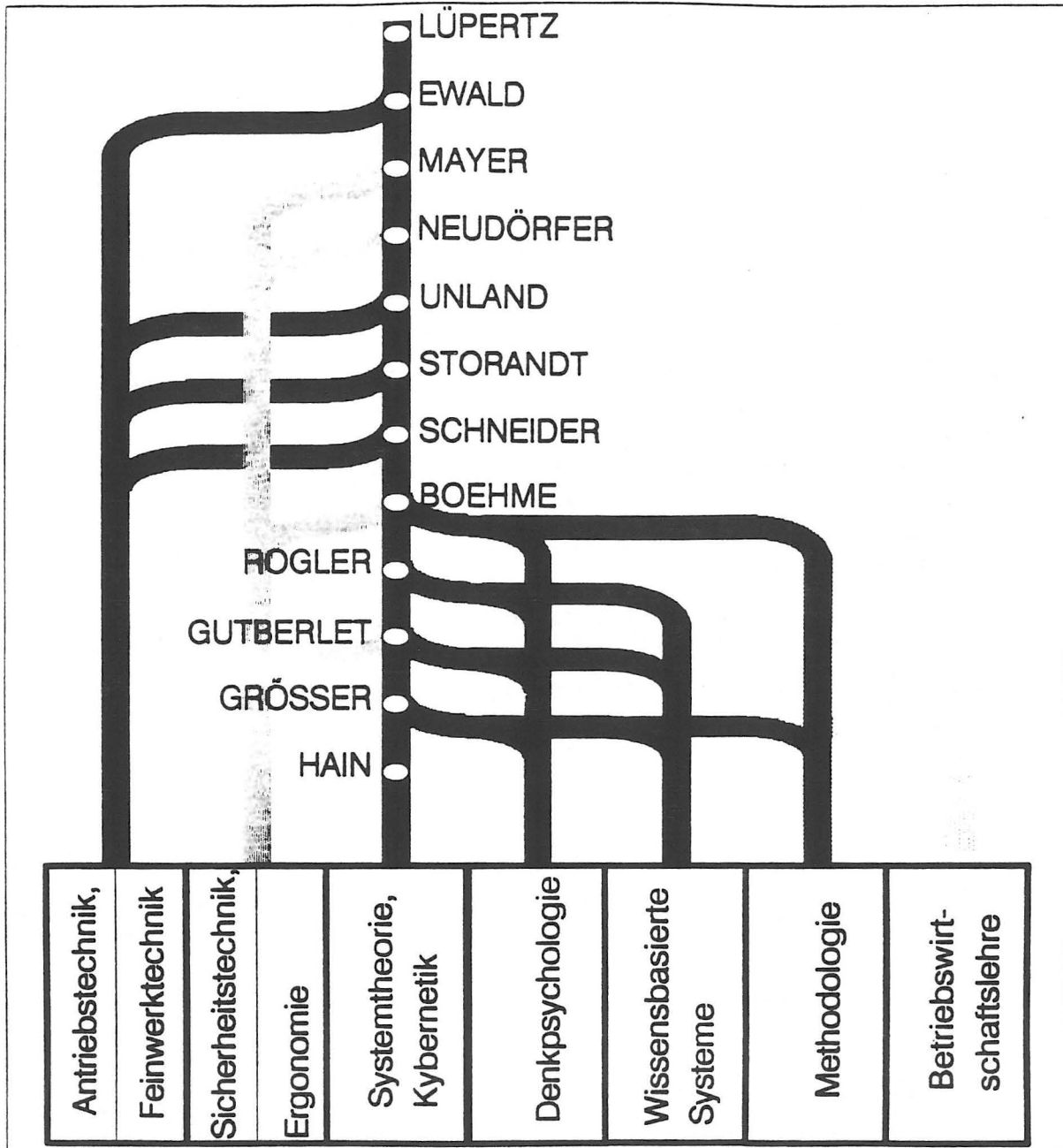


Bild 9: "Disziplinen-Baum" der konstruktionsmethodischen Forschung am Fachgebiet im Jahre 1991

Literaturhinweise

Am Fachgebiet erstellte und im Text erwähnte Dissertationen:

- BOEHME, Andreas: Entwicklung einer heuristischen Analyse- methode zur Ermittlung ergo- nomiebezogener Schwachstellen in Wirksystemen, Diss. Darmstadt, 1987.
- EWALD, Otto: Tabellarische Lösungssammlung als Hilfsmittel für das methodische Konstruieren, Diss. Darmstadt, 1974.
- GUTBERLET, Thomas: Konzeptentwicklung zur informationellen Unterstützung ergonomie- gerechten Konstruierens unter Einsatz rechnergestützter Wissensverarbeitung, Diss. Darmstadt, 1990.
- LÜPERTZ, Henning: Neue zeichnerische Darstellungsart zur Rationalisierung des Konstruktions- prozesses vornehmlich bei methodischen Vorgehensweisen, Diss. Darmstadt, 1974.
- MAYER, Ernst: Das Schutzsystem, ein Element der mittelbaren Sicherheitstechnik aus kyberne- tischer und systemtheoretischer Sicht, Diss. Darmstadt, 1975.
- NEUDÖRFER, Alfred, Gesetzmäßigkeiten und systematische Lösungssammlungen der Anzeiger und Bedienteile, Diss. Darmstadt, 1980.
- ROGLER, Ernst: Entwicklung und Einsatz eines lernfähigen rechnergestützten Informations- systems für komplexe technische Systeme als Hilfsmittel zur Wissensverarbeitung, Diss. Darmstadt, 1988.
- SCHNEIDER, Jürgen: Konstruktionskataloge als Hilfsmittel bei der Entwicklung von Antrieben, Diss. Darmstadt, 1985.
- STORANDT, Ralf: Systematische Untersuchung zur Verbesserung des Verletzungsschutzes im alpinen Skilauf und Konzeption eines neuen Skibindungssystems, Diss. Darmstadt, 1980.
- UNLAND, Georg: Entwicklung eines Ultraschallzerstäubungsgeräts mit Hilfe der Konstruktions- systematik, Diss. Darmstadt, 1980.

Literaturhinweise zur aktuellen Konstruktionsforschung:

- DÖRNER, Dietrich: Problemlösen als Informationsverarbeitung, 2. Aufl., Stuttgart: Kohlhammer, 1979.
- DÖRNER, Dietrich u. a.: Lohhausen - Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität, Bern, Stuttgart und Wien: Huber, 1983.
- GRÖßER, Horst: Systematische rechnergestützte Ermittlung von Produkthanforderungen, Interner Bericht am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik, Technische Hochschule Darmstadt, 1991.
- MÜLLER, Johannes: Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften - Systematik, Heuristik, Kreati- vität, Berlin usw.: Springer, 1990.
- PAHL, Gerhard u. Wolfgang BEITZ: Konstruktionslehre - Handbuch für Studium und Praxis, 2. Aufl., Berlin usw.: Springer, 1986.
- PFOHL, Hans-Christian: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, Berlin, New York: de Gruyter, 1977.
- ROPOHL, Günter: Eine Systemtheorie der Technik - Zur Grundlegung der Allgemeinen Techno- logie, München und Wien: Hanser, 1979.

Die Beanspruchungen von genuteten Wellen und Paßfederverbindungen

- Untersuchungsmethoden und Ergebnisse -

von Armin Renneisen

1. Einleitung

Obwohl in jüngster Zeit die Forderung nach dynamisch hoch belastbaren Welle-Nabe-Verbindungen zugenommen hat, ist der Einsatz der für die Übertragung quasi statischer Drehmomente geeigneten Paßfederverbindungen nach wie vor weit verbreitet. Besonders in den Bereichen des Industrie- und Großgetriebebaus sowie im Elektromotorenbau findet sie wegen der einfachen Herstellung und Montage bzw. Demontage Verwendung.

Die sichere Dimensionierung und Gestaltung einer Welle-Nabe-Verbindung erfordert umfassende Kenntnisse über die Beanspruchungen und Versagensmechanismen. Für den Fall der Paßfederverbindung existieren Berechnungsansätze, die jedoch den realen Beanspruchungen nicht in ausreichendem Maße genügen. Daher wird einerseits häufig versucht, diese Unsicherheiten durch Einfügen von hohen Sicherheitsfaktoren zu kompensieren, was zur Folge hat, daß unnötig hohe Kosten entstehen. Andererseits können durch die Unsicherheiten bei der Berechnung, in manchen Fällen aber auch Schadensfälle auftreten, die hohe Folgekosten nach sich ziehen.

Eine Auswertung der Literatur zeigt, daß zwar zum Thema Paßfederverbindung viele Untersuchungen existieren, daß sich die Untersuchungen zum einen vielfach nur auf die genutete Welle, zum anderen überwiegend auf den Lastfall der Torsion beziehen.

Am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik werden seit 1979 Untersuchungen zur Problematik der Paßfederverbindung durchgeführt, deren Ergebnisse im folgenden näher dargestellt werden sollen. Hierbei wird auch auf die verwendeten Untersuchungsmethoden und deren Möglichkeiten eingegangen.

2. Auslegung von Paßfederverbindungen

Die Auslegung einer Paßfederverbindung nach DIN 6885 /3/ erfordert von dem Konstrukteur die Berücksichtigung einer Vielzahl von Parametern. Nach der Festlegung des Wellendurchmessers und der Auswahl der Nutform, sind durch die DIN 6886 die geometrischen Abmessungen der Wellennut festgelegt. Eine Ausnahme hiervon bildet die Verbindungslänge, die aufgrund der Flächenpressung ermittelt wird (vergl. Glg. 2.1). Nicht unterstützt wird der Konstrukteur bzgl. der Gestaltung der Welle und Nabe im Bereich der Paßfederverbindung.

Die Berechnung der Paßfederverbindung beschränkt sich dementsprechend auf die zwischen Paßfeder und Welle bzw. Paßfeder und Nabe auftretende Flächenpressung. Vereinfacht wird hierbei angenommen, daß an den Kontaktstellen eine über die Fläche konstante Flächenpressung auftritt. Mit den in Bild 2.1 festgelegten Bezeichnungen gilt für die Flächenpressung:

$$P_n = \frac{2 \cdot M_t}{D \cdot (h - t_1) \cdot L_{tr} \cdot i \cdot k_{tr}} \quad (2.1)$$

(i: Anzahl der Paßfedern am Umfang; k_{tr} : Traganteil der Paßfedern)

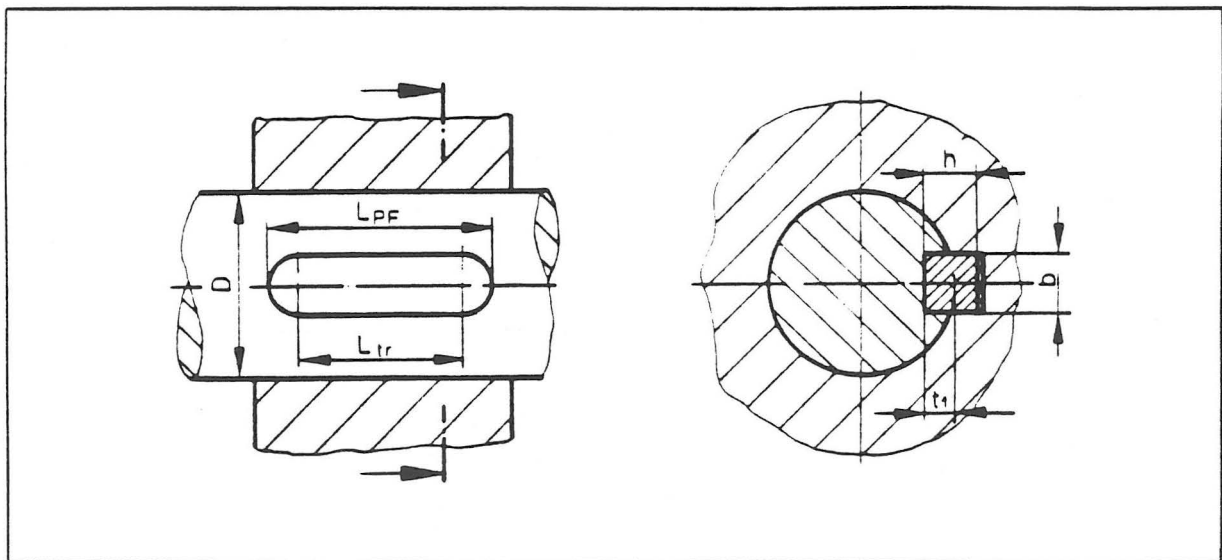


Bild 2.1: Paßfederverbindung nach DIN 6885 /3/ (Nutform N1-Schaftfräsernut)

Durch Umformen der Gleichung 2.1 kann, unter Berücksichtigung der Werkstoffe der Verbindung, durch Vorgabe der zulässigen Flächenpressung die zur Übertragung des Momentes erforderliche Paßfederlänge berechnet werden.

MILITZER [7] konnte in seiner Arbeit jedoch nachweisen, daß die Annahme einer gleichmäßigen Flächenpressungsverteilung nicht die tatsächlichen Kontaktverhältnisse wiedergibt. Er erarbeitete ein Rechenprogramm, welches die Ermittlung der vorliegenden Flächenpressungsverteilung erlaubt und überprüfte seine Ergebnisse mit spannungsoptischen Versuchen. Bild 2.2 gibt die in seiner Arbeit erzielten Ergebnisse wieder.

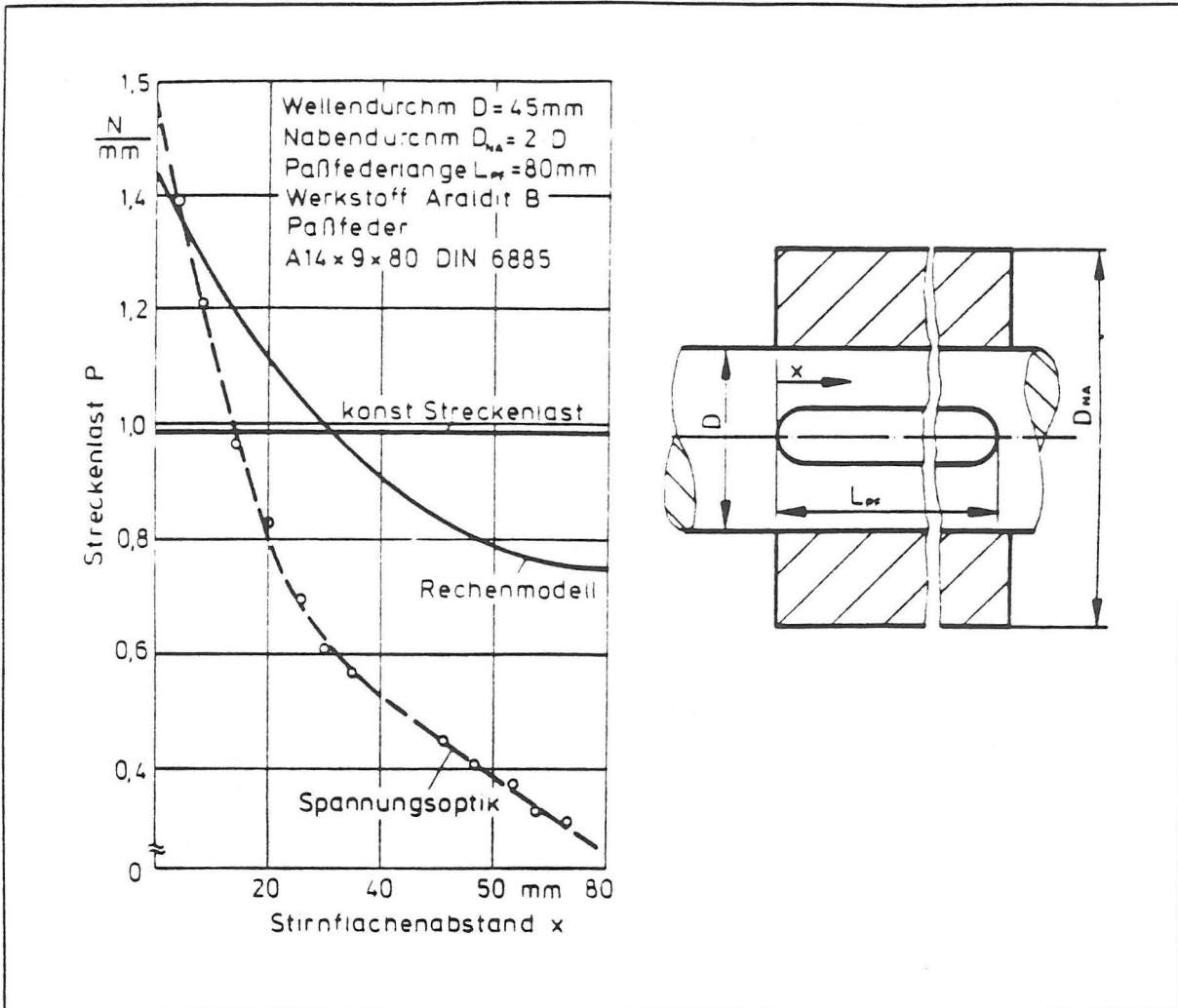


Bild 2.2: Theoretisch und experimentell ermittelte Flächenpressungsverteilung einer Paßfeder-
verbindung (aus MILITZER [7]; Nutform N1)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß es mit Hilfe der bekannten Literatur nicht möglich ist, umfassend die Beanspruchungen und Lebensdauern von Paßfederverbindungen zu beurteilen. In den Lehrbüchern über Maschinenelemente werden jeweils nur Teile der Arbeitsschritte zur Paßfederauslegung wiedergegeben, eine Abgrenzung der Gültigkeitsbereiche der Spannungsform- und Kerbwirkungszahlen findet nicht oder nur begrenzt statt. Weiterhin sind keine Hinweise auf Schwingungverschleiß innerhalb der Verbindung zu finden, der nach neueren Erkenntnissen einen entscheidenden Einfluß auf die Lebensdauer einer Verbindung haben kann.

3. Untersuchungsmethoden

Im folgenden werden die am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik eingesetzten Verfahren der Spannungsanalyse und der dynamischen Untersuchungen näher erläutert.

3.1 Spannungsanalyse mit Hilfe der Spannungsoptik

Im Bereich der Spannungsoptik werden am Fachgebiet die Verfahren der ebenen und räumlichen Spannungsoptik eingesetzt. Bei diesen Verfahren wird der spannungsdoppelbrechende Effekt verschiedener transparenter Werkstoffe ausgenutzt. Polarisiertes Licht wird beim Durchgang durch ein belastetes Modell aus solchen Werkstoffen in Komponenten in Richtung der Hauptdehnungen bzw. Hauptspannungen aufgespalten (vergl. Bild 3.1)

Beide Komponenten durchlaufen den Körper mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, so daß sie ihn mit einer Wegdifferenz Δs verlassen. Diese Wegdifferenz ist im elastischen Bereich der Differenz der Hauptspannungen und der Modelldicke d proportional.

$$s \sim (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot d \quad (3.1)$$

Die Betrachtung im polarisierten Licht zeigt nun zwei Arten von Interferenzlinien: die sogenannten Isochromaten, die diejenigen Punkte des Modells verbinden, an denen die gleiche Hauptspannungsdifferenz auftritt und die Isoklinen als Linien gleicher Hauptspannungsrichtung. Erstere entstehen, wenn bei gekreuzt stehenden Polfiltern der beschriebene Gangunterschied Δs der beiden Lichtwellen nach dem Modell der Lichtwellenlänge einem Vielfachen der Wellenlänge entspricht. Die sich einstellende Isochromatenordnung bezeichnet man mit δ .

$$\delta = \frac{\Delta s}{\lambda} \quad (3.2)$$

Durch die Einführung einer Proportionalitätskonstanten S , die vom Modellwerkstoff und der verwendeten Lichtwellenlänge abhängt, erhält man unter Verwendung der Gleichungen (3.1) und (3.2) die spannungsoptische Hauptgleichung:

$$(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{\delta \cdot S}{d} \quad (3.3)$$

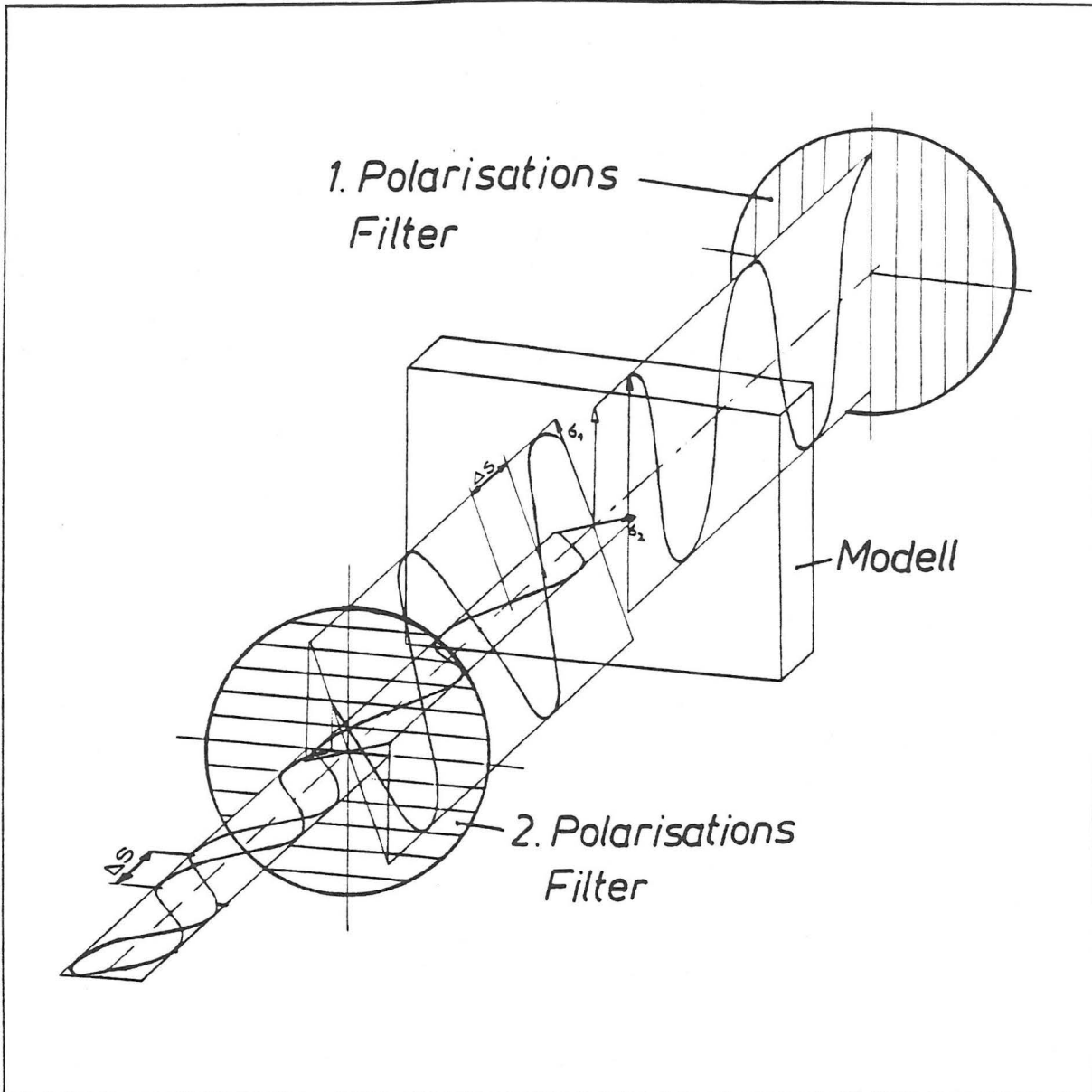


Bild 3.1: Spannungsdoppelbrechung im ebenen Modell (aus OLDENDORF /8/)

Die zweite Art der oben genannten sichtbaren Interferenzlinien, die Isoklinen, sind Linien gleicher Hauptspannungsrichtung. Diese Linien verbinden alle Punkte im Modell, für die eine Hauptspannungsrichtung mit der Polarisationsrichtung des Lichts übereinstimmt.

In der Mehrzahl der Fälle wird für die Untersuchung der Paßfederverbindungen die räumliche Spannungsoptik eingesetzt.

Als Modellwerkstoff findet ein wärmhärtendes Epoxidharz, Araldit B (CIBA GEIGY GmbH), Verwendung. Zur Herstellung der Modelle von Paßfederverbindungen werden zunächst Halbzeuge für Wellen und Naben gegossen, die anschließend spanend bearbeitet werden. Beim Gießvorgang muß auf eine exakte Temperaturführung geachtet werden, da schon geringe Abweichungen zur Ausbildung von sogenannten "Nulleffekten" führen können. Diese Nulleffekte entstehen beim Vergießen durch ein Ausrichten der regellos verteilten Molekülketten, hervorgerufen durch Gravitation oder Konvektionsströmungen.

Versuche von PERSEKE /9/ zum Genauigießen der Modelle ergaben sowohl hinsichtlich der Meßgenauigkeit als auch in Bezug auf die optische Qualität keine befriedigenden Ergebnisse.

Für die räumliche Spannungsoptik wird der Effekt des stark abfallenden Elastizitätsmoduls von Araldit B mit zunehmender Temperatur ausgenutzt. Ein aufgebrachtter Verzerrungszustand bleibt nach Überschreitung der Erweichungstemperatur (ca. 150°C) und anschließender Abkühlung unter Last auf Raumtemperatur auch dann erhalten, wenn das Modell entlastet und zerteilt wird. Dieses Zerteilen wird dann nötig, wenn der Spannungszustand im Modell bezogen auf die Durchstrahlungsrichtung nicht konstant ist. Durch Zerlegung des Modells in Schnitte von wenigen Millimetern kann diese Konstanz aber näherungsweise erreicht werden.

Die Vielzahl der für die spannungsoptische Auswertung zur Verfügung stehenden Verfahren, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, sind ausführlich in den Lehrbüchern von FÖPPL/MÖNCH /4/ und WOLF /15/ beschrieben.

3.2 Spannungsanalyse mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente

Erste Untersuchungen mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik wurden von PERSEKE /9/ durchgeführt. Hierzu verwendete er das am Fachgebiet Maschinenelemente und Getriebe der Technischen Hochschule Darmstadt entwickelte Programmsystem STATAN /12/. In ebenen Berechnungen ermittelte er die Formzahlen für Biegebelastung beim Zusammentreffen von Wellenabsatz und Paßfedernut. Bild 3.2 zeigt die von ihm gewählte FEM Netzstruktur.

Das Niveau der mit der Methode der Finiten Elemente berechneten Formzahlen lag in etwa 15% über dem der spannungsoptisch ermittelten Werte (vergl Kap. 4.2, Bild 4.6).

Derzeit werden vom Autor Berechnungen an Paßfederverbindungen unter Berücksichtigung der auftretenden Kontaktprobleme durchgeführt. Hierbei erweisen sich die richtige Wahl der Randbedingungen und Durchführung der Kontaktrechnung als relativ schwierig. Berechnungen an zweidimensionalen Modellen mit Hilfe des FEM-Programms ADINA /1/ haben gezeigt, daß für einfache Modelle unter Berücksichtigung der gegebenen Fehlerquellen eine gute Übereinstimmung der experimentell und rechnerisch ermittelten Ergebnisse zu erzielen ist (vergl. Bild 3.3).

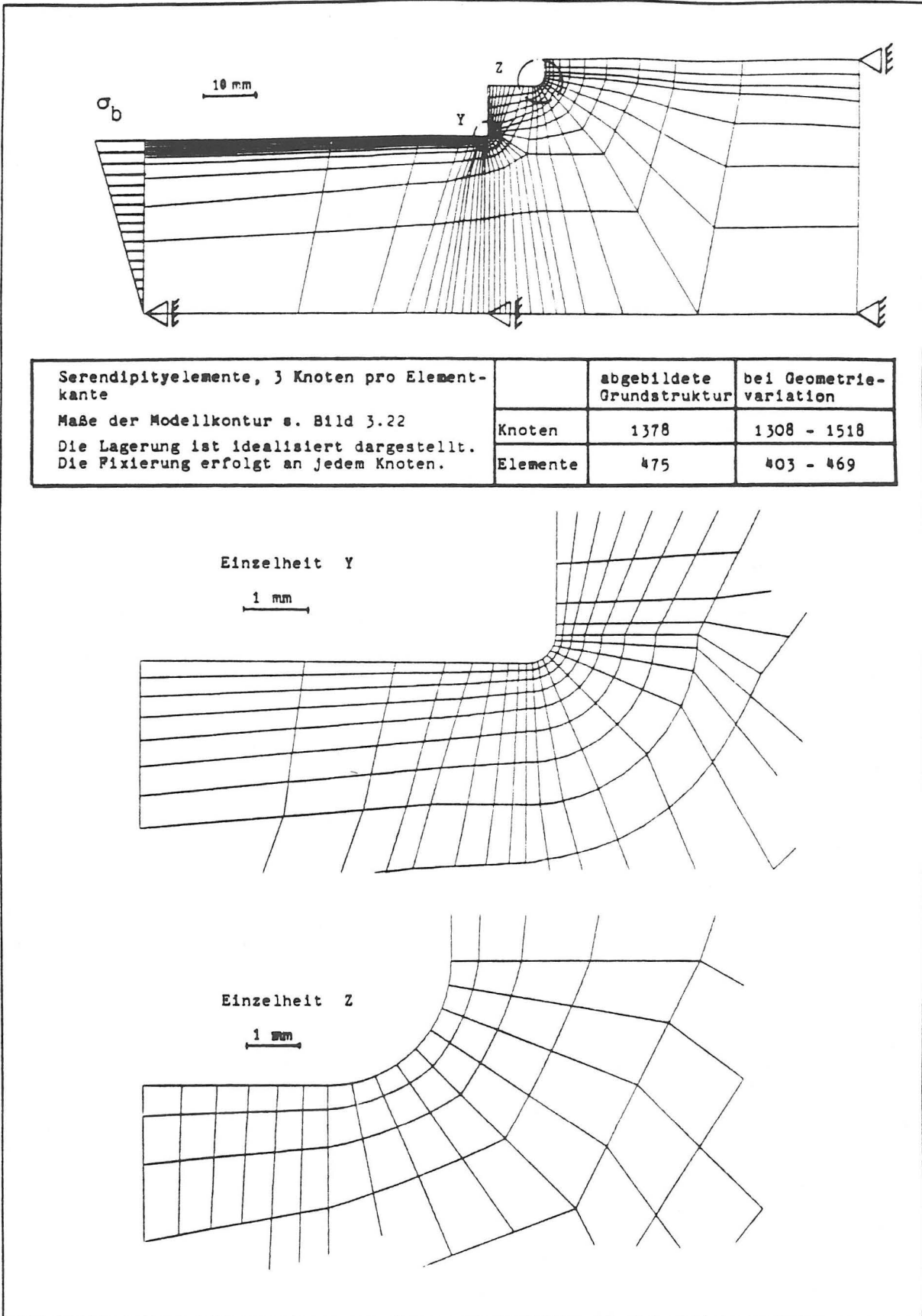


Bild 3.2: Netzeinteilung und Randbedingungen für die FE-Untersuchungen (aus PERSEKE /9/)

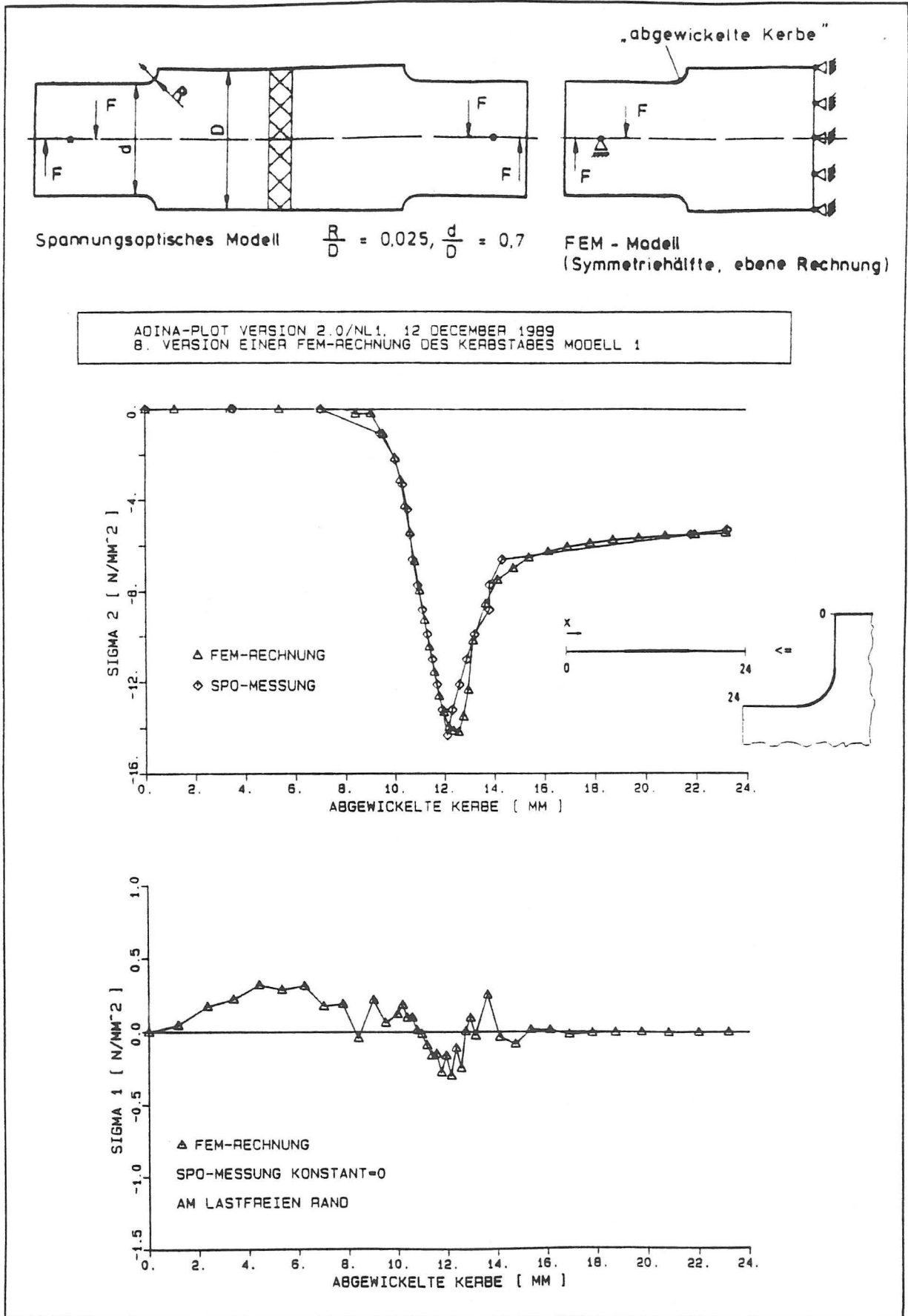


Bild 3.3: Verlauf der Hauptspannungen im Ausrundungsradius eines Wellenabsatzes (ebene Untersuchungen; $\sigma_{bNenn} = 5,3 \text{ N/mm}^2$ - aus OLDENDORF /8/)

Komplexere Probleme, die den Bereich der Kontaktrechnung beinhalten, waren mit dem Programm ADINA aufgrund auftretender Konvergenzprobleme der Rechnung und der vergleichsweise hohen Rechenzeiten auf der zur Verfügung stehenden Rechneranlage (VAX 11/750) nicht mehr ohne Einschränkungen zu lösen.

Die weiteren Untersuchungen zu dieser Problematik werden augenblicklich auf dem Hochschulrechner (IBM 3090) der Technischen Hochschule Darmstadt unter Verwendung des Programmsystems MARC K4 durchgeführt. Die zweidimensionale Berechnung einer Paßfederverbindung (prismatischer Bereich) unter Torsionsbelastung mit Berücksichtigung auftretender Kontakte bzw. Reibung konnte so gelöst werden. Weitere Untersuchungen müssen nun zeigen, ob die Abbildung und Berechnung des dreidimensionalen Modells, aufgrund sehr stark ansteigender Rechenzeiten, ohne größere Einschränkungen durchgeführt werden kann.

3.3 Schwingfestigkeitsuntersuchungen

Im Rahmen der Forschung an genuteten Wellen und Paßfederverbindungen, wurden am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik auch dynamische Untersuchungen durchgeführt.

PERSEKE /9/ führte Versuche zur Umlaufbiegung und Wechseltorsion an genuteten Wellen durch. Er konnte auf Prüfmaschinen des Fachgebietes Werkstoffkunde der Technischen Hochschule Darmstadt bzw. der Materialprüfungsanstalt Darmstadt zurückgreifen.

ZANG /16/ setzte für seine Zeitfestigkeitsversuche an Paßfederverbindungen einen 200-kN-Vertikalpulser des Fachgebietes Maschinenelemente und Maschinenakustik (Fa. Schenck, Darmstadt) mit einer Verdrehrichtung PETT (Fa. Schenck, Darmstadt) ein. Mit dieser Maschine war sowohl die Prüfung der Probe unter reiner Torsions- Wechselbeanspruchung, als auch unter Wechsel- bzw. Schwellbeanspruchung mit beliebig überlagerter statischer Mittelspannung möglich.

WEIGAND /13/ konstruierte für seine Untersuchungen einen Verspannungsprüfstand in Anlehnung an Prüfstandskonzepte von BRAISCH /2/ und RAAB /11/.

Mit diesem Prüfstand können Welle-Nabe-Verbindungen, hier im speziellen Fall Paßfederverbindungen, unter Umlaufbiegung und Umlaufbiegung mit überlagerter statischer Torsion geprüft werden. WEIGAND /13/ untersuchte mit Hilfe dieses Prüfstandes das Schwingfestigkeitsverhalten von Paßfederverbindungen unter Umlaufbiegung.

Eine Prinzipskizze dieses Prüfstands zeigt Bild 3.2.

Heute wird dieser Prüfstand für Untersuchungen an Paßfederverbindungen unter dem Lastfall Umlaufbiegung mit überlagerter statischer Torsion eingesetzt. In nächster Zukunft wird als Ergänzung ein weiterer Prüfstand aufgebaut werden, der die Prüfung von Paßfederverbindungen mit größerem Wellendurchmesser und höherer Torsionsbelastung ermöglicht.

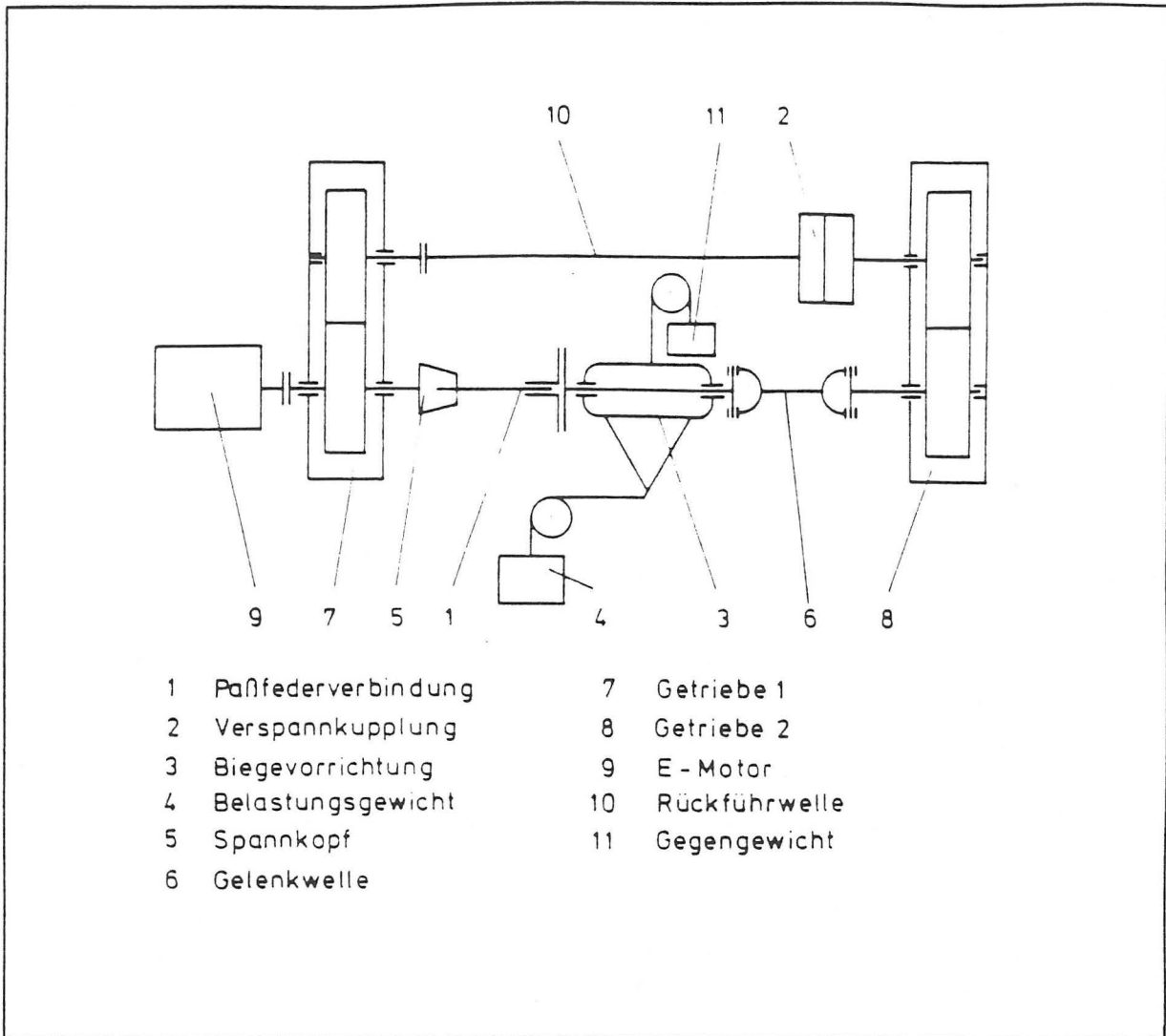


Bild 3.4: Prinzipskizze des Verspannungsprüfstands (WEIGAND /13/)

4. Bisherige Forschungsergebnisse

Die nachstehenden Ergebnisse bisher durchgeführter Untersuchungen an genuteten Wellen bzw. Paßfederverbindungen werden getrennt nach den jeweiligen Lastfällen dargestellt. So wird zwischen den Beanspruchungen der Welle durch Torsion und durch Biegung unterschieden.

4.1 Wellenbeanspruchungen durch Torsion

Viele Untersuchungen zum Lastfall Torsion sind an genuteten Wellen, ohne Berücksichtigung der auftretenden Kontaktzonen an den bei der Kraftübertragung beteiligten Bauteilen, durchgeführt worden. Die aus diesen Arbeiten hervorgehenden Spannungsformzahlen beziehen sich meist auf den prismatischen Bereich der Paßfedernut.

Bild 4.1 zeigt eine genutete Welle (Nutform N1) mit der Bezeichnung der verschiedenen Nutbereiche, auf die im folgenden Bezug genommen wird.

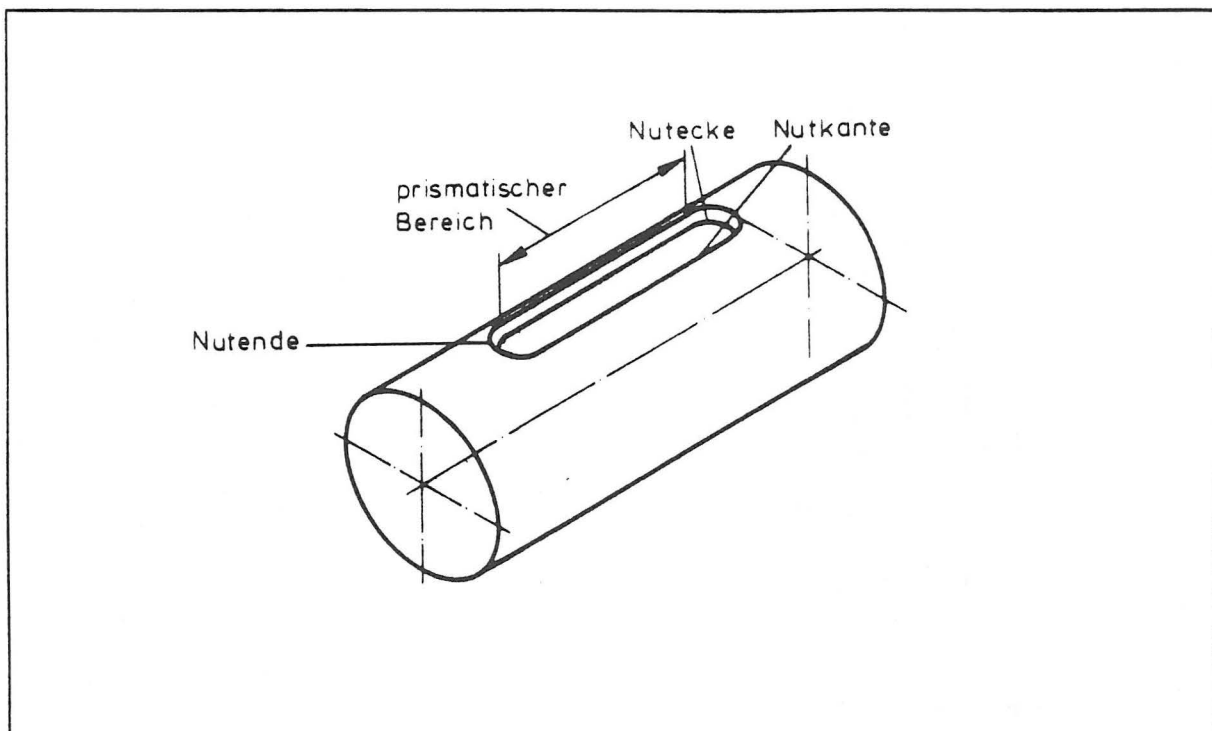


Bild 4.1: Welle mit Paßfedernut der Form N1 (nach DIN 6885 /3/)

PERSEKE /9/ untersuchte in diesem Zusammenhang die Mehrfachkerbwirkung beim Zusammenreffen von Paßfedernut und Wellenabsatz sowie Paßfedernut und Sicherungsringnut. Er führte auch eine Spannungsanalyse an genuteten Wellen mit Hilfe der räumlichen Spannungsoptik durch. Für die kraftfreie, genutete Welle ermittelte er ein relatives Spannungsmaximum im Nuteckenradius unter 40° bis 50° zur Wellenlängsachse.

In seinen Untersuchungen konnte er auch erste Hinweise auf eine weitere Spannungsüberhöhung an der Nutkante unter dem gleichem Winkel zur Wellenlängsachse finden.

Weiterführende Spannungsanalysen von ZANG /16/ berücksichtigen die komplette Verbindung, bestehend aus Welle, Paßfeder und Nabe. In seiner Untersuchung stellte er für die Kombination Schaftfräsernut und rundstirnige Paßfeder, zwei Stellen der Spannungsüberhöhung fest. Zum einen ermittelt er eine Spannungsüberhöhung im Nuteckenradius, zum anderen stellt er die Maximalbeanspruchung an der Nutkante im Nutendbereich fest (vergl. Bild 4.1). In einer Gegenüberstellung der Spannungsüberhöhung, ermittelt an kraftfreien Wellennuten und kompletten Verbindungen läßt sich deutlich der nicht zu vernachlässigende Einfluß der Krafteinleitung zeigen. Bild 4.2 zeigt die ermittelten Spannungsüberhöhungen in Abhängigkeit der Nuttiefe. Man erkennt, daß die am Nutrand der Paßfederverbindung ermittelte Spannungsüberhöhung größere Werte annimmt, als die an der kraftfreien Wellennut ermittelten Spannungsintensitäten. Zugleich wird deutlich, daß die an kraftfreien Nuten gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich des Nutradius noch nicht einmal tendenziell die Verhältnisse bei der kompletten Verbindung wiedergeben.

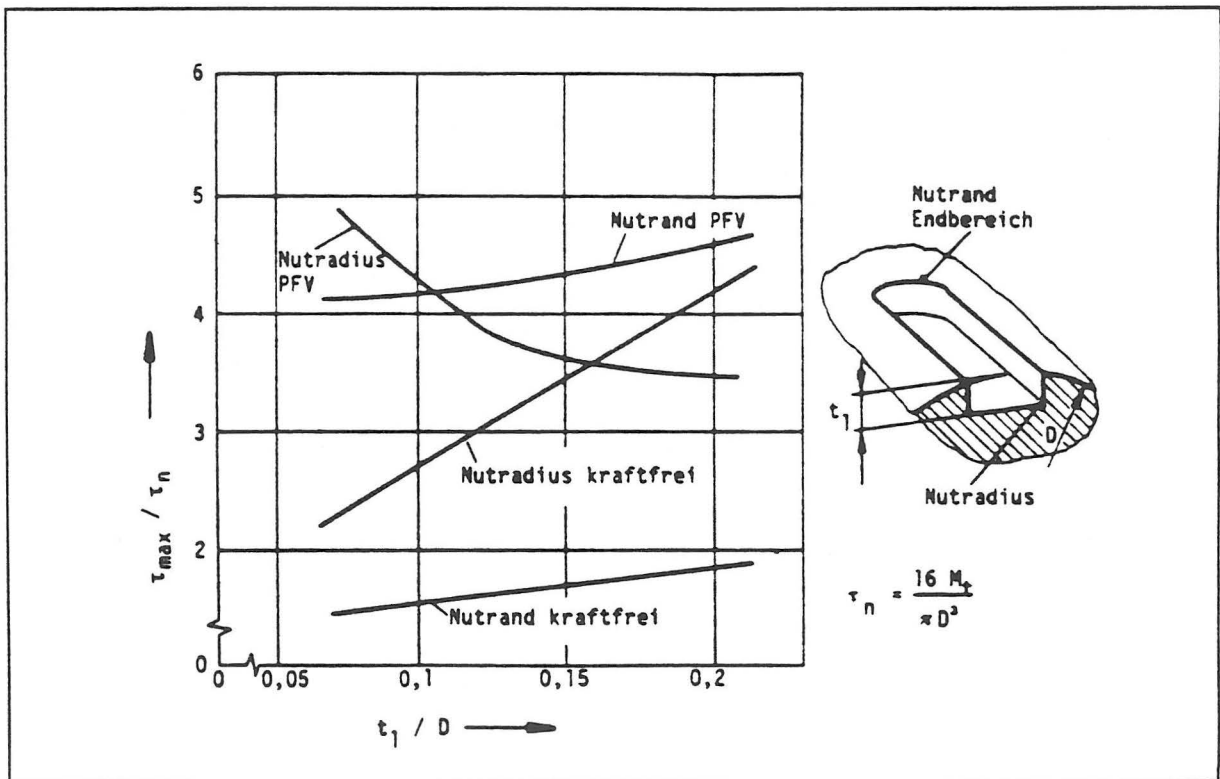


Bild 4.2: Spannungsüberhöhungen an den gefährdeten Stellen der Wellennut bei einer Paßfederverbindung (PFV) und einer kraftfreien Wellennut in Abhängigkeit der Nuttiefe (aus ZANG /16/)

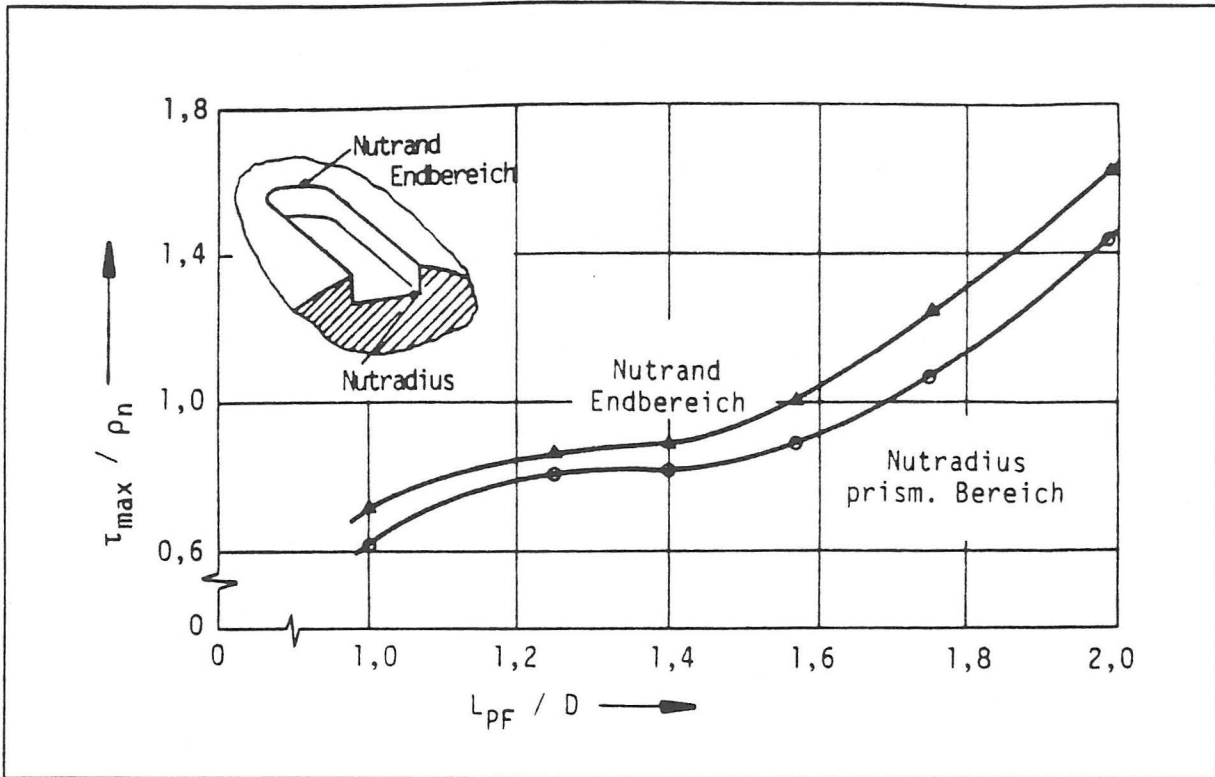


Bild 4.3: Maximale Schubspannungen in der Welle einer Paßfederverbindung bezogen auf die rechnerische Nennflächenpressung an der Wellennutwand (aus ZANG /16/)

Ein Vergleich der maximalen Schubspannungen mit der nach Gleichung 2.1 berechneten Nennflächenpressung zeigt, daß bis zu einer Verbindungslänge von $L_{PF}/D = 1,6$ die Auslegung der Verbindung nach der Nennflächenpressung auf der sicheren Seite liegt. Bild 4.3 gibt diesen Sachverhalt graphisch wieder.

Mit einem Resonanzpulser und einer Verdrehvorrichtung (vergl. Kap. 3.2) wurden Torsionsschwellversuche mit überlagerter statischer Mittellast im Zeitfestigkeitsgebiet gefahren (Verhältnis Unterspannung/Oberspannung = 0,22). Die bei den Schwingversuchen ermittelte Versagensursache der Paßfederverbindungen ist ein Schwingungverschleiß im Paßfedernutendbereich, der zu Anrissen an den kaltverschweißten Oberflächen der Nutwand führt. Bild 4.4 zeigt den sich einstellenden Rißverlauf in der Welle der Paßfederverbindung.

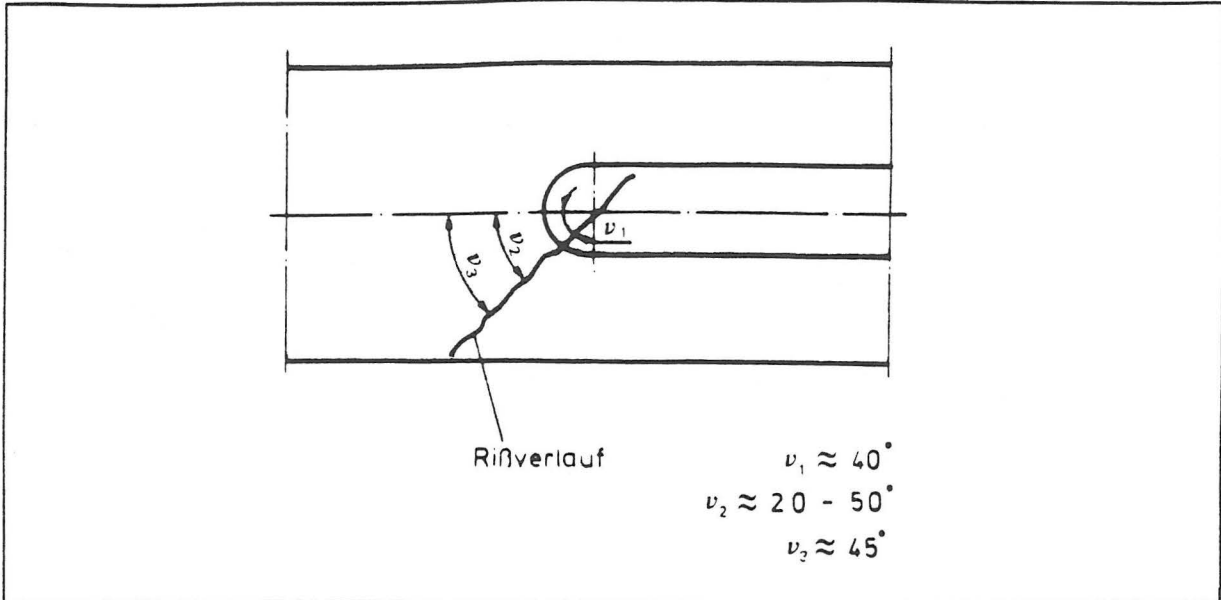


Bild 4.4: Typischer Rißverlauf in der Welle einer Paßfederverbindung unter schwelender Torsionsbelastung (aus ZANG /16/)

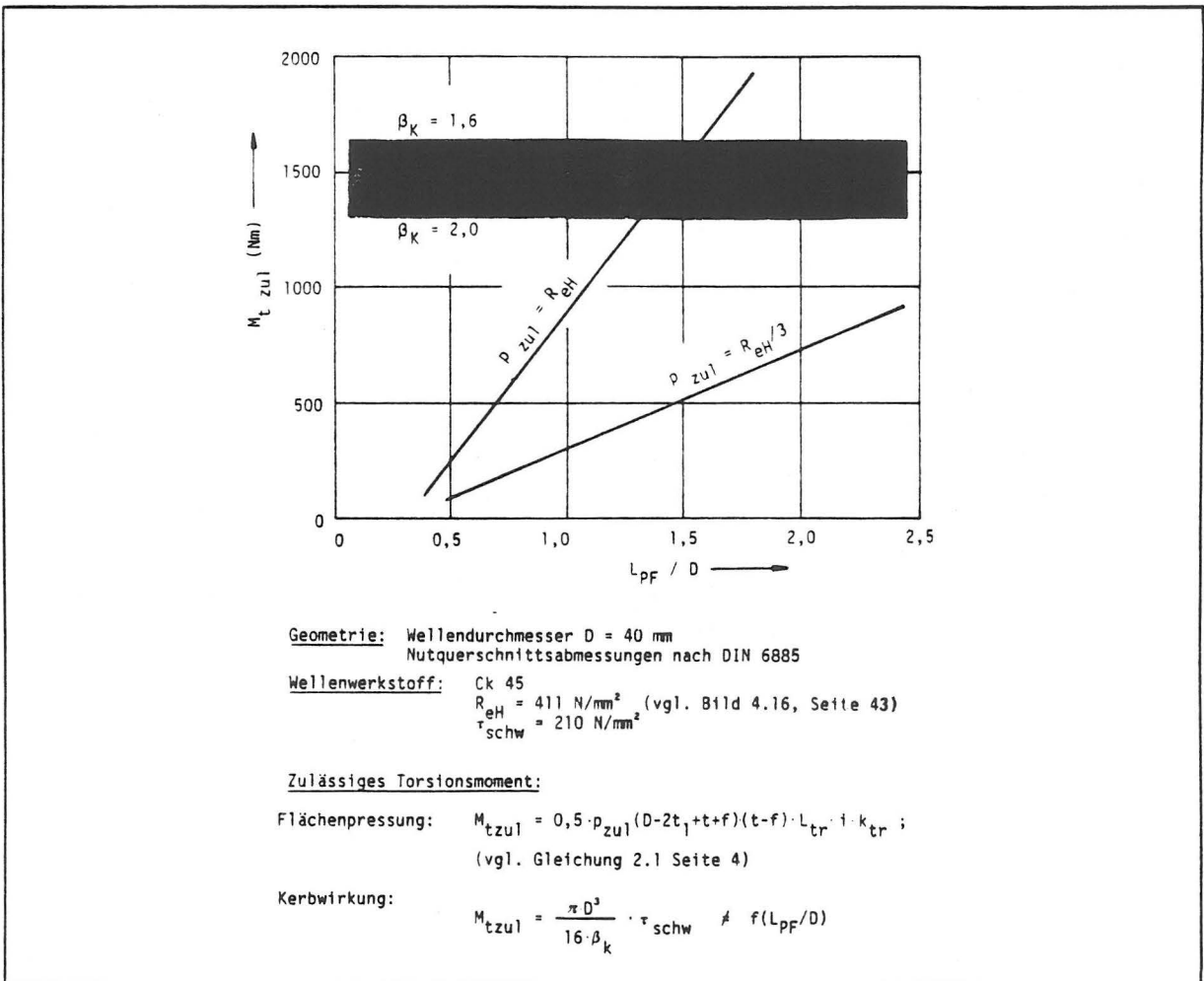


Bild 4.5: Übertragbares Drehmoment einer Paßfederverbindung aus der Dimensionierung nach der Flächenpressung an der Wellennutwand bzw. der Dauerfestigkeit der Welle (aus ZANG /16/).

In Bild 4.5 ist die Bedeutung der Flächenpressung in der Kontaktzone für die Lebensdauer einer Paßfederverbindung exemplarisch dargestellt.

Aus der Dimensionierung nach der Flächenpressung ergibt sich für Verbindungslängen von $L_{PF}/D \approx 1,5$ eine Wellenbeanspruchung, die für die untersuchten Geometrien in etwa der Dauerfestigkeit der Welle entspricht. Dies gilt jedoch nur unter der Annahme, daß von einer zulässigen Flächenpressung in Höhe der Streckgrenze des Werkstoffs ausgegangen wird, die über die Länge gleichmäßig verteilt ist.

4.2 Wellenbeanspruchung durch Biegung

Zum Lastfall der Biegung sind bisher nur wenige Untersuchungen durchgeführt worden. Die Mehrzahl der Untersuchungen behandeln auch hier die genutete Welle. PERSEKE /9/ stellte in seinen spannungsoptischen Untersuchungen zur Mehrfachkerbwirkung für den Lastfall der Biegung einen Einfluß des Kerbabstandes auf die Spannungsformzahl der Mehrfachkerbe Paßfedernut/Wellenabsatz fest, der in Bild 4.6 erläutert wird.

Vorteilhaft erweist sich dabei ein Einschneiden der Paßfedernut in den Wellenabsatz, wobei die Spannungsformzahl unter den Wert für die Paßfedernut allein fällt. Weiterhin führen sowohl eine kleiner werdende Absatzausrundung als auch eine zunehmende Absatztiefe zu steigenden Spannungsformzahlen.

Für das Zusammentreffen der Mehrfachkerbe Paßfedernut/Sicherungsringnut kann kein eindeutiger spannungserhöhender Einfluß der Sicherungsringnut auf die Kerbwirkung der Paßfedernut nachgewiesen werden.

WEIGAND /13/ führte als erster eine Spannungsanalyse an einer Paßfederverbindung unter Biegebelastung durch. Im Bereich der Paßfedernut stellte er Spannungsüberhöhungen am Nuteckenradius in der Symmetrieebene und an der Nutkante im Bereich des Übergangs vom Nutende zum prismatischer Nutteil fest (vergl. Bild 4.1).

Im Nuteckenradius tritt eine Zugspannung auf, die in etwa dem fünffachen Betrag der Biegezugspannung entspricht.

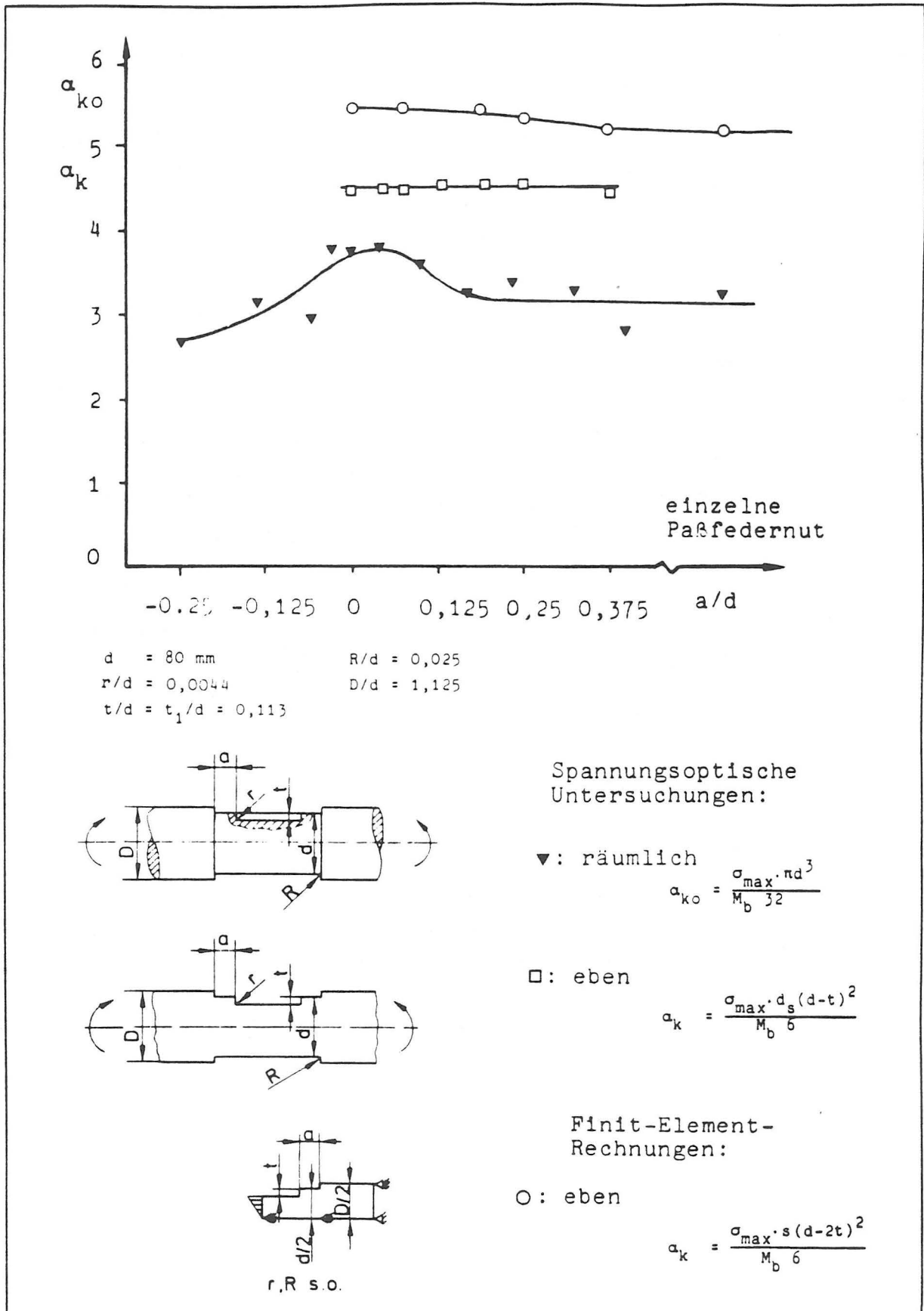


Bild 4.6: Einfluß des Kerbabstandes auf die Spannungsformzahl der Mehrfachkerbe Paßfedernut/Wellenabsatz (aus PERSEKE /9/).

Die von WEIGAND /13/ ermittelten Spannungsverläufe entlang der Nutkante für den prismatischen Teil der Paßfederverbindung sind in den Bildern 4.7 und 4.8 dargestellt.

An der Nutkante treten sowohl für den Fall der Paßfedernut auf der Zugseite (PFZ), als auch für den Fall der Paßfedernut auf der Druckseite (PFD), Druckspannungen bei gleichzeitigen axialen Dehnungen auf.

Der Maximalwert der Spannungen ergibt sich am Übergang des Nutendes zum prismatischen Teil. Bild 4.7 zeigt den Spannungsverlauf an der Nutkante für den Fall der Paßfeder auf der Zugseite, Bild 4.8 für die Druckseite.

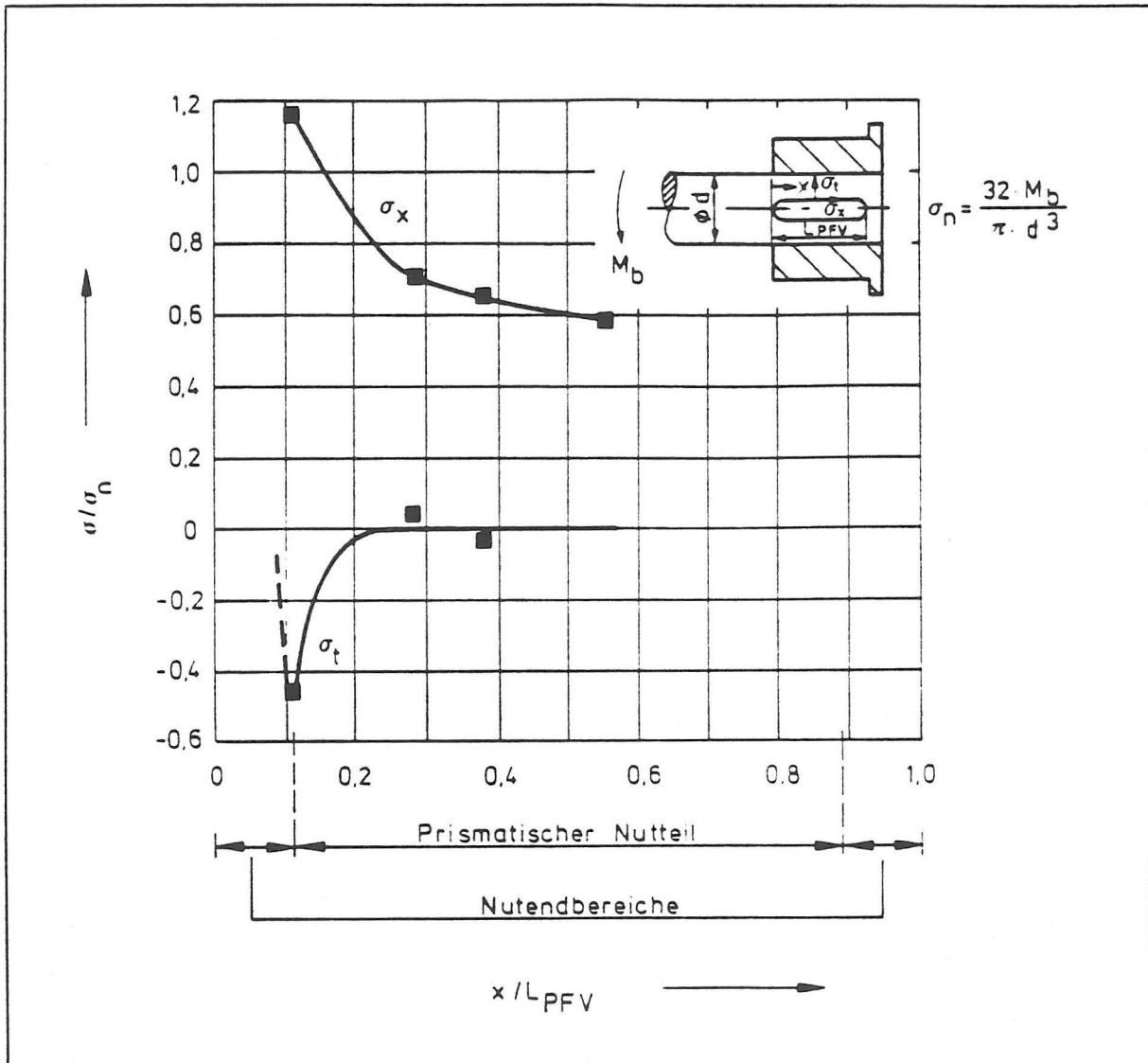


Bild 4.7: Spannungsverlauf an der Nutkante der Paßfederverbindung, Paßfeder auf der Zugseite (PFZ) (aus WEIGAND /13/)

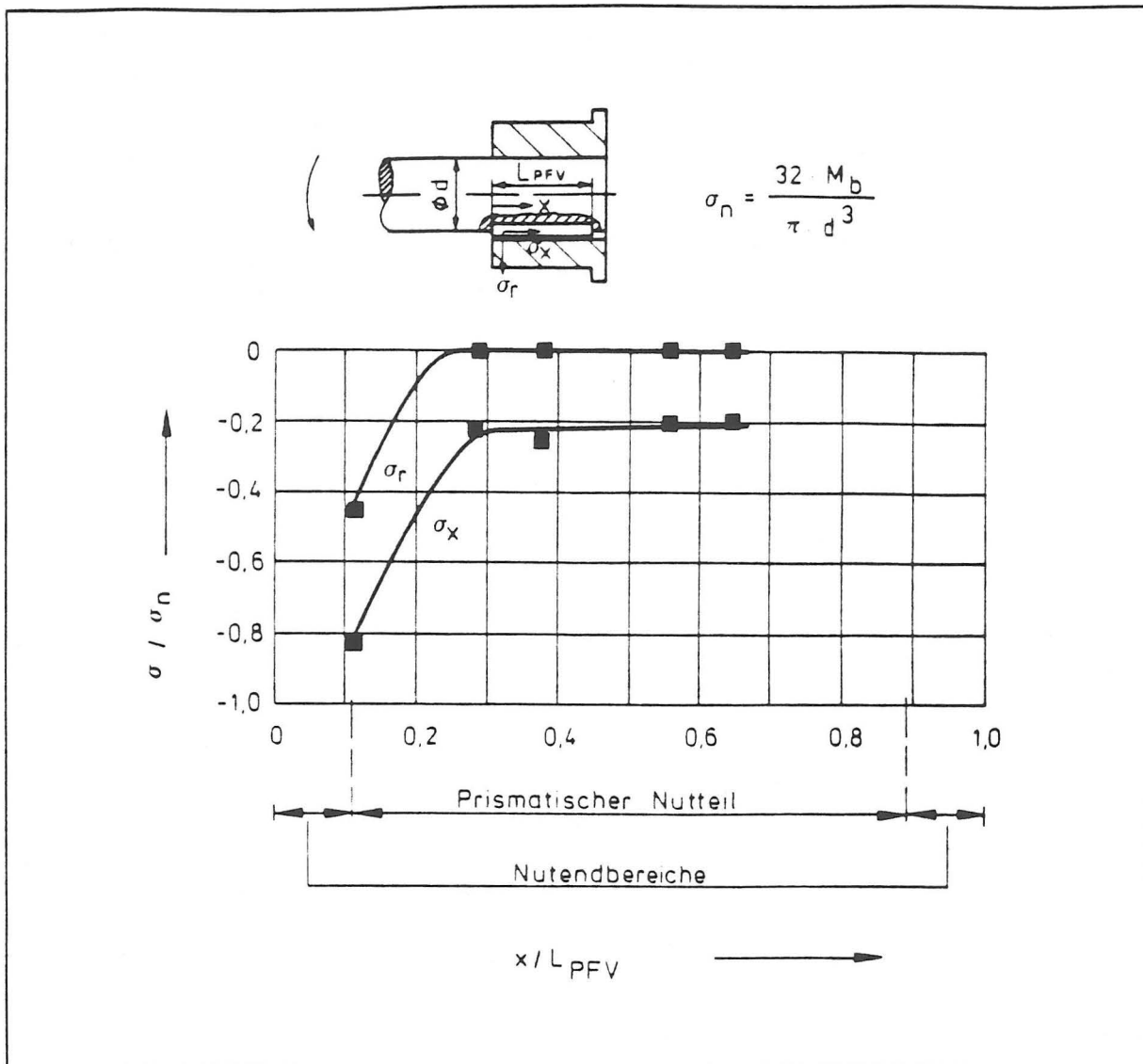


Bild 4.8: Spannungsverlauf an der Nutkante der Paßfederverbindung, Paßfeder auf der Druckseite (PFD) (aus WEIGAND /13/)

Für den Lastfall der Biegung sind bei mehreren Autoren Hinweise auf Schwingversuche zu finden. Untersuchungen zu genuteten Wellen (PERSEKE /9/; PETERSON /10/) geben größtenteils den Nuteckenradius, also den Ort der höchsten Spannungskonzentration, als Anrißort wieder. Dennoch werden auch Anrisse an der Nutkante beobachtet (WIEKER /14/). Dieses Verhalten begründet PERSEKE /9/ mit dem sogenannten Fehlstellenmodell. Hierbei wird ein Anriß außerhalb des Bereichs maximaler Spannungsüberhöhung mit der Größe des oberhalb der kritischen Anrißspannung beanspruchten Werkstoffvolumens erklärt, d. h. je größer das relativ hoch beanspruchte Volumen ist, desto eher kann es zu einem Anriß kommen.

Die an Paßfederverbindungen durchgeführten Schwingversuche ergeben durchweg höhere Kerbwirkungszahlen als die an genuteten Wellen ermittelten. Als Anrißorte der Welle einer Paßfederverbindung bei Umlaufbiegung werden die Nutkanten und der Bereich der Nabenkante ermittelt. Es zeigt sich, daß die Kerbwirkungszahl abhängig von der Steifigkeit der Nabe und der Ausbildung der Nabenkante ist.

Bei den bekannten Schwingversuchen liegt aber aus heutiger Sicht keine ausreichende statistische Absicherung der Ergebnisse vor, wobei es bei dynamischen Versuchen unerlässlich ist, mehrere Proben für jeden Lasthorizont zu prüfen.

Allen Untersuchungen ist jedoch gemein, daß für eine Paßfedernut der Form N2 (Scheibenfräsernut) niedrigere Kerbwirkungszahlen ermittelt werden als für die Nutform N1 (Schافتfräsernut).

WEIGAND /13/ wählte für seine Schwingversuche an Paßfederverbindungen eine Stufenbesetzung von 7 Proben je Lasthorizont, was eine ausreichend gute statistische Absicherung gewährleistet. Er stellt bei seinen Versuchen an mehreren Stellen der Verbindung Schwingungverschleiß fest:

- an der Wellenoberfläche im Bereich der Nabenkante
- an der Wellennutkante
- in der Paßfedernutwand am Übergang des halbkreisförmigen Nutendes in den prismatischen Nutteil

Von der Stelle des Schwingverschleißes zwischen Paßfeder und Nutwand gehen auch die bruchauslösenden Risse aus (vergl. Bild 4.9).

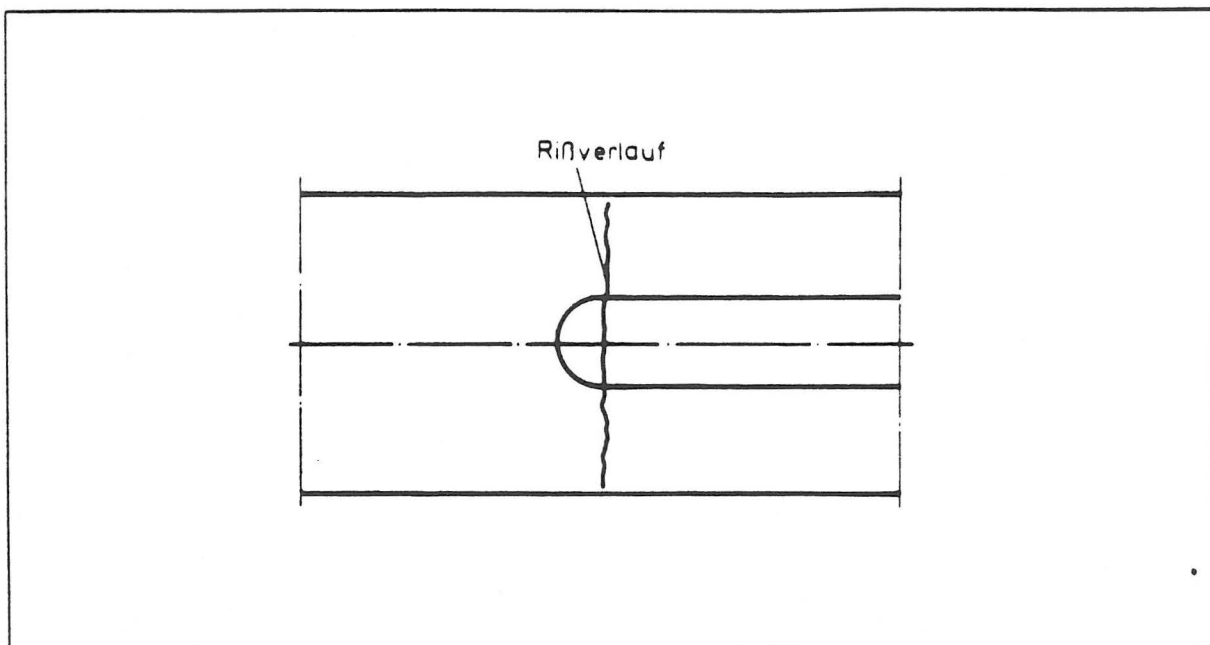


Bild 4.9: Rißverlauf in der Welle einer Paßfederverbindung unter Umlaufbiegebelastung (nach WEIGAND /13/)

Der Bruch beginnt auf beiden Seiten der Nutwand und verläuft senkrecht zur Wellenlängsachse. Dieses Schadensbild ist bei allen Lasthorizonten gleich.

Als Schädigungsmechanismus der Verbindung ergeben sich die Kontaktspannungen zwischen Paßfeder und Wellennutwand, die in Wechselwirkung mit den axialen Dehnungen zum Auftreten von Schwingungverschleiß an dieser Stelle führen. KLOOS /5/ beschreibt dies als einen zunächst in den Gleitzonen entstehenden oxidischen Schichtverschleiß, wodurch sich der Spannungszustand in den betroffenen Zonen verändert und der Schichtverschleiß in einen adhäsiv-abrasiven Verschleiß übergeht, der im Zusammenhang mit der Grundwerkstoffbeanspruchung zur Makrorißbildung führt.

Im Gegensatz zur Nutkante, bei der ein "Scheuern" während des gesamten Umlaufs auftritt, ist dies an der Nabenkante nur während des Durchlaufens der Biegedruckseite der Fall, da auf der Biegezugseite die Nabe von der Welle abhebt. Die Spannungsüberhöhung im Nuteckenradius ist aufgrund der dort vorliegenden kraftfreien Oberfläche nicht ausschlaggebend für die Lebensdauer der Paßfederverbindung (WEIGAND /13/, Seite 101). Hierin zeigt sich auch der Hauptunterschied zu den Schwingversuchen an genuteten Wellen, wo der Anriß in der Regel in der Symmetrieebene im Nuteckenradius beginnt, d.h. an der Stelle der maximalen Bauteilspannung.

Aus diesen Ergebnissen läßt sich schließen, daß eine Beurteilung der Schwingfestigkeit von Paßfederverbindungen nur durch die Betrachtung des gesamten Systems erfolgen kann, da nur dann im Vergleich zur genuteten Welle der die Lebensdauer entscheidend beeinflussende Schwingverschleiß zu erfassen ist.

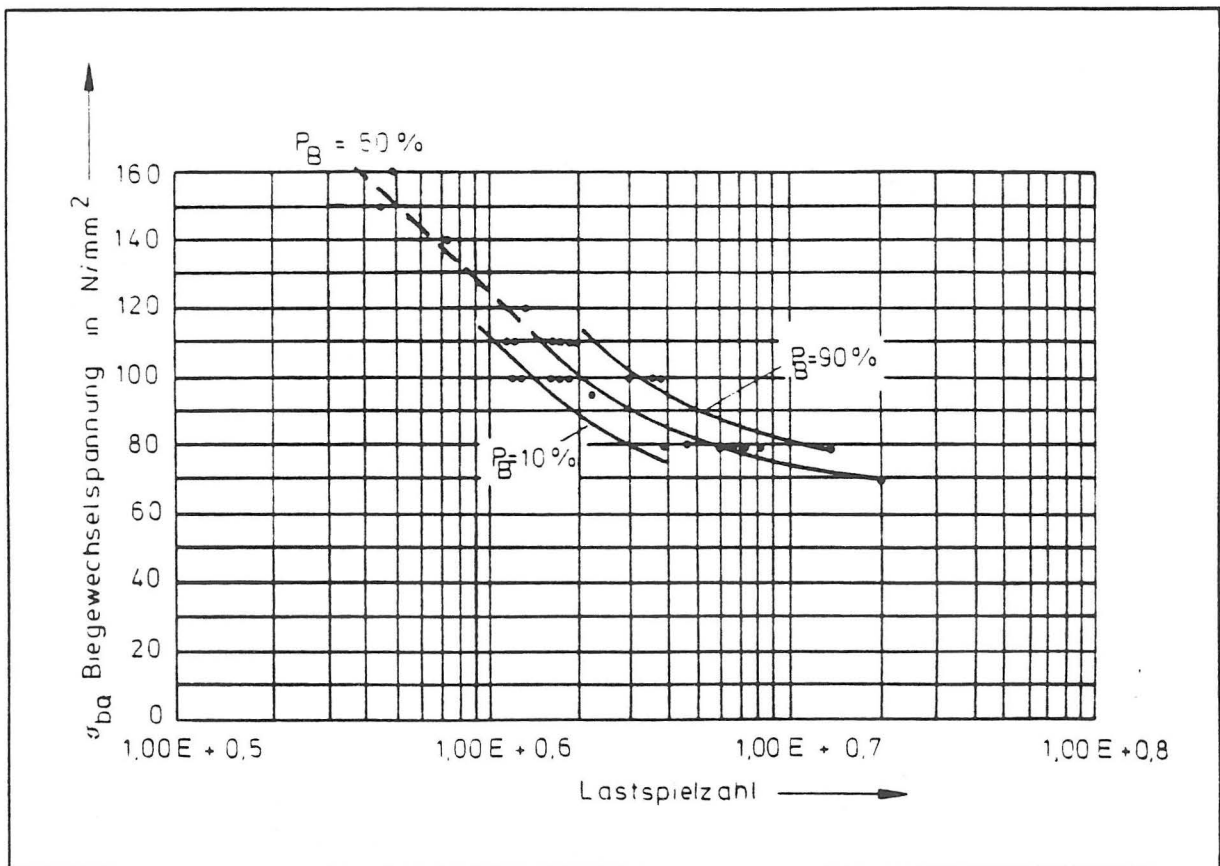


Bild 4.10: Wöhlerschaubild der unter Umlaufbiegung untersuchten Paßfederverbindung (Wellendurchmesser 40 mm, Nutform N1 nach DIN 6885 /3/; aus WEIGAND /13/)

Aus dem in Bild 4.10 gezeigten Wöhlerschaubild der untersuchten Paßfederverbindung für verschiedenen Lasthorizonte kann man erkennen, daß für den Lasthorizont $\sigma_b = 70 \text{ N/mm}^2$ alle Proben die Grenzlastspielzahl von $N = 2 \cdot 10^7$ Lastwechseln erreichen.

Der sich einstellende hyperbelartige Kurvenverlauf gibt nicht die aus der Werkstoffprüfung bekannte Form der Geraden im Zeitfestigkeitsgebiet und Dauerfestigkeitsgebiet wieder, sondern ist kennzeichnend für die Beanspruchung durch Schwingungsverschleiß (vergl. KREITNER /6/).

5. Derzeitige Untersuchungsvorhaben

Aufbauend auf den bekannten Arbeiten zur Beanspruchung von Paßfederverbindungen unter Torsion und Biegung, werden derzeit Spannungsanalysen und Schwingversuche an Paßfederverbindungen unter Umlaufbiegung mit überlagerter statischer Torsion durchgeführt. Hiermit soll der in der Praxis am häufigsten auftretende Lastfall untersucht und die Auswirkungen der Torsionsüberlagerung geklärt werden.

Die Spannungsanalysen werden zum einen mit der räumlichen Spannungsoptik, zum anderen mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) durchgeführt (vergl. Kap. 3.2). Bei dieser Vorgehensweise soll die FEM die Auswertung der spannungsoptischen Untersuchungen erleichtern, da, bei unbekannter Lage der Hauptspannungsrichtungen, ein dreidimensionaler Spannungszustand spannungsoptisch nur schwer aufzulösen ist (vergl. ZANG /16/, Seite 29).

Umgekehrt sind aber auch die mit spannungsoptischen Untersuchungen bisher ermittelten Ergebnisse für die Generierung des FEM-Netzes von Nutzen. Durch die hybride Vorgehensweise ergibt sich auch die Möglichkeit, die mit der Methode der Finiten Elemente erzielten Berechnungsergebnisse am Experiment zu überprüfen und zu verfeinern.

Zusammenfassend kann man sagen, daß aufbauend auf den Ergebnissen der bekannten Literatur zwar viele Untersuchungen zur Beanspruchung von Paßfederverbindungen durchgeführt wurden, aber Anleitungen für eine beanspruchungsgerechte Gestaltung und eine entsprechende Berechnungsvorschrift bisher noch nicht existieren. Die neuesten Untersuchungen lassen jedoch vermuten, daß dieses Ziel in wenigen Jahren erreicht werden kann.

6. Literaturverzeichnis

- /1/ ADINA ADINA 5.0 Verification Manual A/B
- /2/ BRAISCH, P. Persönliche Mitteilung
Institut für Werkstoffkunde der Technischen Hochschule
Darmstadt
- /3/ DIN 6885 Paßfedern, Nuten.
Beuth-Verlag, Berlin 1978
- /4/ FÖPPL, L. Praktische Spannungsoptik.
MÖNCH, E. 3. Auflage 1972
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- /5/ KLOOS, K.-H. Werkstoffkunde III.
Vorlesungsumdruck 1981
- /6/ KREITNER, L. Die Auswirkung von Reibkorrosion und von Reibdauerbe-
anspruchung auf die Dauerhaltbarkeit zusammengesetzter
Maschinenteile.
Dissertation TH Darmstadt 1976
- /7/ MILITZER, O. Rechenmodell für die Auslegung von Wellen-Naben-Paßfe-
derverbindungen.
Dissertation TU Berlin 1975
- /8/ OLDENDORF, U. Vergleichende Untersuchung der Spannungsanalyse an
Kerbstäben mit Hilfe der Spannungsoptik und der Methode
der Finiten Elemente.
Studienarbeit TH Darmstadt 1990
- /9/ PERSEKE, W. Untersuchung zur Mehrfachkerbwirkung beim Zusammen-
treffen von Paßfedernut und Wellenabsatz sowie Paßfeder-
nut und Sicherungsringnut.
Dissertation TH Darmstadt 1984
- /10/ PETERSON, R.E. Fatigue of a Shaft Having Keyways.
Proc. ASME Vol. 32 Part 2 (1932)

- /11/ RAAB, W. Sonderprobleme bei spannungsoptischen Untersuchungen von Maschinenteilen.
Dissertation TH Darmstadt 1961
- /12/ DUDA, M. STATAN-Anwenderhandbuch.
RAINER, G. Fachgebiet Maschinenelemente und Getriebe
STEIMEL, J. TH Darmstadt 1979
WELP, E.
- /13/ WEIGAND, M. Untersuchung der Beanspruchung von Paßfederverbindungen bei umlaufender Biegebelastung.
Dissertation TH Darmstadt 1991
- /14/ WIECKER, H. Die Biegewechselfestigkeit genuteter Stäbe und die Erhöhung der Dauerhaltbarkeit durch das Oberflächendrücken.
Dissertation TH Braunschweig 1934
- /15/ WOLF, H. Spannungsoptik.
2. Auflage 1976
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- /16/ ZANG, R. Beanspruchungen in der Welle einer Paßfederverbindung bei statischer und dynamischer Torsionsbelastung.
Dissertation TH Darmstadt 1987

Die Kette - ein Relikt der Vergangenheit oder ein modernes Maschinenelement?

von Edgar Dörsam

1. Historische Entwicklung der Kettentriebe

Die Bezeichnung "Kette" wird auf das lateinische Wort "Catena" bzw. auf das althochdeutsche Wort "Kutti" (Reihe, Schar) zurückgeführt (vgl. BERENTS (1989)).

Ketten und Kettengeräte in einfachster Ausführung haben schon im Altertum Verwendung gefunden. In historischen Schriften wird bereits eine um das Jahr 525 v. Chr. von den Römern benutzte Fesselkette erwähnt. Im 3. Jahrhundert v. Chr. ist eine Kette zu Transmissionszwecken bei einem Pfeilgeschütz mit Schnelladevorrichtung verwendet worden. Die uralten Schöpfwerke, die heute noch im Orient vereinzelt anzutreffen sind, zeigen, daß Kettentransmissionen im Altertum schon vielfach verwendet wurden. Auch LEONARDO DA VINCI (1452 bis 1519) hat schon recht genaue Skizzen über Stahlgelenkketten angefertigt. Die älteste Kettentransmission im heute üblichen Sinne von Kettengeräte, wurden in einem Maschinenbuch aus dem Jahre 1588 gefunden. Um 1750 wurde eine Bandkette zum Antrieb von Maschinen gebaut, die nach der Erfindung der Dampfmaschine im Jahr 1765 Verbreitung fand. Eine wirtschaftliche Bedeutung in größerem Umfang erhielten die Ketten jedoch erst mit Erfindung der Gallkette, die nach ihrem Erfinder ANDRE GALLE benannt und 1829 patentiert wurde. Mit der Erfindung der Rollenkette von HANS RENOLD im Jahr 1880 wurden dann endgültig die Voraussetzungen für die Entwicklung leistungsfähiger Kettentriebe geschaffen (vgl. MÜLLER (1913)).

Dieser Beitrag beschäftigt sich im folgenden schwerpunktmäßig mit der Darstellung der Rollenkettentriebe. Zunächst werden einige Grundlagen zu den Rollenkettentrieben erläutert. Danach wird die am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik bereits durchgeführte Forschung vorgestellt und die Ergebnisse beschrieben. Anschließend wird der Stand der Kettenforschung dargestellt und ein Überblick über aktuelle Probleme der Kettentriebe gegeben. Am Schluß werden die laufenden Forschungsvorhaben am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik vorgestellt.

2. Einführung

2.1 Technisch bedeutsame Kettentypen - eine Auswahl

Ketten ermöglichen als formschlüssige Antriebselemente eine schlupffreie Übertragung hoher Momente bei kleinen und großen Umfangsgeschwindigkeiten. Hinsichtlich ihres spezifischen Bau- raums, der Beschaffungs- und Unterhaltungskosten, der übertragbaren Leistung und der Anforde- rungen an Wartung und Pflege sind sie zwischen Riemen- und Zahnradgetrieben einzuordnen. Größte Marktbedeutung unter den Stahlgelenkketten hat die Rollenkette erlangt (vgl. COENEN (1986)).

Kettentriebe werden heute wegen ihrer Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit in der Antriebs- und Fördertechnik auf vielfältige Weise zur Leistungsübertragung und kinematischen Kopplung verwendet. Im Laufe der Jahre sind daher eine Vielzahl von Kettenbauarten und -varianten ent- standen, wobei üblicherweise zwischen Antriebs-, Last- und Förderketten unterschieden wird, von denen die wichtigsten hier vorgestellt werden sollen:

Die Rundstahlkette (DIN 766) und die Stegkette (nicht genormt) sind aus gleichartigen, ver- schweißten Stahlgliedern aufgebaut (s. Bild 2.1). Verwendet werden sie hauptsächlich als Lastket- ten, wie z. B. bei Flaschenzügen und Hebezeugen. Wegen des starken Verschleißes eignen sie sich nicht für höhere Geschwindigkeiten und große Lasten; sie besitzen jedoch eine gute räumliche Beweglichkeit.

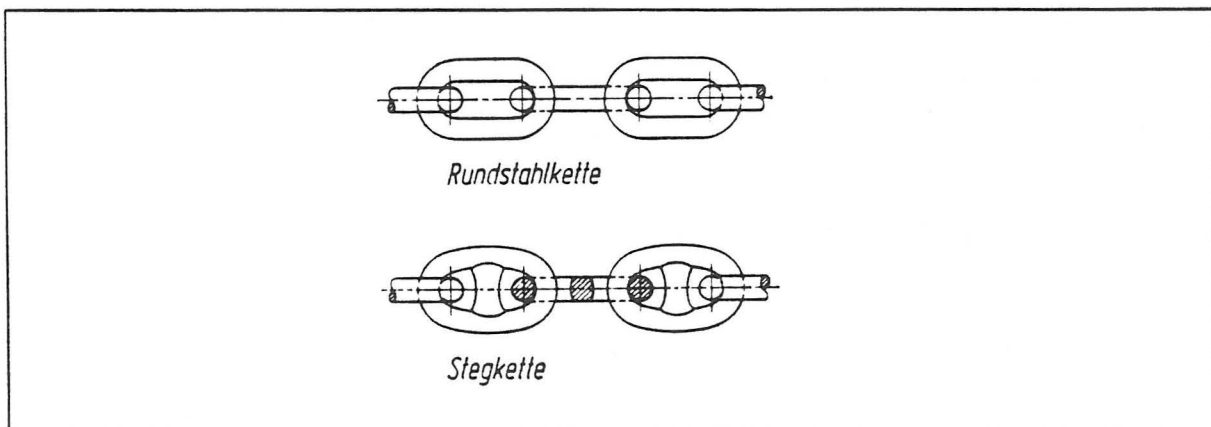


Bild 2.1: Rundstahlkette und Stegkette (aus NIEMANN/WINTER (1983))

Bei der Gallkette (DIN 8150) drehen sich die Laschen auf dem Bolzenansatz. Sie ist einfach, ro- bust und hat eine höhere Verschleißfestigkeit als die Rundstahlkette. Einen ähnlichen Aufbau hat die Fleyerkette (DIN 8152), deren Innen- und Außenlaschen mit einer Spielpassung über die ganze Bolzenbreite gesteckt sind (s. Bild 2.2). Die Fleyerkette kann daher nur über Umlenkrollen (nicht Kettenräder!) laufen. Anwendung finden diese beiden Ketten als Lastketten in Hubstaplern oder Transporteinrichtungen.

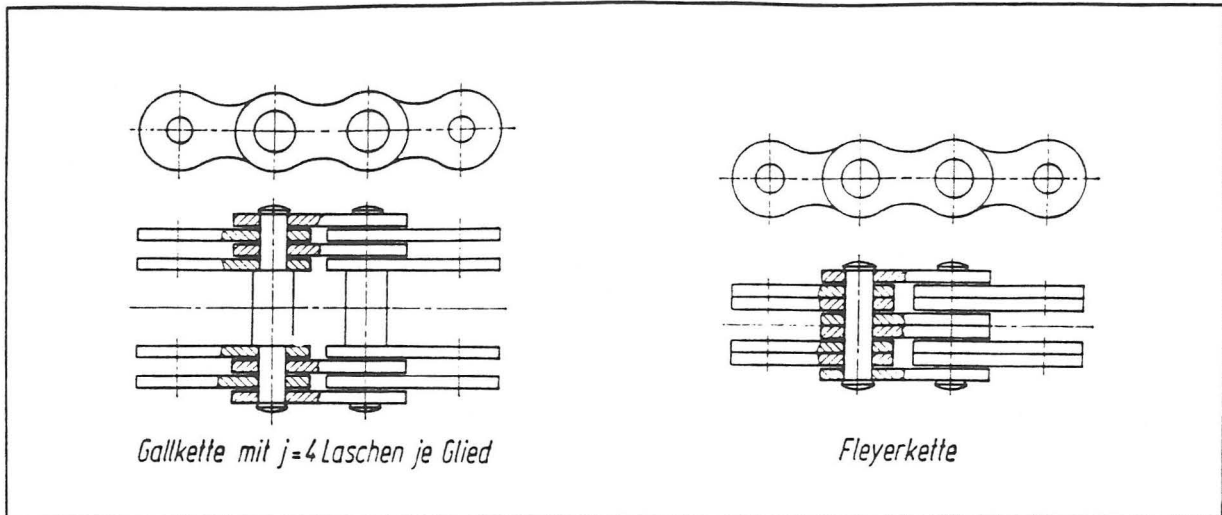


Bild 2.2: Gallkette und Fleyerkette (aus NIEMANN/WINTER (1983))

Rollenketten (DIN 8187) setzen sich aus Innen- und Außengliedern zusammen (s. **Bild 2.3**). Das Innenglied besteht aus den in die Innenlaschen eingepreßten Buchsen und den um die Buchsen drehbar gelagerten Rollen. In den Buchsen kann sich der Bolzen drehen, der in die Außenlaschen eingepreßt und vernietet wird. Die Rolle soll durch ihr Abrollen an der Zahnflanke des Kettenrades den Verschleiß an Kette und Verzahnung verringern. Die Rollenkette ist die am häufigsten verwendete Antriebskette. Zur Übertragung von größeren Leistungen werden Zwei- und Dreifachrollenketten verwendet. Auch als Transportkette ist sie weit verbreitet. Bei Rollenförderketten werden neben den Standardelementen der Rollenkette speziell hergestellte Laschen mit Befestigungs- oder Mitnehmerelementen verwendet.

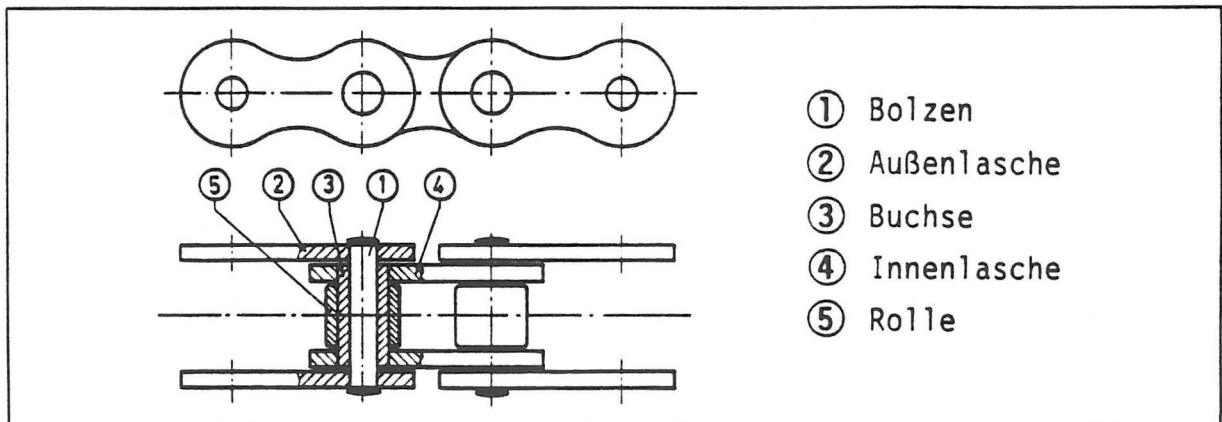


Bild 2.3: Rollenkette (aus BINZ (1985))

Auf jedem Gelenkbolzen der Zahnkette (nicht genormt) sind viele Laschen nebeneinander aufgereiht, wobei jede zweite Lasche zum nächsten Kettenglied gehört (s. **Bild 2.4**). So lassen sich sehr breite, tragfähige Ketten aufbauen. Zur Erhöhung der Lebensdauer werden spezielle Wiegegeelenke und Kettenräder mit Evolventenverzahnung verwendet. Die Zahnkette zeichnet sich durch eine besondere Laufruhe aus. Sie ist nach der Rollenkette die wichtigste Antriebskette; sie ist allerdings schwerer und teurer als die Rollenkette.

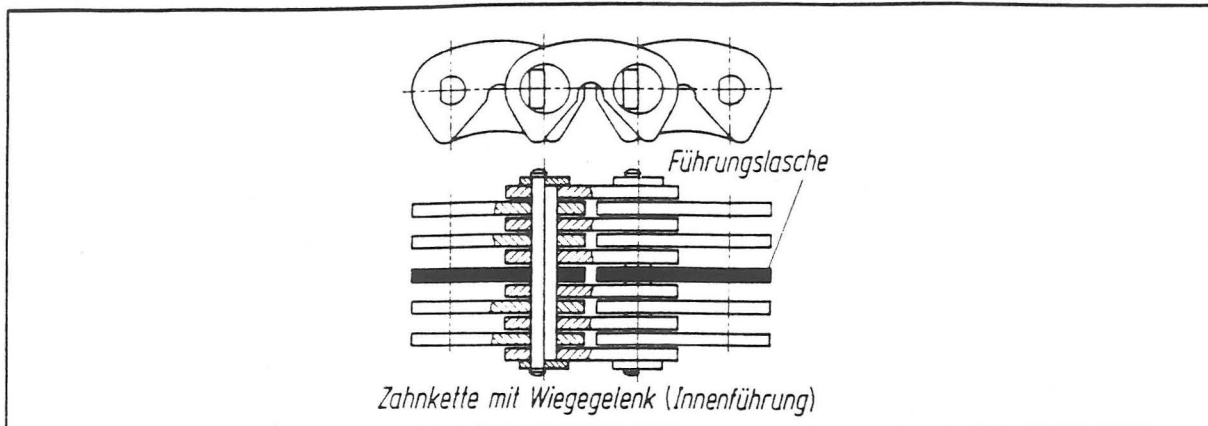


Bild 2.4: Zahnkette (aus NIEMANN/WINTER (1983))

2.2 Probleme im Zusammenhang mit Rollenkettentrieben

2.2.1 Versagensursachen

Durch den breiten Einsatzbereich ist der Rollenkettentrieb den unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Nach BINZ (1985) können die daraus resultierenden Beanspruchungen zu drei Versagenskriterien führen:

- Gewaltbruch infolge zügiger statischer oder stoßartiger Beanspruchung
- Dauerbruch infolge dynamischer Beanspruchung
- Verschleiß infolge reibender Beanspruchung

Gewaltbrüche sind bei Rollenketten heute relativ selten und werden im allgemeinen durch eine nicht vorhergesehene Überlastung hervorgerufen. Auch die normale dynamische Belastung ist in der Regel nicht so groß, daß ein Dauerbruch der Kettenlaschen eintritt. Bei sehr schnell laufenden Kettentrieben kann allerdings ein Dauerbruch der Rollen eintreten, der durch das Aufschlagen der Kettenglieder auf die Zahnflanke des Kettenrades verursacht wird. In den allermeisten Fällen wird jedoch die Einsatzdauer der Rollenkette durch die kritische Verschleißgrenze begrenzt. Als Verschleiß wird dabei der zwischen Bolzen und Buchse des Kettengelenks auftretende Gelenkverschleiß bezeichnet (vgl. Bild 2.3). Durch diesen Verschleiß kommt es im Betrieb zu einer Vergrößerung der Kettenteilung (vgl. Bild 2.5). Wird der kritische Wert von etwa 3% Kettenlängung überschritten, läuft das Kettenglied nicht mehr in die Zahnücke des Kettenrades ein, sondern schlägt auf den Zahnkopf auf. Es kann zu einem Überspringen der Kette und zu Belastungen kommen, die zu einem Gewaltbruch der Kette führen können.

Die für eine Rollenkette typische Verschleißkennlinie ist in Bild 2.6 dargestellt. Während der ersten Betriebsstunden nimmt der Verschleiß degressiv zu. Dieser sogenannte Einlaufverschleiß

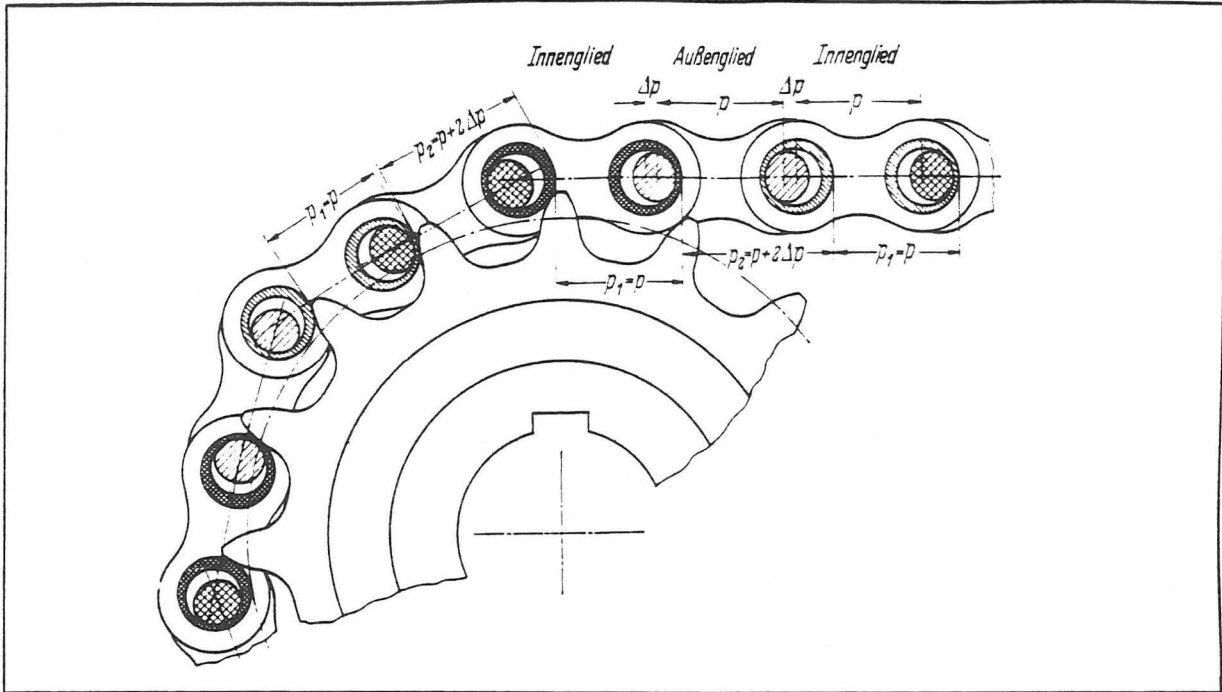


Bild 2.5: Verschleißlänge einer Rollenkette (aus NIEMANN/WINTER (1983))

wird durch die Einebnung von Oberflächenrauheiten, das Setzen der Preßverbindungen und die fertigungsbedingten Formabweichungen verursacht. Für den Kettenanwender bedeutet dies, daß er die Kette während der ersten Betriebsstunden relativ oft nachspannen muß. An die Einlaufphase schließt sich ein nahezu linearer Verschleißbreich an, der nach dem Abtragen der Härteschicht von Bolzen und Buchse progressiv wird und schließlich zum Versagen der Kette führt. Da der Verschleiß an den Kettenrädern bei richtiger Wahl des Werkstoffes und guter Schmierung zu vernachlässigen ist, müssen Maßnahmen zur Steigerung der Gebrauchsdauer von Rollenketten insbesondere auf die Reduzierung des Gelenkverschleißes abzielen (vgl. BINZ (1985), PAWLIK (1990)).

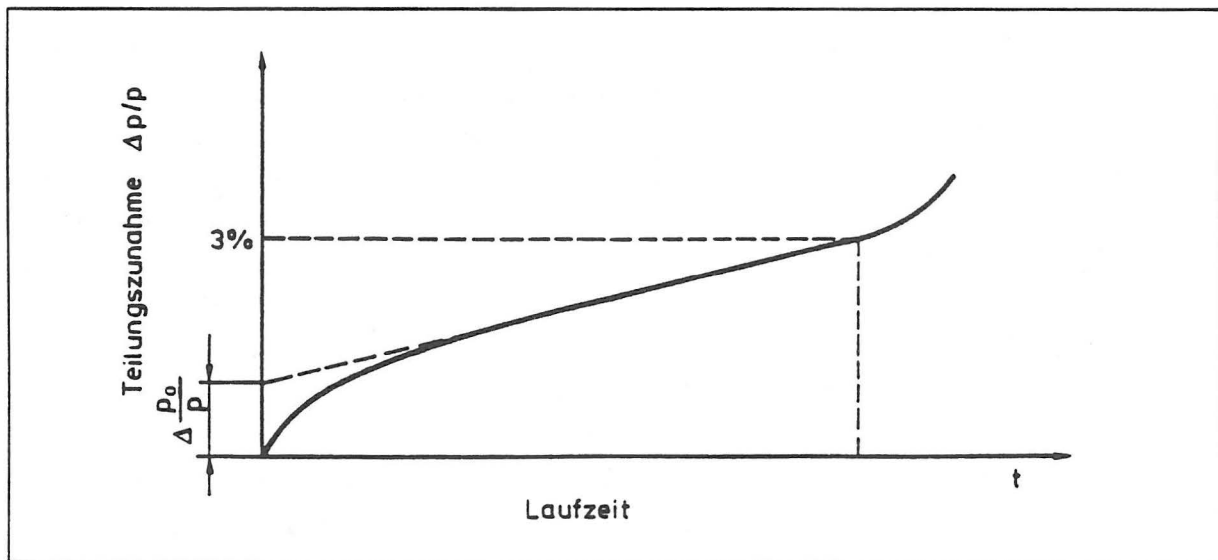


Bild 2.6: Typische Verschleißkennlinie einer Rollenkette (aus PAWLIK (1990))

2.2.2 Kinematisches und dynamisches Verhalten

Die Kettenglieder bilden auf dem Kettenrad ein Polygon und führen beim Einlaufen der Kette in das Kettenrad nacheinander eine unterbrochene Kurbelbewegung aus. Der wirksame Durchmesser verändert sich dadurch periodisch, so daß eine gleichförmige Drehbewegung des Kettenrades zu einer ungleichförmigen Geschwindigkeit im Kettentrum führt. Dies wird als Polygoneffekt bezeichnet. In Bild 2.7 sind die Weg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsänderungen über dem Drehwinkel des Kettenrades dargestellt. Für das kinematische und dynamische Verhalten besonders wichtig ist die Stellung II des Kettenrades. Während der Kettentrum hier die Geschwindigkeit v_{\min} hat, wird die nächste zu führende Rolle vom Kettenrad mit der Umfangsgeschwindigkeit am Teilkreis v - die größer als die Momentangeschwindigkeit v_{\min} des Kettentrums ist - mitgenommen. Diese Geschwindigkeitsdifferenz führt zum sogenannten Einlaufstoß, der die Laufruhe, die Geräuscentwicklung, das Schwingungsverhalten und den Verschleiß an Rolle und Kettenzahn unmittelbar und stark beeinträchtigt. Ein weiteres Kennzeichen des Polygoneffektes ist das sich kontinuierlich ändernde Übersetzungsverhältnis des Kettentriebes. In der Literatur gibt es zahlreiche Vorschläge (z.B. FINK/JANBEN (1967), POOZA (1959), STÜMPFEL (1987)), wie der Polygoneffekt gemildert werden kann. Mit zunehmender Zähnezahl wird die durch den Polygoneffekt verursachte Ungleichförmigkeit allerdings so gering, daß sie für die meisten Anwendungen in der Praxis vernachlässigt wird.

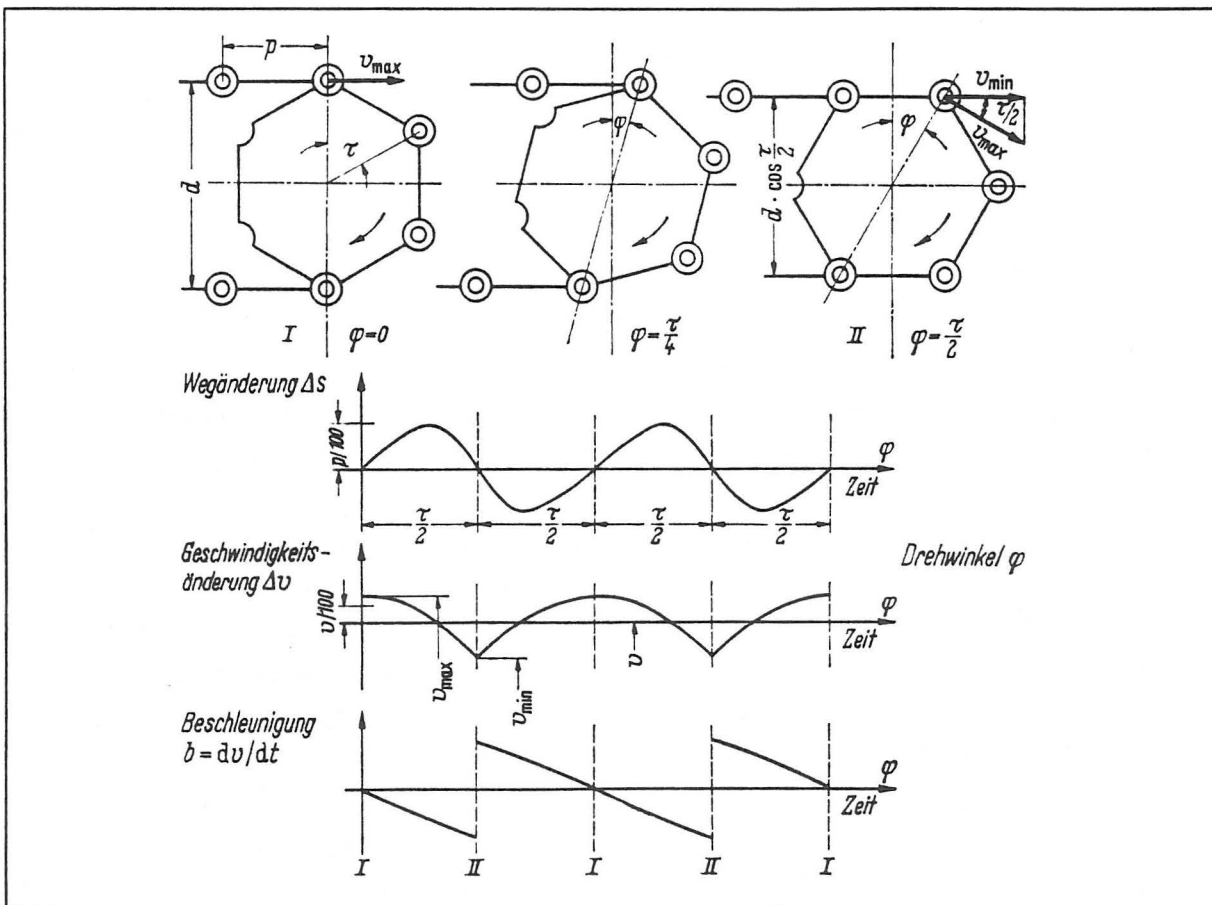


Bild 2.7: Kinematische Auswirkungen des Polygoneffekts (aus NIEMANN/WINTER (1983))

3. Kettenforschung am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik

3.1 Vorgeschichte

Nach der Gründung des Fachgebietes im Jahr 1966 beschäftigte man sich zunächst mit den Flachriemengetrieben. Bei der Auslegung dieser Flachriemengetrieben besteht die Aufgabe, den Aufbau des Riemens und die Abmessungen des Getriebes und des Riemens so zu gestalten, daß bei möglichst hoher Raumleistung die geforderte Lebensdauer erreicht und der Riemen optimal ausgenutzt wird. Für die Auslegungsrechnung waren damals zwei verschiedene Methoden bekannt, die zu sehr widersprüchlichen Ergebnissen führten. Die Auslegung war daher mit großen Unsicherheiten behaftet. LANGER hat sich diesem Problem angenommen und die Vorgänge im Riemen beim Durchlauf durch den Umschlingungsbogen theoretisch und meßtechnisch analysiert. Durch Messung der örtlichen Dehnung des Riemens konnte LANGER (1977) dann zeigen, daß neben den bisher bekannten Schlupfarten weitere Schlupfarten existieren, die durch die Wirkung der Auf- und Ablaufschubspannungen erzeugt werden. Ferner ergab sich, daß der Reibwert zwischen Riemen und Riemenscheibe über den Umschlingungswinkel nicht konstant ist und von klimatischen Bedingungen abhängt. Die für die Auslegungsrechnung notwendige Ermittlung des mittleren Reibwertes erwies sich darüberhinaus als sehr schwierig.

MOCKER hat noch zwei weitere Prüfstände aufgebaut und sich mit der Steigerung der Raumleistung eines Riemengetriebes beschäftigt (vgl. RAAB/MOCKER (1982)). Ferner wurden für die Automobilindustrie Vergleichsmessungen über das Wirkungsgradverhalten von verschiedenen Keil- und Zahnriemen durchgeführt.

Anlaß für den Übergang von der Forschung an Riementrieben zur Forschung an Rollenketten war ein Entwicklungsprojekt von SCHNEIDER (1985), der für einen im Boden eingebauten Türschließer einen geeigneten Antrieb benötigte. Bei der Suche nach einem geeigneten Kettentrieb wurde erkannt, daß die Auslegungsrechnung je nach Hersteller zu stark unterschiedlichen Ergebnissen führt. Ein Beispiel von RAAB/BINZ (1984) soll dies verdeutlichen :

Für eine Fördermaschine mit ungleichmäßiger Beschickung, die mit einem Elektromotor angetrieben wird, ist ein Rollenkettentrieb für eine gewünschte Gebrauchsdauer von 15000 Stunden auszulegen. Die technischen Daten des Triebs sowie die verschiedenen Auslegungsergebnisse sind in **Bild 3.1** dargestellt. Die Zusammenstellung zeigt die erheblichen Unterschiede bezüglich der notwendigen Kettengeometrie, gekennzeichnet durch Kettenteilung und Anzahl der Kettenstränge, und der erforderlichen Schmierungsart.

Bei Gesprächen mit verschiedenen Kettenherstellern über die Auslegungsverfahren von Rollenketten machte der Kettenhersteller Arnold & Stolzenberg, Einbeck, auf ein anderes Problem aufmerksam. So zeigten nach deren Beobachtung Ketten japanischer Herkunft trotz schlechterer

Maßtoleranzen und geringerer Werkstoffqualität ein besseres Einlaufverschleißverhalten als die Ketten deutscher Hersteller.

Nennleistung: $P = 6 \text{ kW}$ Antriebsdrehzahl: $n_1 = 1500 \text{ 1/min}$ Abtriebsdrehzahl: $n_2 = 500 \text{ 1/min}$ Übersetzung: $i = 3$ Achsabstand: $a = 380 \text{ mm}$				
Quelle	Ketten- teilung	Strang- zahl	Erforderliche Schmierung	Ritzel- zähnezahl
DIN 8195	12,7 mm	2	Ölbad/Schleuderscheibe	19
Firma A	12,7 mm	1	Ölbad	23
Firma B	12,7 mm	1	Ölbad	19
Firma C	19,05 mm	1	Ölbad/Schleuderscheibe	19
Firma D	15,875 mm	1	Druckumlaufschmierung	19
Firma E	12,7 mm	1	Tropfschmierung	19
Firma F	15,875 mm	1	Druckumlaufschmierung	19

Bild 3.1: Vergleich verschiedener Auslegungsverfahren (aus RAAB/BINZ (1984))

Zwischen Arnold & Stolzenberg und dem Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik wurde daraufhin eine Zusammenarbeit zur Untersuchung des Einlaufverschleißverhaltens von Rollenketten vereinbart.

3.2 Untersuchung des Einlaufverschleißes durch BINZ

BINZ (1985) konnte zeigen, daß der Einlaufverschleiß in erster Linie durch die fertigungsbedingte "Tönnchenform" der Buchse hervorgerufen wird (s. Bild 3.2). Ursache dieser für das Rollenket tengelenk charakteristischen Formeigenschaft ist das relativ große Übermaß der Buchse-Lasche-Preßverbindung, die zu ungünstigen Kontaktverhältnissen im Kettengelenk führt.

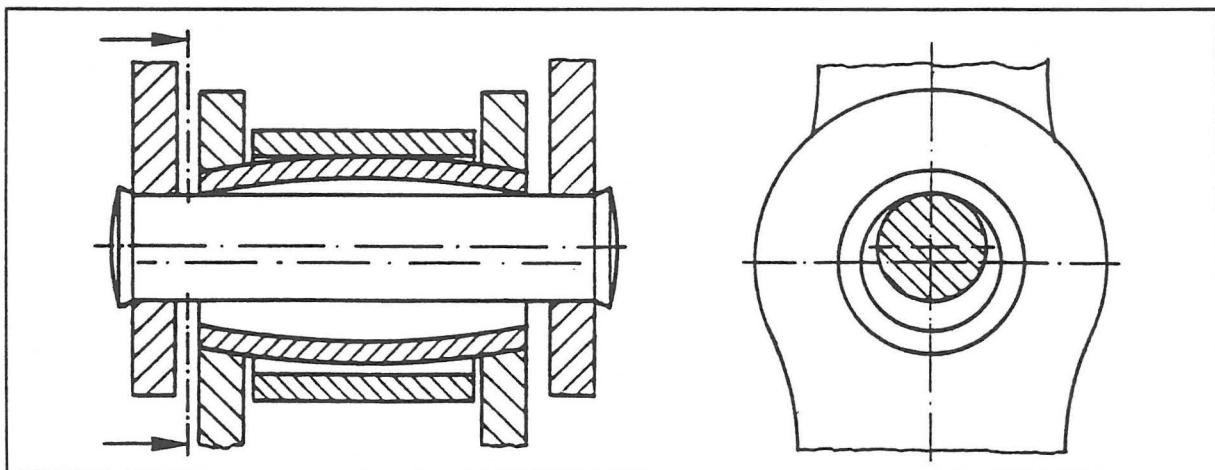


Bild 3.2: Berührverhältnisse Buchse - Lasche vor einer ersten Belastung (aus BINZ (1985))

Durch das Einpressen der Buchse in die Bohrung der Innenlasche entsteht die in **Bild 3.2** überdeutlich dargestellte Durchmesserverringering im Bereich der Buchsenenden. Der Unterschied der Durchmesser in der Mitte und an den Randbereichen der Buchse verhindert eine Linienberührung zwischen Buchse und Bolzen über die gesamte Breite des Kettengelenks. Der Kontakt beschränkt sich auf den Laschenbereich. Die damit einhergehende hohe Flächenpressung beschleunigt den Materialabtrag und führt zu einem raschen Anstieg der Kettenlänge.

Die durch eine verringerte Fugenpressung der Buchse-Lasche-Preßverbindung gegebene prinzipielle Möglichkeit der Reduzierung der Buchsenverformung ist durch die Auswirkung dieser Maßnahme auf andere Qualitäts- und Festigkeitseigenschaften der Kette begrenzt:

Die aufgrund der dynamischen Belastung der Kettenglieder besonders wichtige Gestaltfestigkeit der Rollenkette wird durch die Wahl eines kleineren Übermaßes ebenso herabgesetzt wie die Übertragungsfähigkeit der Preßverbindung hinsichtlich axialer Kräfte, welche beispielsweise durch Fluchtungsfehler im Kettentrieb auftreten können. Von BINZ wurden daher theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einfluß des Übermaßes der Bolzen-Buchsen-Preßverbindung auf die Buchsenverformung und zum Einlaufverschleißverhalten durchgeführt. Ziel war es, ein optimales Übermaß zu finden, das sowohl ein gutes Einlaufverschleißverhalten als auch befriedigende Festigkeitseigenschaften der Kette gewährleistet.

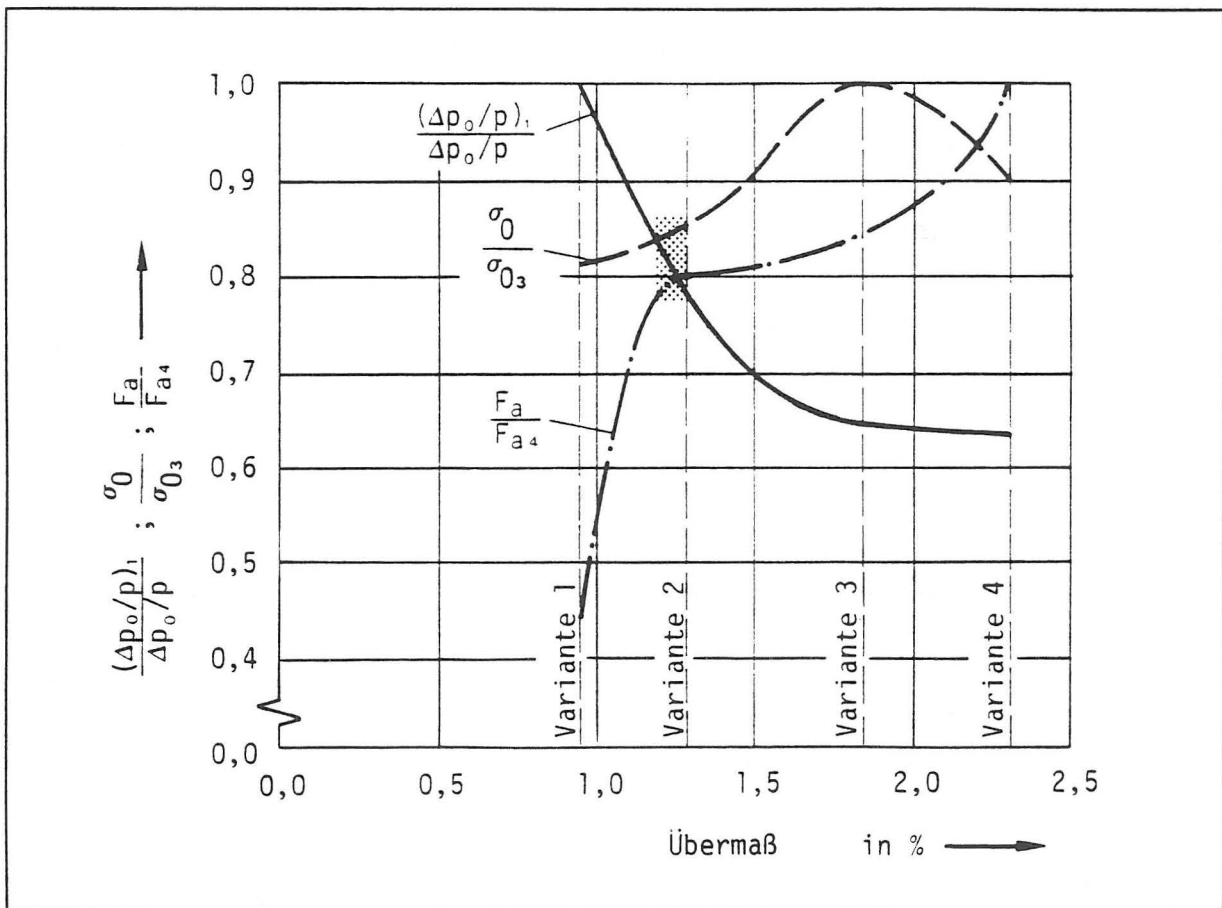


Bild 3.3: Versuchsergebnisse von BINZ (aus BINZ (1985))

Mit verschiedenen Varianten von Rollenketten hat BINZ Verschleiß- und Dauerschwingversuche durchgeführt und die Buchsenausdrückkräfte gemessen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in **Bild 3.3** in Abhängigkeit vom Übermaß normiert aufgetragen. Die in **Bild 3.3** dargestellten Werte der ertragbaren Oberspannung (— —), der Buchsenausdrückkräfte (— - —) und des Einlaufverschleißverhaltens (————) sind auf den Maximalwert der jeweils besten Variante bezogen. Damit sind steigende Ordinatenwerte stets mit positiven Qualitätseigenschaften verbunden. Wie **Bild 3.3** zeigt, wird mit steigendem Übermaß das Einlaufverhalten schlechter, während die Gestaltfestigkeit und die Buchsenausdrückkräfte zunehmen.

Ein annehmbarer Kompromiß zwischen den gegenläufigen Qualitätsanforderungen wird bei einem Übermaß von ca. 1,2% erreicht. Durch die Veränderung der Bolzen-Buchse-Passung konnte somit der Einlaufverschleiß verringert werden.

3.3 Einsatz von Verschleißschutzschichten durch PAWLIK

PAWLIK hat die Untersuchungen von BINZ mit dem Ziel fortgeführt, das immer noch nicht zufriedenstellende Verschleißverhalten weiter zu verbessern.

Durch eine Analyse des Tribosystems Rollenkettengelenk kam PAWLIK zu der Erkenntnis, daß insbesondere die Auswirkungen der durch den Einsatz oberflächentechnischer Maßnahmen bedingten Veränderung der Stoffeigenschaften der Gelenkbauteile nur ungenügend erforscht sind.

Zunächst wurden geeignete Oberflächenbehandlungsverfahren ausgewählt. Infolge vieler zu beachtender Randbedingungen, wie beispielsweise

- Anforderungen an den Grundwerkstoff
- Verfahrenstemperatur
- Schichtdicke
- Werkstückform und -abmessung
- Reproduzierbarkeit
- Erfordernisse einer Serienfertigung

wurden folgende Verfahren für die Untersuchung ausgewählt:

- Badnitrieren
- Kugelstrahlen der (Bolzen-) Oberfläche
- Chemische Nickelschicht

Bei Arnold & Stolzenberg wurden dann Versuchsketten hergestellt, die sich durch unterschiedlich oberflächenbehandelte Bolzen bzw. Buchsen auszeichneten. Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde auf weitgehend serienmäßig hergestellte Teile für Rollenketten nach DIN

8187-08B zurückgegriffen, wie sie für Standardketten mit einsatzgehärteten Bolzen und Buchsen verwendet werden. Um eine Aussage zum Verschleißverhalten der verschiedenen Kettenvarianten zu erhalten, wurde die mittlere relative Teilungszunahme in Abhängigkeit von der Versuchsdauer dokumentiert. Für jede Bolzen-Buchse-Werkstoffkombination wurden drei Versuchsketten über jeweils 400 Stunden Versuchsdauer gefahren.

Ein Teil der Versuchsergebnisse zeigt **Bild 3.4** (vgl. PAWLIK (1990)). Für einsatzgehärtete und vernickelte Bolzen sind die Verschleißkennlinien für verschiedene oberflächenbehandelte Buchsen dargestellt. Aus **Bild 3.4** kann folgendes entnommen werden:

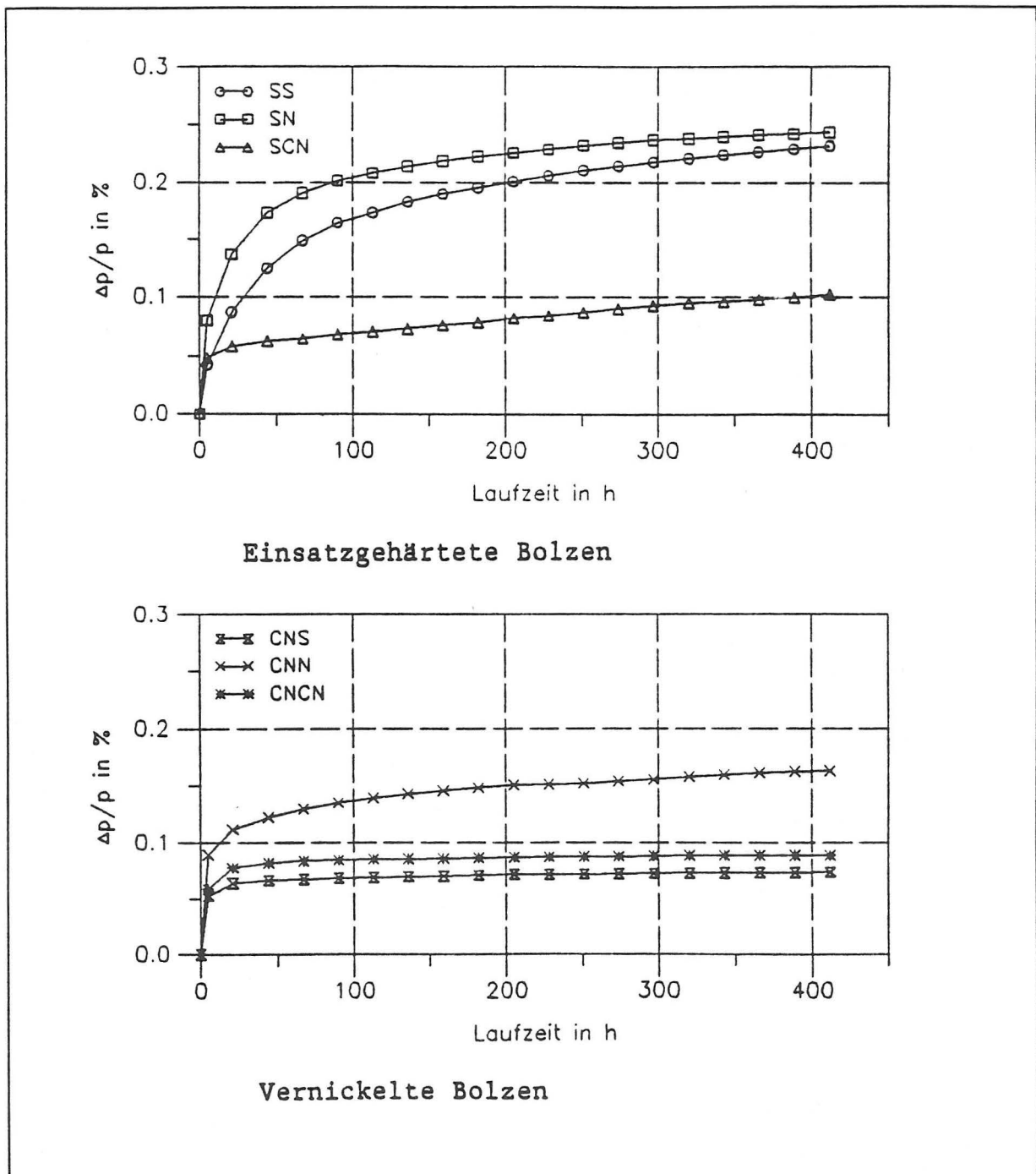


Bild 3.4: Verschleißkennlinien oberflächenbehandelter Bolzen und Buchsen (aus PAWLIK (1990))

- Bei einsatzgehärteten Bolzen bringt eine nitrierte Buchse (SN) gegenüber der Standardkette (SS) keine Verbesserung des Verschleißverhaltens. Vernickelte Buchsen (SCN) führen hier zur geringsten Kettenlängung.
- Ein wesentlich niedrigeres Niveau der Kettenlängung läßt sich beim Einsatz vernickelter Bolzen beobachten. Am ungünstigsten verhält sich hier eine Kombination mit nitrierter Buchse (CNN). Bemerkenswert ist, daß der Verschleiß bei den Varianten mit einsatzgehärteter Buchse (CNS) bzw. vernickelter Buchse (CNCN) nach einer Versuchsdauer von ca. 50 Stunden nicht mehr meßbar zunimmt (sogenannter Nullverschleiß).

Die Verschleißversuche wurden von Pawlik auch durch metallographische Untersuchungen mit Hilfe von Elektronenstrahl-Mikroanalysen (ESMA) und Elektronenspektroskopie zur chemischen Analyse (ESCA) begleitet. Um die Verschleißbeiträge der Bolzen und Buchsen zu ermitteln, wurden ferner verschlissene Bolzen und Buchsen mit einem hochgenauen Rundheitsmeßgerät vermessen. Dies erwies sich jedoch als schwierig, da durch die Oberflächenbehandlung der Verschleiß nur noch in der Größenordnung der Formabweichungen von Bolzen bzw. Buchse lag.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß durch die Vernicklung des Bolzens der Gelenkverschleiß sehr stark reduziert wird. Ein günstiger stationärer Verschleißzustand wird nach sehr kurzer Einlaufzeit erreicht. Bei guten Schmierbedingungen kann nach dem Einlaufen ein "Nullverschleiß" festgestellt werden.

4. Aktuelle Probleme und Forschungsvorhaben

4.1 Stand der Kettenforschung

Zum Thema "Ketten" wurde und wird fast ausschließlich in Deutschland geforscht. So erschien bereits im Jahr 1928 eine Dissertation von GEISTER (1928) mit dem Titel "Untersuchung der Rollenkettentriebe und der Zahnkettentriebe mit Berücksichtigung der Triebstockverzahnung". Seit dem sind etwa 25 Dissertationen und mehr als 180 Fachaufsätze veröffentlicht worden.

Die vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungen zu Ketten befassen sich hauptsächlich mit den zur Übertragung von hohen Leistungen bei gleichzeitig großen Kettengeschwindigkeiten geeigneten Antriebsketten. Ziel der meisten wissenschaftlichen Untersuchungen und der Bemühungen der Kettenhersteller ist es daher, die spezifischen Nachteile der Rollenkettentriebe zu vermindern. Neben den durch den Polygoneffekt hervorgerufenen Bewegungsungleichmäßigkeiten, Schwingungen und Stößen sowie zum Teil erheblichen Geräuschemissionen wurde insbesondere die durch den Gelenkverschleiß verursachte Kettenlängung untersucht. Durch Verbesserung der

Schmierbedingungen, konstruktive Änderungen und werkstofftechnische Maßnahmen an den Bauteilpaarungen konnte die Gebrauchsdauer der Rollenkette erheblich gesteigert werden.

Theoretische und experimentelle Untersuchungen über andere Kettenbauarten (z.B. Zahnketten) oder über Ketten für andere Anwendungsbereiche (z.B. Steuerketten) gibt es kaum oder nur zu speziellen Problemen. Dabei hat gerade die charakteristische Eigenschaft, hohe Zugkräfte bei relativ niedrigen Umfangsgeschwindigkeiten aufnehmen zu können, den Kettentrieb auch in der Fördertechnik eine weite Verbreitung finden lassen. Hier werden auf Basis der Kettengrundbauarten modifizierte Kettentypen angeboten, die mittels besonders gestalteter Anbauteile eine Anpassung an unterschiedliche Förderaufgaben ermöglichen. Die vorliegenden Untersuchungen über Förderketten beschäftigten sich vorwiegend mit großgliedrigen Förderketten für den Bergbau, die bedingt durch den großen Polygoneffekt und die rauen Umgebungsbedingungen sehr schnell verschleifen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind sehr speziell und können daher kaum auf andere Kettentriebe übertragen werden.

Neben dem Einsatz in der Antriebs- oder Fördertechnik gibt es gerade für Rollenketten Anwendungen, die sich nicht eindeutig einem dieser beiden Bereiche zuordnen lassen, die aber durch folgende Punkte gekennzeichnet werden können:

- im Verhältnis zur Bruchkraft relativ kleine Kettenkräfte
- Kettengeschwindigkeiten von 0,5 bis 5 (8) m/s
- Übertragung von (Lage-) Informationen
- Einsatz von Kettenführungen
- zwei Drehrichtungen möglich
- Anordnung von parallelen Kettensträngen

Wegen der Komplexität dieser Kettenanwendungen werden derartige Kettentriebe auch als "Kettensysteme" (Kette, Kettenrad und Kettenführung) bezeichnet. Kettensysteme dieser Art sind beispielsweise in Verpackungs-, Buchbinde- und Druckmaschinen sowie, neuerdings wieder verstärkt, in PKW-Motoren zum Antrieb von Nockenwellen zu finden. Zur Unterscheidung von der Antriebs- und Fördertechnik wird dieser Anwendungsbereich als "Bewegungstechnik" bezeichnet.

Mit steigender Maschinengeschwindigkeit sind die Anforderungen an die Kettensysteme in der Bewegungstechnik immer höher geworden. Viele Maschinenhersteller haben ihre Kettensysteme daher ständig verbessert und weiterentwickelt. Trotz auftretender Probleme gibt es dazu aber noch keine wissenschaftlichen Untersuchungen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß einige Bereiche der Antriebs- und Fördertechnik heute bereits sehr gut erforscht sind. Andererseits gibt es immer noch Anwendungsbereiche, die nicht oder nur kaum wissenschaftlich untersucht sind. Es fällt jedoch schwer, die bisherigen Forschungsaktivitäten systematisch zu ordnen, um dabei möglicherweise noch nicht bearbeitete Forschungsfelder zu finden. Dafür können folgende Gründe genannt werden:

- Durch die Entwicklung neuer Theorien und infolge verbesserter Meßtechnik sind einige Arbeiten als überholt zu betrachten.
- In vielen Arbeiten wird der Versuch unternommen, Verschleißvorgänge und kinematische/dynamische Vorgänge theoretisch/mathematisch exakt zu beschreiben. Dabei werden Annahmen gemacht, die eine Übertragung der Ergebnisse in die Praxis oft nicht zulassen.
- Die Weiterentwicklung der Fertigungsverfahren und die gleichbleibende Werkstoffqualität haben zu einer früher nicht verfügbaren Kettenqualität geführt, die heute jedoch als Ausgangsbasis für Untersuchungen dient.
- Die kettenherstellende Industrie ist stark mittelständisch geprägt; eine gemeinsame Forschung dieser Industrie gibt es nicht.
- Es gibt eine Vielfalt von Kettenanwendungen, die dazu führte, daß die Anwender die Kettentriebe selbst weiterentwickelten. Ein Wissenstransfer zwischen den Anwendern findet kaum statt.
- An den Hochschulen gibt es keine in Kontinuität der Kettenforschung.

4.2 Aktuelle Forschungsvorhaben

Am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik befassen sich gegenwärtig zwei wissenschaftliche Mitarbeiter mit Forschungsvorhaben zu Rollenkettenrieben: Herr E. DÖRSAM seit April 1989 und Herr M. KRAUS seit September 1990.

4.2.1 Forschungsvorhaben "Kettentriebe mit Kettenführungen"

Eine Problemstellung aus der Verpackungsmaschinenindustrie war der Anlaß, sich mit Kettensystemen der Bewegungstechnik zu befassen. Bei dem Kettensystem der Verpackungsmaschine war die Kettenführung und das Kettenrad konstruktiv so gestaltet, daß die Kette bis zum Teilkreis geführt wurde. Dadurch wird die Kinematik so stark verändert, daß die bisher bekannten Theorien zur Kinematik der Kettentriebe nicht mehr angewendet werden können. Selbst einfache Fragen, wie die nach dem Ort x der Kette zu einem beliebigen Zeitpunkt t , können nicht mehr zufriedenstellend beantwortet werden. Gerade aber bei der Kopplung mehrerer Kettentriebe und bei immer weiter steigenden Maschinen- bzw. Kettengeschwindigkeiten müssen die durch den Polygoneffekt verursachten Bewegungsungleichmäßigkeiten der Kette berücksichtigt werden. Geschieht dies nicht, sind ein hoher Lärmpegel und starker Verschleiß die Folge.

Da über derartige Kettentriebe mit Kettenführungen keine wissenschaftlichen Untersuchungen vorliegen, begann DÖRSAM im Jahr 1989 mit dem Forschungsvorhaben "Kettentriebe mit Kettenführungen" am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik. Dabei sollen theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden.

Mit den theoretischen Untersuchungen soll zunächst ein Modell zur Beschreibung der Kinematik von Rollenketten unter Berücksichtigung von Kettenführungen mit dem Ziel erstellt werden, die Bewegung der Rollenkette analytisch zu beschreiben. Anschließend soll eine vergleichende Untersuchung hinsichtlich der Bewegungsungleichmäßigkeiten bei verschiedenen Anordnungen der Kettenführungen am Kettenrad erfolgen und das dynamische Verhalten der Rollenkette untersucht werden. Abschließend sollen dann Gestaltungsempfehlungen für die Anordnung von Kettenführungen gegeben werden.

Zur Überprüfung der theoretisch gewonnenen Ergebnisse sind experimentelle Untersuchungen mit folgenden Schwerpunkten vorgesehen:

- Anordnung und Gestaltung der Kettenführung
- Verschleiß an Kettenrad, Rolle, Kettengelenk und Führungsbahn
- Abschätzung einer maximalen Kettengeschwindigkeit

Diese Untersuchungen sollen in Zusammenarbeit mit der Industrie zusätzlich durch Messungen an realisierten Kettensystemen ergänzt werden.

4.2.2 Forschungsvorhaben "Mangelschmierung"

Eine gute Schmierung der Kette ist Voraussetzung für eine hohe Lebensdauer des Kettentriebes. Nicht bei allen Kettenanwendungen ist aber ein für die Kette optimaler Betrieb möglich, wie sich an dem extremen Beispiel Motorradkette leicht demonstrieren läßt. Da der Trend zu längeren Wartungsintervallen unverändert anhält und die Maschinenhersteller gleichzeitig längere Garantie- und Gewährleistungsfristen gewähren müssen, sind die Anforderungen an einen wartungsarmen Betrieb der Kette gestiegen. Hinzu kommt, daß in einigen Branchen, wie beispielsweise der Lebensmittel- und Druckmaschinenindustrie, weitgehend auf eine Schmierung verzichtet werden muß.

Ziel für die Konzeption einer wartungsarmen Kette ist es, der Kette nur so viel und so oft Schmierstoff zuzuführen, wie sie gerade benötigt; der Kettentrieb soll bei "Mangelschmierung" betrieben werden. Während japanische Kettenhersteller an solchen Entwicklungen arbeiten, hat die deutsche Kettenindustrie noch keine entsprechenden Initiativen vorzuweisen.

Auf Grundlage der Arbeiten von BINZ (1985) und PAWLIK (1990) befaßt sich daher KRAUS seit 1990 mit einem Forschungsvorhaben zur "Mangelschmierung an Kettentrieben" am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik.

5. Literatur

- BERENTS, R.: Handbuch der Kettentechnik
Arnold & Stolzenberg GmbH, Einbeck, 1989
- BINZ, H.: Untersuchung des Einlaufverschleißverhaltens von Rollenketten unter besonderer Berücksichtigung der Buchse-Lasche-Preßverbindung
Dissertation, TH Darmstadt 1985
- COENEN, W.: Rollenketten
VDI-Z 128 (1986) Nr. 8, Seite 265 - 273
- FINK, M.; JANBEN, F. M.: Laufverbesserungen großgliedriger Kettentriebe durch Verminderung der Polygon- und Umlenkeffekte
Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1848
Westdeutscher Verlag, Opladen 1967
- GEISTER, E.: Untersuchung der Rollenkettentriebe und der Zahnkettentriebe mit Berücksichtigung der Triebstockverzahnung
Dissertation TH Breslau, 1928
- LANGER, H.-P.: Verformungen in Flachriemen und Beitrag zur Bestimmung ihres mittleren Reibwertes
Dissertation TH Darmstadt, 1977
- MÜLLER, B.: Die moderne Gelenkkette und ihr Entwicklungsgang
Die Fördertechnik 1913, Heft 3, Seite 50 - 53
- NIEMANN, G.; Winter, H.: Maschinenelemente Band III
Zweite, völlig neubearbeitete Auflage
Berlin: Springer Verlag 1983
- PAWLIK, C.: Untersuchungen über den Einfluß unterschiedlich oberflächenbehandelter Bolzen-/Buchsen-Paarungen auf das Verschleißverhalten von Rollenketten
Dissertation TH Darmstadt 1990
- POOZA, A.: Möglichkeiten zum Ausgleich der Ungleichförmigkeit der Bewegung langgliedriger Ketten
Konstruktion 11(1959) Heft 12, S. 479
- RAAB, W.; BINZ, H.: Drehmoment- und Drehzahlmessung an einem Kettenprüfstand
Messtechnische Briefe 20 (1984), Heft 2, S. 35 - 40
- RAAB, W.; MOCKER, W.: Bericht zum DFG-Forschungsvorhaben "Steigerung der Raumleistung von Riemengetrieben", TH Darmstadt 1982
- SCHNEIDER, J.: Konstruktionskataloge als Hilfsmittel bei der Entwicklung von Antrieben
Dissertation TH Darmstadt, 1985
- STÜMPFEL, H.: Zwei Getriebe zur Minderung des Polygoneffektes bei Kettentrieben
Konstruktion 39(1987) Heft 11, S. 456 - 458

Verzeichnis der bisher am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik erstellten Dissertationen (Stand: August 1991)

BINZ, HANSGEORG

Untersuchung des Einlaufver-
schleißverhaltens von Rollenketten unter
besonderer Berücksichtigung der Buchse-
Lasche-Preßverbindung
Dissertation TH Darmstadt, 1985

BOEHME, ANDREAS

Entwicklung einer heuristischen
Analysemethode zur Ermittlung
ergonomiebezogener Schwachstellen in
Wirksystemen
Dissertation TH Darmstadt, 1987

EWALD, OTTO

Tabellarische Lösungssammlung als
Hilfsmittel für das methodische Konstruieren
Dissertation TH Darmstadt, 1974

GUTBERLET, THOMAS

Konzeptentwicklung zur informationellen
Unterstützung ergonomiegerechten
Konstruierens unter Einsatz
rechnergestützter Wissensverarbeitung
Dissertation TH Darmstadt, 1990

LANGER, HANS-PETER

Verformungen in Flachriemen und Beitrag
zur Bestimmung ihres mittleren Reibbei-
wertes
Dissertation TH Darmstadt, 1977

LÜPERTZ, HENNING

Neue zeichnerische Darstellungsart zur
Rationalisierung des Konstruktionsprozesses
vornehmlich bei methodischen
Vorgehensweisen
Dissertation TH Darmstadt, 1974

MAYER, ERNST

Das Schutzsystem, ein Element der
mittelbaren Sicherheitstechnik aus
kybernetischer und systemtheoretischer Sicht
Dissertation TH Darmstadt, 1975

NEUDÖRFER, ALFRED

Gesetzmäßigkeiten und systematische
Lösungssammlungen der Anzeiger und
Bedienteile
Dissertation TH Darmstadt, 1980

PAWLIK, CHRISTIAN

Untersuchungen über den Einfluß
unterschiedlich oberflächenbehandelter
Bolzen/Buchsen-Paarungen auf das
Verschleißverhalten von Rollenketten
Dissertation TH Darmstadt, 1990

PERSEKE, WINFRIED

Untersuchung zur Mehrfachkerbwirkung
beim Zusammentreffen von Paßfedernut
und Wellenabsatz sowie Paßfedernut und
Sicherungsringnut
Dissertation TH Darmstadt, 1984

ROGLER, ERNST

Entwicklung und Einsatz eines lernfähigen
rechnergestützten Informationssystems für
komplexe technische Systeme als Hilfsmittel
zur Wissensverarbeitung
Dissertation TH Darmstadt, 1988

SCHNEIDER, JÜRGEN

Konstruktionskataloge als Hilfsmittel bei der
Entwicklung von Antrieben
Dissertation TH Darmstadt, 1985

STORANDT, RALF

Systematische Untersuchung zur Verbesserung des Verletzungsschutzes im alpinen Skilauf und Konzeption eines neuen Skibindungssystems
Dissertation TH Darmstadt, 1980

UNLAND, GEORG

Entwicklung eines Ultraschallzerstäubungsgerätes mit Hilfe der Konstruktionsystematik
Dissertation TH Darmstadt, 1980

WEIGAND, MICHAEL

Untersuchung der Beanspruchung von Paßfederverbindungen bei umlaufender Biegebelastung
Dissertation TH Darmstadt, 1991

ZANG, RUPERT

Beanspruchungen in der Welle einer Paßfederverbindung bei statischer und dynamischer Torsionsbelastung
Dissertation TH Darmstadt, 1987

Verzeichnis der bisher am Fachgebiet Maschinenelemente und Mechanik erstellten Studien- und Diplomarbeiten (Stand: August 1991)

ALBECK, DIETER

Studienarbeit: Entwicklung eines aufliegenden Türschließers
Jahr: 1978 Betreuer: VOOS

ALLERSMEIER, BERND

Studienarbeit: Erprobung einer systematischen
Zusammenstellung von Maschinenelementen beim Entwerfen
Jahr: 1971 Betreuer: EWALD

ANDRAE, JÜRGEN

Diplomarbeit: Berechnungen der Spannungen und
Verformungen von Rollenkettenbauteilen mit der Methode
der Finiten Elemente
Jahr: 1984 Betreuer: BINZ/LEIDICH

ARIN, HAKAN

Studienarbeit: Konstruktion eines Verspannungsprüfstands für
Umlaufbiegeversuche an Welle-Nabe-Verbindungen mit
überlagerter statischer Torsion
Jahr: 1990 Betreuer: WEIGAND

ARNOLD, GREGOR

Studienarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an
biegebelasteten Paßfederverbindungen
Jahr: 1990 Betreuer: WEIGAND

AYAZ, MAHMUT

Studienarbeit: Raumleistungsuntersuchungen an
verschiedenen Getriebebauarten
Jahr: 1979 Betreuer: MOCKER

BACHMANN, MATTHIAS

Studienarbeit: Einführung des CAD-Systems "MicroCADDs
Personal Designer" am Fachgebiet Maschinenelemente und
Mechanik
Jahr: 1989 Betreuer: WEIGAND/GRÖSSER

BÄHR, GERHARD

Studienarbeit: Erprobung und Weiterentwicklung eines
Meßverfahrens zur Bestimmung des örtlichen Schlupfes
Jahr: 1975 Betreuer: LANGER/PROF. BUSCHMANN

BAIER, JOACHIM

Studienarbeit: Erstellen eines Konstruktionskataloges für
Energiespeicher
Jahr: 1984 Betreuer: SCHNEIDER

BAUER, MICHAEL

Diplomarbeit: Planung der Schwingfestigkeitsprüfung von
Paßfederverbindungen
Jahr: 1989 Betreuer: WEIGAND

BAUMEL, HELMUT

Studienarbeit: Entwurf einer Schlagbohrmaschine
Jahr: 1983 Betreuer: SCHNEIDER

BAUMGARTEN, HEINZ-OTTO

Studienarbeit: Entwurf einer Pkw-Anhänger-Baureihe in
punktgeschweifter Ausführung
Jahr: 1971 Betreuer: LANGER

BAURMANN, ARMIN

Studienarbeit: Untersuchungen zur Erweiterung und
Modifikation des Rechnerprogramms SCHRAUBE zur
Berechnung von Schraubenverbindungen
Jahr: 1990 Betreuer: GRÖSSER

BECK, ERHARD

Studienarbeit: Untersuchungen zur Kerbwirkung an den
Mehrfachkerben Paßfedernut-Sicherungsringnut und
Paßfedernut-Wellenabsatz
Jahr: 1983 Betreuer: PERSEKE

BECKER, WOLFGANG

Diplomarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an einem
ebenen Modell einer Paßfederverbindung
Jahr: 1984 Betreuer: ZANG

BECKER, WOLFGANG

Studienarbeit: Durch eine Befragung von MB-Studenten soll
ermittelt werden, welche Vor- und Nachteile eine am Institut
neu entwickelte Darstellungsart gegenüber der zur Zeit
genormten Darstellungsart für Entwürfe aufweist
Jahr: 1974 Betreuer: LÖPERTZ

BEHRNDT, ROLF

Studienarbeit: Entwicklung und Überprüfung von
Lösungskonzepten für einen Simulationsprüfstand für
Verschleißuntersuchungen an Rollenkettingliedern
Jahr: 1982 Betreuer: BINZ

BENZING, GERD-DIETER

Diplomarbeit: Raumleistung als Kriterium zur Bewertung von
Getrieben
Jahr: 1979 Betreuer: MOCKER

BERGER, HARALD

Studienarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an
Querschnittsübergängen von Wellen
Jahr: 1987 Betreuer: WEIGAND

BETH, MATTHIAS

Studienarbeit: Konstruktion eines Kleinstmengendosierers für
Schüttgüter
Jahr: 1987 Betreuer: BINZ

BIEMER, ERNST

Studienarbeit: Erst. von techn. Zeichnungen auf numerisch
gesteuerten Zeichenmasch. / Erkundung der Programmierung
auf dem Markt befindlicher Zeichenmasch. / Kritische
Beurteilung im Hinblick auf Erstellung von techn.
Zeichnungen für den Maschinenbau
Jahr: 1971 Betreuer: LÖPERTZ

BIESOLD, WOLFGANG

Diplomarbeit: Konstruktion eines Kettenprüfstandes mit
mechanischer Leistungsrückführung
Jahr: 1988 Betreuer: PAWLK

BINZ, HANSGEORG

Studienarbeit: Konstruktion einer Ballwurfmaschine für
Tennispieler
Jahr: 1979 Betreuer: SLEDZIEJOWSKI/UNLAND

BITZ, GERD

Studienarbeit: Weiterentwicklung bekannter Verfahren zur
Herstellung von Halbzeugen sowie fertiger Modelle für
spannungsoptische Untersuchungen
Jahr: 1982 Betreuer: PERSEKE

BLÜMMEL, GERHARD

Studienarbeit: Systematischer Katalog für Informationsquellen
Jahr: 1977 Betreuer: NEUDÖRFER

BOLZA-SCHÜNEMANN, ALBRECHT

Studienarbeit: Entwicklung einer Skibindung (Plattenbindung mit seitlicher Halterung)

Jahr: 1976 Betreuer: MAYER

BRANDT, JÜRGEN

Studienarbeit: Erstellung eines Baukastensystems Industrieroboterperipherie

Jahr: 1988 Betreuer: PAWLK

BRAUER, MARTIN

Studienarbeit: Konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung von Störungen beim Einlaufen der Rollenkette ins Kettenrad

Jahr: 1990 Betreuer: DÖRSAM

BRINKROLF, HEINRICH

Studienarbeit: Begriffe und Definitionen in der Sicherheitstechnik

Jahr: 1975 Betreuer: MAYER

BUCHHOLZ, KARL-HEINZ

Studienarbeit: Anwendung tabellarischer Lösungssammlungen beim Konstruieren

Jahr: 1975 Betreuer: EWALD

BULLERSCHEN, BERT

Studienarbeit: Ermittlung der Anforderungen an eine firmeninterne Software zur Teileklassifizierung mit anschließender Programmgestaltung und -erprobung

Jahr: 1989 Betreuer: GRÖSSER

CAESAR, BERND

Studienarbeit: Entwicklung einer Prüfmaschine zur Ermittlung der Dauerfestigkeit von Wellen bei zusammengesetzter Wechselbeanspruchung

Jahr: 1972 Betreuer: LÖPERTZ

CHRISTMANN, RAINER

Studienarbeit: Zusammenhang zwischen Belastbarkeit des menschlichen Beines und dem Auslöseverhalten einer Skibindung aus der Sicht des Ingenieurs

Jahr: 1980 Betreuer: VOOS

DEMEL, WOLFGANG

Diplomarbeit: Erhöhung der Lebensdauer von Rollenketten durch Oberflächenbehandlung

Jahr: 1986 Betreuer: PAWLK

DEPPE, FRANK

Studienarbeit: Erprobung eines Riemenprüfstandes

Jahr: 1974 Betreuer: LANGER

DEUTSCHER, OSWALD

Studienarbeit: Messung des örtlichen Schlupfes von Flachriemen

Jahr: 1974 Betreuer: LANGER

DEY, HANS-JOACHIM

Studienarbeit: Entwurf eines Wandarmbaukastensystems unter besonderer Berücksichtigung des Gewichtsausgleichs

Jahr: 1980 Betreuer: PERSEKE/UNLAND

DIETZ, GEORG

Diplomarbeit: Konzeption einer Vorrichtung zum Verfüllen kleinster Partikel

Jahr: 1989 Betreuer: PROF. RAAB/ROGLER

DIETZ, WOLFGANG

Studienarbeit: Recherche über Untersuchungen an Rollenketten, insbesondere bezüglich Wirkungsgrad, Verschleiß und Lebensdauer

Jahr: 1982 Betreuer: BINZ

DIOSI, GABOR

Diplomarbeit: Erstellung eines Lösungskataloges für mechanische Huberzeuger

Jahr: 1982 Betreuer: SCHNEIDER

DISSER, ROLAND

Diplomarbeit: Erstellung eines Konstruktionskataloges für Kupplungen

Jahr: 1983 Betreuer: SCHNEIDER

DÖRSAM, EDGAR

Studienarbeit: Entwicklung eines Abdichtsystems zur Begrenzung von Flüssigkeiten auf den Haarbereich am menschlichen Kopf

Jahr: 1988 Betreuer: ROGLER

DREIBHOLZ, DIETER

Studienarbeit: Entwicklung einer symbolischen Darstellungsweise für mechanische Getriebe

Jahr: 1969 Betreuer: LÖPERTZ

EBERLE, FRANZ

Studienarbeit: Erstellung eines Konstruktionskataloges für mechanische Lineartriebe

Jahr: 1984 Betreuer: SCHNEIDER

EISENBACH, BERND

Studienarbeit: Untersuchung einer neu vorgestellten Wellen-Naben-Verbindung mit verschiedenen ausgeführten elliptischen Mitnehmern

Jahr: 1981 Betreuer: PERSEKE

EISER, ARMIN

Studienarbeit: Konstruktion eines aufliegenden Türschließers mit elektrischem Antrieb

Jahr: 1982 Betreuer: SCHNEIDER

ENGEL, ANDREAS

Studienarbeit: Aufzeigen technischer und logistischer Entwicklungstrends für Druckmaschinen unter Berücksichtigung von Analogien zur Werkzeugmaschinen-Branche

Jahr: 1990 Betreuer: GRÖSSER

ESSER, CHRISTOPH

Studienarbeit: Entwicklung einer Skischuh- und Sicherheitsbindungskombination mit Ballengelenken für den alpinen Skilauf

Jahr: 1981 Betreuer: VOOS

FABRIG, PETER

Diplomarbeit: Entwicklung des Konzepts eines rechnergestützten Analyse- und Dokumentationssystems für die Ermittlung von Produktanforderungen

Jahr: 1991 Betreuer: GRÖSSER

FAUPEL, BERND

Studienarbeit: Systematische Suche nach Abdichtsystemen

Jahr: 1985 Betreuer: ROGLER

FELLMANN, HOLGER

Studienarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an Augenstäben

Jahr: 1984 Betreuer: ZANG

FISLAKE, MARTIN

Wiss. Hausarbeit: Systematische Darstellung des Wissens über formschlüssige Verbindungen im Rahmen einer methodischen Betrachtung der Maschinenelemente

Jahr: 1990 Betreuer: DÖRSAM

FLECHSEL, WOLFGANG

Studienarbeit: Experimentelle Untersuchungen an Hülltrieben

Jahr: 1983 Betreuer: MOCKER

FRANK, WIELAND

Studienarbeit: Erstellen einer Anforderungsliste für die Neuentwicklung eines Bodenstativs

Jahr: 1984 Betreuer: ZANG

FREDE, CONRAD
Studienarbeit: Berücksichtigung ergonomischer Anforderungen bei der Gestaltung technischer Produkte und Systeme in der industriellen Praxis - Analyse der Vorgehensweise und der eingesetzten Hilfsmittel
Jahr: 1987 Betreuer: GUTBERLET

FREDE, CONRAD
Diplomarbeit: Bestimmung und Konkretisierung ergonomischer Anforderungen an Technische Systeme
Jahr: 1988 Betreuer: GUTBERLET

FREUND, HERMANN
Diplomarbeit: Untersuchung der verschiedenen Dokumentationsverfahren auf ihre Eignung zur inhaltserschließenden Dokumentation von Patenten
Jahr: 1979 Betreuer: VOOS

FRIEDRICH, RICHARD
Wiss. Hausarbeit: Untersuchungen zum Einfluß von spezifischer Flächenpressung und Gleitgeschwindigkeit im Kettengelenk auf das Verschleißverhalten von Rollenkettengetrieben
Jahr: 1986 Betreuer: PROF. RAAB/PAWLIK

FUCHS, HANS-HERBERT
Studienarbeit: Systematischer Katalog der Anzeigeelemente
Jahr: 1979 Betreuer: NEUDÖRFER

GABER, VOLKER
Diplomarbeit: Erstellung eines Rechnerprogramms zur Ermittlung der Formzahlen für Torsion an rotationssymmetrischen Wellen
Jahr: 1983 Betreuer: ZANG

GABRIEL, WOLFGANG
Studienarbeit: Experimentelle Bestimmung des Leistungsverzweignungsverhältnisses am Spreizrollentrieb
Jahr: 1983 Betreuer: MOCKER

GARTHE, PETER
Diplomarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an Lasteinleitungsstellen
Jahr: 1983 Betreuer: ZANG

GASSMANN, STEFAN
Studienarbeit: Entwicklung eines Elektronaglers
Jahr: 1984 Betreuer: SCHNEIDER

GEISLER, GERD
Studienarbeit: Prüfstand für Flachriemen
Jahr: 1974 Betreuer: LANGER

GEISS, MANFRED
Studienarbeit: Lösungskatalog der geschützten Flach- und Keilriemen
Jahr: 1979 Betreuer: MOCKER

GERBIG, DIETER
Diplomarbeit: Untersuchungen von Möglichkeiten der Dokumentation von Patentansprüchen zur Erarbeitung eines auch vom Konstruktionsbereich nutzbaren Patent-informationssystems auf der Basis tabellarischer Lösungssammlungen
Jahr: 1979 Betreuer: VOOS

GERNHARDT, DIRK
Studienarbeit: Analyse und Aufbereitung konstruktiver Lösungsprinzipien zur Realisierung ergonomischer Anforderungen
Jahr: 1989 Betreuer: GUTBERLET

GERNHARDT, DIRK
Studienarbeit: Analyse und Aufbereitung konstruktiver Lösungsprinzipien zur Realisierung ergonomischer Anforderungen
Jahr: 1989 Betreuer: GUTBERLET

GIRNUS, HERMANN
Studienarbeit: Optimierung einer konstruktiven Mehrfachkerbe am Maschinenelement Welle
Jahr: 1983 Betreuer: PERSEKE

GOLDBACH, ULRICH
Wiss. Hausarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an Paßfederverbindungen
Jahr: 1984 Betreuer: PROF. RAAB/ZANG

GOTTHARDT, MICHAEL
Studienarbeit: Wirkungsgradmessungen an Schmalkeilriemen
Jahr: 1980 Betreuer: MOCKER

GOTTSCHLING, HANS
Studienarbeit: Konstruktion einer Belastungsvorrichtung für die Durchführung spannungsoptischer Versuche an Paßfederverbindungen
Jahr: 1988 Betreuer: WEIGAND

GREHN, MARTIN
Studienarbeit: Konstruktion eines Kettentriebprüfstandes
Jahr: 1979 Betreuer: MOCKER/UNLAND

GREIL, CLAUS
Studienarbeit: Recherchieren und Ordnen der Fachliteratur aus dem Themenkreis Information/Dokumentation im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich
Jahr: 1979 Betreuer: VOOS

GRÖSSER, HORST
Studienarbeit: Rechenprogramme zur Berechnung elastischer zylindrischer Preßverbindungen und zentrisch oder exzentrisch verspannter Ein- und Mehrschraubenverbindungen
Jahr: 1985 Betreuer: BINZ

GRÖSSER, HORST
Diplomarbeit: Einsatz einer Analyseverfahren zur systematischen Ermittlung ergonomischer Schwachstellen in Wirksystemen am Beispiel von Bogenoffset-Druckmaschinen
Jahr: 1986 Betreuer: BOEHME

GÜNTHER, VOLKER
Diplomarbeit: Ebene spannungsoptische Untersuchungen zur Wirkung von Einschlüssen verschiedener Geometrien und E-Moduli auf die Werkstoffbeanspruchung
Jahr: 1990 Betreuer: WEIGAND/RENNEISEN

GUTBERLET, THOMAS
Diplomarbeit: Untersuchung vorhandener Mängellisten aufbauend auf Arbeitssystem-Analysen mit dem Ziel, Schwachstellen herauszufiltern, die im Verantwortungsbereich des Konstrukteurs liegen
Jahr: 1985 Betreuer: BOEHME

GUTHEIL, PETER
Diplomarbeit: Untersuchungen zur Entwurfs- bzw. Gestaltungsphase des Konstruktionsprozesses im Hinblick auf die äußere Formgebung von Industrieprodukten
Jahr: 1988 Betreuer: GRÖSSER

GYMNICH, VOLKER VON
Studienarbeit: Untersuchungen zu dem in der Spannungsoptik für Auswertungen räumlicher Versuche eingesetzten Verfahren der Isochromatenvervielfachung
Jahr: 1990 Betreuer: RENNEISEN

HACKELBÖRGER, HARALD
Studienarbeit: Erweiterung eines Hochgeschwindigkeitsprüfstandes für Flachriemen
Jahr: 1981 Betreuer: MOCKER

HAIN, JOHANNES
Diplomarbeit: Analyse des Handlungssystems Anforderungsermittlung in der Produktplanung und -entwicklung
Jahr: 1990 Betreuer: GRÖSSER

HARTMANN, GUIDO

Studienarbeit: Entwicklung von Grundlagen für ein rechnergestütztes Informationssystem allgemeiner und fachspezifischer methodischer Hilfsmittel (Methodenbank)
Jahr: 1990 Betreuer: GRÖSSER

HASCHKE, RAINER

Diplomarbeit: Systematische Erfassung der Schnittstellen des Menschen mit einem Personenkraftwagen
Jahr: 1979 Betreuer: NEUDÖRFER

HAUFE, RÜDIGER

Studienarbeit: Spannungsoptische Auswertungen
Jahr: 1983 Betreuer: PERSEKE/ZANG

HAUFE, WILFRIED

Studienarbeit: Untersuchungen zur Kerbwirkung an den Mehrfachkerben Paßfedernut-Sicherungsringnut und Paßfedernut-Wellenabsatz
Jahr: 1983 Betreuer: PERSEKE

HEIDEL, BERND

Studienarbeit: Messung des örtlichen Schlupfes am Flachriemen
Jahr: 1973 Betreuer: PROF. BUSCHMANN/LANGER

HEINBACH, HARALD

Studienarbeit: Theoretische Untersuchungen zur Optimierung des Preßverbandes Buchse-Innenlasche von Rollenketten
Jahr: 1985 Betreuer: BINZ

HEINMÜLLER, CHRISTIAN

Diplomarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an Biegebalken mit Bohrung
Jahr: 1983 Betreuer: ZANG

HENNINGS, LEIF

Studienarbeit: Abriß der historischen Entwicklung zur modernen technischen Zeichnung des Maschinenbaus / Zusammenstellung von Änderungsvorschlägen dazu aus der modernen Literatur
Jahr: 1973 Betreuer: LÖPERTZ

HENTZE, THOMAS

Studienarbeit: Anwendungen von Zuverlässigkeitstheorien auf Schutzsysteme
Jahr: 1978 Betreuer: MAYER

HERBENER, RAINER

Diplomarbeit: Methodisches Erarbeiten der Anforderungen an ein Patentinformationssystem aus der Sicht des Patentingenieurs
Jahr: 1980 Betreuer: VOOS

HICKETHIER, HEIKO

Studienarbeit: Erstellung eines Lösungskataloges der reibschlüssigen Getriebe
Jahr: 1981 Betreuer: MOCKER

HINKELMANN, HORST

Studienarbeit: Konstruktion einer Laufschieneneinheit und einer Neigungsverstellung für Bildschirmträgersysteme
Jahr: 1987 Betreuer: ROGLER

HOEFLICH, MICHAEL

Studienarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen eines Nutkeiles
Jahr: 1989 Betreuer: WEIGAND/RENNEISEN

HOFFMANN, HARTMUT

Studienarbeit: Konstruktion einer Kettenprüfeinrichtung
Jahr: 1982 Betreuer: BINZ

HOPPE, WOLFG.-EBERHARD

Studienarbeit: Prinzipielle Entwicklung einer Prüfmaschine zur Ermittlung der Dauerfestigkeit von Wellen bei zusammengesetzter Beanspruchung
Jahr: 1969 Betreuer: LÖPERTZ/MAYER

HÖRL, STEFAN

Diplomarbeit: Modellwerkstoffe und Modelltechnik bei spannungsoptischen Untersuchungen temperaturbedingter mechanischer Beanspruchungen der Zylinderköpfe von Verbrennungsmotoren
Jahr: 1989 Betreuer: RENNEISEN/WEIGAND

HORNISCHER, LUTZ

Studienarbeit: Erarbeiten eines Konzepts zur rechnerunterstützten Teileauswahl im Konstruktionsbereich
Jahr: 1989 Betreuer: GUTBERLET

HÖLLER, WINFRIED

Diplomarbeit: Technologische Grenzen für die Anwendung der Ähnlichkeitsgesetze
Jahr: 1976 Betreuer: MAYER

HUMMEL, THOMAS

Studienarbeit: Erstellen eines Konstruktionskataloges für bewegte Berührungsdichtungen
Jahr: 1985 Betreuer: ROGLER

IRLE, JOST-HEINRICH

Studienarbeit: Entwicklung einer Meßeinrichtung zur Messung der Teilung von Rollenketten
Jahr: 1991 Betreuer: DÖRSAM

JAKUBASCHKE, GERWIN

Studienarbeit: Entwicklung eines Studiosystems
Jahr: 1977 Betreuer: MAYER

JANKOW, ROLF

Diplomarbeit: Erstellen des Gliederungs- und Hauptteils eines Konstruktionskataloges für hydraulische/pneumatische Pumpen und Motoren
Jahr: 1983 Betreuer: SCHNEIDER

JENNERT, THOMAS

Studienarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an torsionsbelasteten Paßfederverbindungen
Jahr: 1990 Betreuer: WEIGAND

JESSBERGER, GERHARD

Studienarbeit: Konstruktion eines Kettentriebprüfstandes
Jahr: 1979 Betreuer: MOCKER/UNLAND

JOUSEFZADEH, ATTILA

Diplomarbeit: Konzeption und partielle Realisierung eines wissensbasierten Systems zur Verkaufsunterstützung von Muldenkippern
Jahr: 1990 Betreuer: GUTBERLET

JÖTTNER, FRIEDR. WILHELM

Studienarbeit: Experimentelle Spannungsanalyse an genuteten Wellen mit Absätzen mit Hilfe der Spannungsoptik
Jahr: 1983 Betreuer: PERSEKE

KAISER, VOLKER

Diplomarbeit: Literatur aus dem Gebiet der Sicherheitstechnik soll nach bestimmten Gesichtspunkten aufgesucht, gesichtet und geordnet werden
Jahr: 1972 Betreuer: MAYER

KAISER, HORST

Studienarbeit: Entwurf einer Baugruppe zur Umsetzung einer Drehbewegung in eine rotierende und oszillierende Bewegung
Jahr: 1982 Betreuer: SCHNEIDER

KALUSCHE, CHRISTOF

Studienarbeit: Konzeption und partielle Realisierung wissensbasierter Moduln zur Unterstützung der ergonomiegerechten Krankenzelgestaltung
Jahr: 1990 Betreuer: GUTBERLET

KÄMMERER, ULRICH
Studienarbeit: Experimentelle Bestimmung des Einflusses der Härte des Spreizrollenbelags auf das Schlupfverhalten des Spreizrollenriebs
Jahr: 1978 Betreuer: MOCKER

KARG, MICHAEL
Studienarbeit: Konstruktive Optimierung eines Lichtzeigers
Jahr: 1978 Betreuer: NEUDÖRFER

KARRER, RALF
Studienarbeit: Weiterentwicklung bekannter Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen sowie fertiger Modelle für spannungsoptische Untersuchungen
Jahr: 1982 Betreuer: PERSEKE

KATZENBACH, ALFRED
Diplomarbeit: Berechnung und Messung der Impedanz von piezokeramischen Ultraschallschwingern
Jahr: 1980 Betreuer: UNLAND

KAUFMANN, HEINZ
Studienarbeit: Konstruktion einer Längenmeßeinrichtung für Stahlgelenkketten
Jahr: 1983 Betreuer: BINZ

KETTELER, HANNS BERND
Diplomarbeit: Untersuchung des Bogen- und Offsetdrucks in einer Bogen-Offsetdruckmaschine
Jahr: 1990 Betreuer: DÖRSAM

KIESSLING, HOLGER
Diplomarbeit: Konzeptentwicklung für ein Dokumentations- und Zugriffssystem für technische Mängel
Jahr: 1989 Betreuer: GUTBERLET

KIND, FRANZ
Studienarbeit: Entwicklung eines Kleinschäumgeräts
Jahr: 1977 Betreuer: MAYER

KIRST, FLORIAN
Diplomarbeit: Erstellung eines Lösungskatalogs für Ausgleichskupplungen
Jahr: 1982 Betreuer: SCHNEIDER

KLEIN, HANS-ULRICH
Studienarbeit: Entwurf einer Höhenverstellung für Waschbecken von Rückwärtswaschanlagen
Jahr: 1989 Betreuer: RENNEISEN

KLEMM, EBERHARD
Studienarbeit: Verstellkeilriementrieb mit hoher Raumleistung
Jahr: 1974 Betreuer: LANGER

KLING, THOMAS
Studienarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an genuteten Wellen mit Wellenabsätzen
Jahr: 1980 Betreuer: PERSEKE

KLOSE, FRANK
Studienarbeit: Erstellen eines Lösungskatalogs: "Trennende Fertigungsverfahren nach DIN 8580"
Jahr: 1983 Betreuer: BOEHME

KLOTZ, ACHIM
Studienarbeit: Gestaltungsprinzipien für Werkstückträger als Teile eines modularen Ladungsträger-Konzepts unter Berücksichtigung unterschiedlicher Transportsysteme
Jahr: 1989 Betreuer: GRÖSSER/GUTBERLET

KNOCH, ALEXANDER
Studienarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an torsionsbelasteten Paßfederverbindungen unter Berücksichtigung des Einflusses der Nabenaußenkontur
Jahr: 1990 Betreuer: RENNEISEN

KÖNIG, HARALD
Studienarbeit: Entwicklung einer Prüfmaschine zur Ermittlung der Dauerfestigkeit von Wellen bei zusammengesetzter Beanspruchung
Jahr: 1974 Betreuer: LÖPERTZ

KREBS, JOACHIM
Studienarbeit: Gestaltung von Benutzeroberflächen für technische Informations- und wissensbasierte Systeme unter softwareergonomischen Gesichtspunkten
Jahr: 1990 Betreuer: GUTBERLET

KREITER, WALDEMAR
Studienarbeit: Erstellen einer tabellarischen Lösungssammlung für die Aufgabe "Erzeugen einer Kraft"
Jahr: 1973 Betreuer: EWALD/LÖPERTZ

KROLLMANN, NORBERT
Studienarbeit: Systematischer Katalog für Bedienelemente
Jahr: 1978 Betreuer: NEUDÖRFER

LAMBERTS, FRANK
Studienarbeit: Aufsuchen, Erläutern und Ordnen von Sicherheitsschaltungen
Jahr: 1972 Betreuer: MAYER

LAMBY, MARKUS
Studienarbeit: Zusammenstellung von Methoden zur Lösung kreativer Probleme im Konstruktionsprozeß
Jahr: 1984 Betreuer: ROGLER

LANGER, WOLFGANG
Studienarbeit: Entwicklung einer Eichvorrichtung für Absolutschwingungsaufnehmer
Jahr: 1978 Betreuer: VOOS

LAROQUE, STEFAN
Studienarbeit: Umsetzung eines Konzeptes für ein Dokumentations- und Zugriffssystem für technische Mängel
Jahr: 1989 Betreuer: GUTBERLET

LAUBER, PETER
Wiss. Hausarbeit: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Spannungsverhältnis und Ausschlagwinkel des Spannrollenträgers in einem selbstspannenden Riementrieb
Jahr: 1974 Betreuer: LANGER

LAUENSTEIN, WOLFGANG
Studienarbeit: Konstruktive Realisierung von Schutzsystemen
Jahr: 1973 Betreuer: MAYER

LAUSTER, STEFAN
Studienarbeit: Konstruktion einer Prüfmaschine für Umlaufbiegeversuche mit überlagerter statischer Torsion
Jahr: 1990 Betreuer: WEIGAND

LAUTENSCHLÄGER, IMMO
Studienarbeit: Erarbeiten der Anforderungen an ein Patentinformationssystem aus der Sicht des Konstrukteurs und Erprobung des Rechnerprogramms "Pattab"
Jahr: 1984 Betreuer: VOOS

LAUTH, JÜRGEN
Studienarbeit: Erstellen eines FORTRAN-Programmes für ein Patentinformationssystem auf der Basis tabellarischer Lösungssammlungen und Erprobung des Programms am Beispiel patentierter Lockenstäbe
Jahr: 1979 Betreuer: VOOS

LEDERER, CHRISTOF
Studienarbeit: Theoretische Untersuchungen über die Möglichkeiten der Erstellung eines systematisch aufgebauten, ergonomischen Zielsystems als Hilfsmittel für die konstruktive Gestaltung von Arbeitssystemen
Jahr: 1984 Betreuer: BOEHME

LEHMANN, THOMAS
Studienarbeit: Entwickeln eines Prüfstandes zur Abnahme von Sicherheitsbindungen nach DIN 7881
Jahr: 1977 Betreuer: NEUDÖRFER

LEIBOLD, JOSEF
Diplomarbeit: Theoretische Untersuchung der Auslegungsverfahren für Rollenketten
Jahr: 1981 Betreuer: BINZ

LEITER, GERHARD
Studienarbeit: Fragekatalog für Bedienteile
Jahr: 1980 Betreuer: NEUDÖRFER

LENHART, THOMAS
Studienarbeit: Konstruktion eines Kettenprüfstandes
Jahr: 1980 Betreuer: UNLAND

LESSENICH, LUTZ
Studienarbeit: Untersuchung von Epoxydharzen verschiedenen Weichmachungsgrades im Hinblick auf ihre Eignung als spannungsoptische Modellwerkstoffe
Jahr: 1971 Betreuer: FRAMHEIM/LANGER

LEWE, JÖRG
Studienarbeit: Erstellen einer Anforderungsliste für die Entwicklung eines Tragesystems für Bildschirmgeräte
Jahr: 1985 Betreuer: ZANG/ROGLER

LIESSEM, ANDREAS
Studienarbeit: Erstellen einer Sammlung von Konstruktionskatalogen
Jahr: 1982 Betreuer: SCHNEIDER

LIESSEM, ANDREAS
Diplomarbeit: Informationssystem für Handhabungsgeräte / Vergleich bestehender Antriebssysteme
Jahr: 1984 Betreuer: BINZ/SCHNEIDER

LIPP, KLAUS
Studienarbeit: Konstruktion einer Vorrichtung zur Messung der Verformung eines Bremsattelgehäuses im stationären Verschleißzustand der Bremsbeläge unter statischer Belastung
Jahr: 1985 Betreuer: BOEHME

LIPPHARDT, MICHAEL
Studienarbeit: Konstruktion eines Ultraschallzerstäubers
Jahr: 1979 Betreuer: UNLAND

LISSOWSKI, KLAUS-PETER
Diplomarbeit: Gestaltungsrichtlinien für Urformverfahren (Schmieden, Kaltumformen) und für spanende Verfahren
Jahr: 1969 Betreuer: EWALD/MAYER

LOHAUS, BERND
Studienarbeit: Auswahl verschleißschutzgerechter Werkstoffe und Oberflächenverfahren unter Berücksichtigung metallphysikalischer Werkstoffeigenschaften
Jahr: 1988 Betreuer: PAWLK

LOTZ, MATTIAS
Studienarbeit: Konstruktive Optimierung des Kettentransportsystems einer Verpackungsmaschine
Jahr: 1991 Betreuer: DÖRSAM

LUGNER, RÜDIGER
Diplomarbeit: Weiterentwicklung eines Methodeninformationssystems für die Ermittlung von Produktanforderungen
Jahr: 1991 Betreuer: GRÖSSER

MAIER, PETER
Diplomarbeit: Erstellen des Zugriffsteils und Anhangs eines Konstruktionskataloges für hydraulische/pneumatische Pumpen und Motoren
Jahr: 1983 Betreuer: SCHNEIDER

MAYER, RALPH
Studienarbeit: Konstruktion einer polarisationsoptischen Meßeinrichtung für den Einbau in einen Profilmessprojektor
Jahr: 1985 Betreuer: ZANG

MENGE, WERNER
Studienarbeit: Optimale Profilstaltung von Keilriemen
Jahr: 1970 Betreuer: LANGER

MENKE, HENRYK
Diplomarbeit: Zeitabhängig auslösende Sicherheitsskibindungen
Jahr: 1976 Betreuer: NEUDÖRFER

MEYER, LUDWIG
Diplomarbeit: Berücksichtigung der Steifigkeit der Triebwellen bei der Raumleistungsoptimierung von Flachriemengetrieben
Jahr: 1981 Betreuer: MOCKER

MILEWSKI, RALF
Studienarbeit: Experimentelle Untersuchungen an Hülltrieben
Jahr: 1983 Betreuer: MOCKER

MOCKER, WOLFGANG
Diplomarbeit: Experimentelle Untersuchungen am Spreizrolltrieb
Jahr: 1976 Betreuer: LANGER

MODLER, HANS-WILHELM
Studienarbeit: Konstruktion des momentenmessenden Teiles einer Skibindung
Jahr: 1979 Betreuer: UNLAND

MOMPER, FRIEDRICH
Studienarbeit: Speicher für ein Patentinformationssystem
Jahr: 1979 Betreuer: VOOS

MOST, EGBERT
Diplomarbeit: Theoretische Vorarbeiten zu einer Maschinenelemente-Programmsammlung
Jahr: 1982 Betreuer: BINZ

MUHL, WERNER
Studienarbeit: Entwicklung einer Baureihe von Spreizrolltrieben mittels EDV
Jahr: 1977 Betreuer: MOCKER

MÜHLBEYER, H.
Studienarbeit: Erstellen eines Katalogs für die Aufgabe "Erzeugen einer Kraft"
Jahr: 1971 Betreuer: LÖPERTZ

MÜLLER, BERND
Diplomarbeit: Systematische Zusammenstellung und Weiterentwicklung von Hilfsmitteln für Informationsbedarfsanalyse und Wissensakquisition
Jahr: 1989 Betreuer: GUTBERLET

MÜLLER, KLAUS-WERNER
Studienarbeit: Aufbau eines Datenbanksystems zum Zwecke der Vermeidung konstruktiv verursachter Schwachstellen an technischen Produkten und Systemen
Jahr: 1989 Betreuer: GUTBERLET

MÜLLER, RALF
Studienarbeit: Eingabe von Wissen und Erprobung eines bestehenden Informationssystems im Konstruktionsbereich für Wälzlager unter besonderer Berücksichtigung der Laufgeräusche
Jahr: 1987 Betreuer: ROGLER

NEEF-MÖLLER, MONIKA
Studienarbeit: Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen bei der korrekativen und konzeptiven Produkt- und Systemgestaltung
Jahr: 1987 Betreuer: GUTBERLET

NEHL, EBERHARD
Studienarbeit: Messung und Auswertung der Tropfenspektren von Sprühstrahlen
Jahr: 1979 Betreuer: UNLAND

NEUDÖRFER, ALFRED
Studienarbeit: Entwicklung und Erprobung eines kleinen Riemenprüfstandes
Jahr: 1971 Betreuer: LANGER

NEUGEBAUER, JÜRGEN
Studienarbeit: Gegenüberstellung dreier Möglichkeiten zur Kraftherzeugung
Jahr: 1975 Betreuer: LANGER

OEDEKOVEN, ALBRECHT
Studienarbeit: Winkelsteife Verbindungsstellen von biegesteifen, aber torsionsweichen Profilen mit biege- und torsionssteifen Profilen
Jahr: 1982 Betreuer: ZANG

OEHL, HANS-WALTER
Studienarbeit: Entwurf eines Prüfstandes zur Messung der Kenngrößen von Pumpen für kleine Flüssigkeitsmengen
Jahr: 1977 Betreuer: UNLAND

OLDENDORF, ULRICH
Studienarbeit: Vergleichende Untersuchung der Spannungsanalyse an Kerbstäben mit Hilfe der Spannungsoptik und der Methode der Finiten Elemente
Jahr: 1990 Betreuer: RENNEISEN

PAWLENKA, ANDREAS
Studienarbeit: Systematische Entwicklung und konstruktive Gestaltung einer Vorrichtung zur Aufnahme des Fußes beim Skilaufen, insbesondere unter Berücksichtigung der Kinematik des Sprunggelenkes
Jahr: 1981 Betreuer: VOOS

PAWLIK, CHRISTIAN
Diplomarbeit: Einfluß der Verbindungslänge auf die Wellenbeanspruchung in einer Paßfederverbindung
Jahr: 1984 Betreuer: ZANG

PEETZ, JÜRGEN
Studienarbeit: Erstellen eines Konstruktionskataloges für Steuerstände unter Berücksichtigung ergonomischer Erkenntnisse
Jahr: 1984 Betreuer: BOEHME

PEMSEL, THOMAS
Studienarbeit: Optimierung einer konstruktiven Mehrfachkerbe am Maschinenelement Welle
Jahr: 1983 Betreuer: PERSEKE

PERSEKE, WINFRIED
Studienarbeit: Erstellung eines mechanischen Ersatzmodells für Kopplungsschwinger, bestehend aus einem aktiven Piezokeramikschwinger sowie dessen Berechnung
Jahr: 1978 Betreuer: UNLAND

PETERS, WOLFGANG
Studienarbeit: Konstruktion einer Kettenschutz- und Schmierungsvorrichtung
Jahr: 1982 Betreuer: BINZ

PFAU, JOCHEN
Studienarbeit: Rechnerunterstützung in der Konstruktion - Auswertung einer Umfrage unter deutschen Maschinenbauunternehmen
Jahr: 1990 Betreuer: GRÖSSER

PFEIFER, THOMAS
Studienarbeit: Bedienbarkeit von Maschinensystemen
Jahr: 1978 Betreuer: NEUDÖRFER

PFENNING, MICHAEL
Studienarbeit: Implementierung eines bestehenden Informationskonzeptes auf einem IBM-Microcomputer
Jahr: 1986 Betreuer: ROGLER

POHL, REINHOLD
Studienarbeit: Schadensfälle durch Bedienungsfehler
Jahr: 1979 Betreuer: NEUDÖRFER

PREUSSER, GERDA
Studienarbeit: Finden neuer Lösungen für Mehrebenen-Bindungen
Jahr: 1977 Betreuer: VOOS/NEUDÖRFER

PREUSSER, TIMM
Studienarbeit: Finden neuer Lösungen für Plattenbindungen
Jahr: 1977 Betreuer: VOOS/NEUDÖRFER

PUMM-SCHUBERT, CHRISTFRIED
Wiss. Hausarbeit: Formzahlbestimmung für Paßfedernuten unter Biegebeanspruchung
Jahr: 1985 Betreuer: PROF. RAAB/ZANG

RABOLD, KLAUS
Studienarbeit: Konstruktion einer Zusatzvorrichtung zu einer Zug-Druck-Prüfmaschine zur Erzeugung einer reinen Torsionsbelastung
Jahr: 1984 Betreuer: ZANG

RACHOR, NORBERT
Studienarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an räumlichen Paßfederverbindungen
Jahr: 1984 Betreuer: ZANG

RAMNIALIS, CHRISTOS
Diplomarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an Paßfederverbindungen unter Biegebelastung
Jahr: 1990 Betreuer: WEIGAND

RATHMANN, DIETHARD
Diplomarbeit: Konstruktionsprinzipien von Schutzsystemen
Jahr: 1972 Betreuer: MAYER

REGNER, STEFAN
Studienarbeit: Entwicklung von zeit- und kostensparenden Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen und Modellen für spannungsoptische Untersuchungen
Jahr: 1981 Betreuer: PERSEKE

REH, STEFAN
Studienarbeit: Erstellung von Programmen zur Berechnung von Wälzlagern sowie hydrodynamischer Radiallager
Jahr: 1987 Betreuer: PAWLIK

REICH, GERHARD
Studienarbeit: Entwurf einer Belastungsvorrichtung für verschiedene ebene spannungsoptische Untersuchungen
Jahr: 1981 Betreuer: PERSEKE

REICHEL, HELMUT
Diplomarbeit: Analyse der Organisation und Arbeitsweise von Patentabteilungen mit Hilfe einer Firmenumfrage
Jahr: 1978 Betreuer: VOOS

REIFFERSCHIED, ELKE
Studienarbeit: Erstellung von Programmen zur Berechnung von Zahnrädern und Wellen/Trägern
Jahr: 1985 Betreuer: BINZ

REITER, ULRICH
Studienarbeit: Testen einer neuen Darstellungsart - Durchführung der Tests
Jahr: 1974 Betreuer: LÖPERTZ

RENNEISEN, ARMIN
Diplomarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen an genuteten Wellen unter Biegebelastung
Jahr: 1987 Betreuer: WEIGAND

RIECKHOFF, KURT

Diplomarbeit: Messung des örtlichen Schlupfes (eines Flachriemens)

Jahr: 1976 Betreuer: LANGER

ROGLER, ERNST

Studienarbeit: Konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Skibindungsfernautomaten

Jahr: 1981 Betreuer: VOOS

ROMMEL, KLAUS

Studienarbeit: Konstruktiver Entwurf eines Zeichenmaschinenarbeitsplatzes

Jahr: 1984 Betreuer: BOEHME/DR. MAINZER

ROOS, MANFRED

Diplomarbeit: Untersuchungen über den Kraftfluß und seine Einflußparameter bei der energetischen Wechselwirkung zwischen der Arbeitsperson und dem technischen System

Jahr: 1983 Betreuer: BOEHME

ROSSMANN, GÜNTER

Studienarbeit: Entwerfen im Maschinen- und Gerätebau mit Hilfe von numerisch gesteuerten Zeichenautomaten bei symbolhafter Darstellung standardisierter Bauelemente

Jahr: 1972 Betreuer: LÜPERTZ

ROTTLER, PETER

Studienarbeit: Erarbeiten von Hilfsmitteln für die systematische Variation beim Konstruieren

Jahr: 1970 Betreuer: EWALD

RUDOLF, FERDINAND

Studienarbeit: Ermittlung innerer Beanspruchungen im Flachriemen

Jahr: 1974 Betreuer: LANGER

RUPPEL, JÜRGEN

Diplomarbeit: Erstellen eines Konstruktionskataloges für ruhende Berührungsdichtungen

Jahr: 1984 Betreuer: ROGLER

SCHAFFRATH, HEINZ-JOACHIM

Studienarbeit: Konstruktion eines Kettenprüfstands

Jahr: 1987 Betreuer: PAWLK

SCHERER, THOMAS

Studienarbeit: Räumliche spannungsoptische Untersuchungen an Paßfederverbindungen

Jahr: 1985 Betreuer: ZANG

SCHILDGE, BERND

Diplomarbeit: Erstellen eines systematisch aufgebauten ergonomischen Zielsystems zur Unterstützung des Konstrukteurs in verschiedenen Phasen des methodischen Konstruktionsprozesses

Jahr: 1984 Betreuer: BOEHME

SCHLAGAU, SIEGMAR

Studienarbeit: Systematische Untersuchung bestehender Patentinformationsdienste und Patentinformationssysteme, ihrer Leistungen und ihrer Arbeitsweise

Jahr: 1982 Betreuer: VOOS

SCHMAHL, WILFRIED

Diplomarbeit: Spannungsoptische Untersuchungen von Mehrfachkerbwirkungen an Wellen

Jahr: 1981 Betreuer: PERSEKE

SCHMITTNER, BERNHARD

Diplomarbeit: Optische Verfahren in der experimentellen Spannungsanalyse

Jahr: 1984 Betreuer: ZANG

SCHNEIDER, JÜRGEN

Studienarbeit: Entwurf eines Universal-Bodentürschließers mit gedämpfter Schließbewegung

Jahr: 1978 Betreuer: UNLAND

SCHOLZ, THORSTEN

Diplomarbeit: Spannungsoptische Untersuchung einer biegebelasteten Paßfederverbindung

Jahr: 1988 Betreuer: WEIGAND

SCHÖNEBERG, GERD

Studienarbeit: Erarbeiten von Hilfsmitteln für das systematische Variieren beim Entwerfen

Jahr: 1971 Betreuer: EWALD

SCHRADER, WOLFGANG

Studienarbeit: Parametrische Untersuchung eines selbstspannenden Riemetriebes mit Leistungsverzweigung

Jahr: 1976 Betreuer: LANGER

SCHÜLER, FLORIAN

Diplomarbeit: Übersicht und krit. Bemerkungen über die z. Zi. gebräuchlichen und diskutierten Beurteilungsmaßstäbe in nat. und internat. Richtlinien, technischen Empfehlungen und Normen über Stoßverträglichkeitsgrenzen des Menschen

Jahr: 1978 Betreuer: VOOS

SCHULZE-DIECKHOFF, RUDOLF

Diplomarbeit: Stand und zukünftige Entwicklung des Rechnereinsatzes in Konstruktionsabteilungen deutscher Maschinenbau-Unternehmen

Jahr: 1989 Betreuer: GRÖSSER

SCHÜTZ, CHRISTOPH

Studienarbeit: Zugmittelgetriebe - eine vergleichende Untersuchung zur Anwendung in der Fördertechnik

Jahr: 1991 Betreuer: DÖRSAM

SCHÜTZ, GEORG

Studienarbeit: Selbstspannender Riemetrieb mit Leistungsverzweigung

Jahr: 1974 Betreuer: LANGER

SCHWAB, WOLFGANG

Studienarbeit: Erstellen eines Fortranprogrammes für ein Patentinformationssystem und Erprobung des Programms am Beispiel patentierter Lockenstäbe (Teil 2)

Jahr: 1979 Betreuer: VOOS

SCHWALBE, HANS-JOACHIM

Studienarbeit: Wirkliche durch die Betriebskraft entstehende Zusatzbelastung vorgespannter Schrauben

Jahr: 1972 Betreuer: LANGER

SEEHAUS, OTTO

Diplomarbeit: Zusammenstellen von Hinweisen für das fertigungsgerechte Gestalten

Jahr: 1968 Betreuer: EWALD

SIMON, GÜNTER

Studienarbeit: Übersetzungsverhältnis Bedienelement-Anzeigeelement

Jahr: 1978 Betreuer: NEUDÖRFER

SKOPIL, MARIO

Studienarbeit: Programm zur Durchführung von Festigkeitsberechnungen aus dem Maschinenbau

Jahr: 1987 Betreuer: WEIGAND

SLEDZIEJOWSKI, THOMAS

Studienarbeit: Konstruktion eines multivariaten Ergometers

Jahr: 1976 Betreuer: KRELL

SLEDZIEJOWSKI, THOMAS

Studienarbeit: Systematische Untersuchung patentierter auslösender Fernhalter von Sicherheitsskibindungen

Jahr: 1976 Betreuer: NEUDÖRFER

SÖHNE, HELMUT

Diplomarbeit: Erstellen einer allgemeingültigen ergonomietriebenen Anforderungsliste für die anthropometrische Arbeitssystemgestaltung
Jahr: 1984 Betreuer: BOEHME

SPITZENPFEIL, THOMAS

Studienarbeit: Systematische Darstellung von Einflußfaktoren der äußeren Formgebung von Industrieprodukten
Jahr: 1988 Betreuer: GRÖSSER

STABEL, NORBERT

Studienarbeit: Systematische Erfassung arbeitswissenschaftlicher Verfahren zur Beanspruchungsermittlung bei Arbeitspersonen als Ausgangsbasis für die ergonomische Bewertung von Konstruktionen
Jahr: 1984 Betreuer: BOEHME

STAMM, WOLFGANG

Studienarbeit: Stoßverträglichkeitsgrenzen des Skifahrers
Jahr: 1978 Betreuer: MEIER-DÖRNBERG/VOOS

STÄNDER, WILFRIED

Studienarbeit: Ebene FEM-Untersuchungen an konstruktiven Mehrfachkerben an Wellen
Jahr: 1983 Betreuer: PERSEKE

STANZEL, BERTHOLD

Studienarbeit: Erstellung eines Programms zur Berechnung von zylindrischen Schraubendruckfedern
Jahr: 1985 Betreuer: BINZ

STECHHAN, MATTHIAS

Studienarbeit: Erstellen eines Konstruktionskataloges für ergonomische Gestaltungsregeln für Anzeiger und Bedienteile
Jahr: 1984 Betreuer: BOEHME

STEIMEL, JOHANNES

Studienarbeit: Erprobung einer Systematik für die Aufgabe Weg-Feineinstellung
Jahr: 1972 Betreuer: EWALD

STEINBERG, CHRISTOPH

Studienarbeit: Zusatzvorrichtung zur spannungsoptischen Untersuchung eingefrorener Spannungszustände in Epoxidharzmodellen
Jahr: 1980 Betreuer: PERSEKE

STEINMÜLLER, WERNER

Studienarbeit: Erstellung eines Informationssystems für geschützte Ultraschallzerstäuber
Jahr: 1978 Betreuer: UNLAND

STIERLE, FRANK

Studienarbeit: Entwurf einer Haltevorrichtung für medizinische und optische Geräte
Jahr: 1982 Betreuer: ZANG

STOODT, TILMANN

Wiss. Hausarbeit: Erstellung eines Lösungskataloges für schaltbare Kupplungen
Jahr: 1982 Betreuer: PROF. RAAB/SCHNEIDER

STORANDT, RALF

Studienarbeit: Entwicklung einer Schuhbefestigung an einer Sohlenplatte für Skibindungen
Jahr: 1976 Betreuer: EWALD

STRUVE, DIRK

Studienarbeit: Herstellung eines endlosen Flachriemens aus weichgemachtem Epoxidharz
Jahr: 1973 Betreuer: LANGER

THEINL, HUBERT

Diplomarbeit: Einfluß der Belastungshöhe auf die Größen E-Modul (E) und spannungsoptische Konstante (S) bei verschiedenen, zum Teil weichgemachten Epoxidharzen
Jahr: 1976 Betreuer: LANGER

THIES, KLAUS-PETER

Studienarbeit: Beanspruchungsverhältnisse im Riemen
Jahr: 1971 Betreuer: LANGER

TOMASCHEK, PETER

Studienarbeit: Erstellen einer tabellarischen Lösungssammlung für eine beim Konstruieren oft wiederkehrende Teilaufgabe
Jahr: 1974 Betreuer: EWALD

TÖNSMANN, ARMIN

Studienarbeit: Auslösender Fersenhalter für Tourenplattenbindungen
Jahr: 1976 Betreuer: NEUDÖRFER

UNLAND, GEORG

Diplomarbeit: Entwicklung eines Kleinsprühgerätes
Jahr: 1976 Betreuer: MAYER

UNLAND, HERMANN

Studienarbeit: Produktplanung und Produktabwicklung einer Neuentwicklung eines Türschließsystems
Jahr: 1980 Betreuer: UNLAND/PERSEKE

VIERHEILIG, LOTHAR

Studienarbeit: Konstruktion eines Simulationsprüfstandes zur Untersuchung von Rollenkettengliedern
Jahr: 1981 Betreuer: BINZ

VÖLKELE, WOLFGANG

Studienarbeit: Konstruktiver Entwurf eines Reibrad-Planeten-Getriebes
Jahr: 1973 Betreuer: LANGER

VOOS, WOLFGANG

Diplomarbeit: Systematische Untersuchung patentierter auslösender Vorderbacken von Sicherheitsskibindungen
Jahr: 1976 Betreuer: NEUDÖRFER

WAGNER, WOLFGANG

Diplomarbeit: Überprüfen und Eichen eines Versuchsstandes und Ermittlung erster Meßwerte (mit Genauigkeitsangabe)
Jahr: 1972 Betreuer: LANGER

WALL, HANS-JÖRGEN

Studienarbeit: Umfrage zur Konstruktionsmethodik
Jahr: 1973 Betreuer: EWALD

WALLUF, HANS-PETER

Studienarbeit: Speichermittel und -methoden für ein Patentinformationssystem auf der Basis tabellarischer Lösungssammlungen
Jahr: 1983 Betreuer: VOOS

WEIGAND, MICHAEL

Studienarbeit: Rechenprogramme zur Durchführung des Schubspannungsdifferenzenverfahrens
Jahr: 1985 Betreuer: ZANG/BINZ

WEIGEL, DIETMAR

Diplomarbeit: Wirkungsgradmessungen an Hülltrieben
Jahr: 1980 Betreuer: MOCKER

WEIGERT, THOMAS

Studienarbeit: Realisierung eines wissensbasierten Systems zur Unterstützung von Selektionsprozessen in der Konstruktion
Jahr: 1988 Betreuer: GUTBERLET

WEILER, THOMAS
Studienarbeit: Entwurf eines Wandarmes zur Aufnahme
friseurtechnischer, medizinischer und photographischer
Geräte
Jahr: 1978 Betreuer: UNLAND

WEINGARTEN, ULRICH
Studienarbeit: Aufbau eines wissensbasierten Systems zur
Unterstützung der Gestaltung der optischen
Informationsaufnahme in Arbeitssystemen
Jahr: 1988 Betreuer: GUTBERLET

WEIS, ARMIN
Diplomarbeit: Rechneinsatz bei der Suche nach
Lösungsvarianten beim Konstruieren
Jahr: 1972 Betreuer: EWALD

WEISS, JÜRGEN
Studienarbeit: Analyse des Tribosystems "Rollenkettengelenk"
Jahr: 1984 Betreuer: BINZ

WERNER, KLAUS
Studienarbeit: Optimierung eines wissensbasierten Systems zur
Unterstützung der Ermittlung ergonomischer Anforderungen
und potentieller Schwachstellen
Jahr: 1989 Betreuer: GUTBERLET

WEYER, MICHAEL
Studienarbeit: Auswahl von Verschleißschutzschichten
Jahr: 1989 Betreuer: PAWLK

WIEN, WOLFGANG
Studienarbeit: Weiterentwicklung eines Bodenstativs
Jahr: 1985 Betreuer: ROGLER

WINK, MATTHIAS
Studienarbeit: Zusammenstellung und Messung der
Sprühstrahlkenngrößen von Ultraschallzerstäubern
Jahr: 1978 Betreuer: UNLAND

WINKLE, ARMIN
Studienarbeit: Einsatz von Flüssigkristallen im Bereich der
Maschinenelemente
Jahr: 1990 Betreuer: GRÖSSER

WITTING, JÜRGEN
Studienarbeit: Erstellung von Auswahlkriterien für
Zugmittelgetriebe
Jahr: 1987 Betreuer: PAWLK

WOEBCKEN, CARL
Studienarbeit: Entwurf einer Steinschneidmaschine
Jahr: 1980 Betreuer: UNLAND

WOLZ, NORBERT
Studienarbeit: Untersuchungen an der Mehrfachkerbe
Paßfedernut-Wellenabsatz
Jahr: 1985 Betreuer: ZANG

ZANG, RUPERT
Studienarbeit: Konstruktion einer
Glasbeschichtungsvorrichtung
Jahr: 1980 Betreuer: UNLAND

ZECH, STEPHAN
Studienarbeit: Konstruktionskatalog elektrischer
Kleinmotoren
Jahr: 1983 Betreuer: SCHNEIDER

ZELTNER, JÜRGEN
Studienarbeit: Analyse und Vergleich bekannter
Berechnungsverfahren für ruhende Berührungsdichtungen
Jahr: 1986 Betreuer: ROGLER

