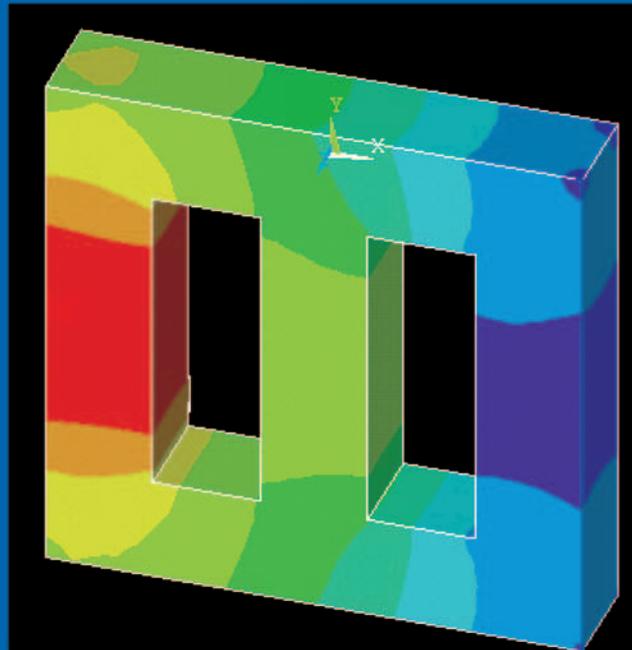


Stiftung
Rheinland-Pfalz
für Innovation



Jahresbericht 2004

Herausgeber:

Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation

Verantwortlich:

Brigitte Klempt (Geschäftsführerin)

Dr. Jutta Ohl

Gerda Fischer

Claudia Janssen-Neumann

Diether-von-Isenburg-Straße 9-11

55116 Mainz

Telefon: 06131/16-5614

Telefax: 06131/16-5611

E-Mail: stiftung.innovation@mwwfk.rlp.de

Internet: www.mwwfk.rlp.de/stiftung_innovation

Texte und Bildmaterial der vorgestellten Projekte wurden von den jeweiligen Projektleitern zur Verfügung gestellt.

Titelbild: Prof. Dr.-Ing. Dirk Brechtken, „Auswirkungen von kompakter Bauweise und elektronischen Antriebssteuerungen auf die Dimensionierung von Niederspannungstransformatoren“, Seite 51

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung sind vorbehalten. Kein Teil dieser Schrift darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des Verfassers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Jahresbericht 2004

Inhalt

Seite

Vorwort des Vorsitzenden des Vorstandes.....	5
Bericht des Vorsitzenden des Kuratoriums.....	6

1. Tätigkeitsbericht 2004

Aufgaben der Stiftung.....	7
Die Stiftung im Jahr 2004.....	7
Haushalt im Jahr 2004.....	9
Organe der Stiftung.....	10
Bewilligungen 2004.....	13
Gesamtüberblick 1993 – 2004.....	22

2. Beispiele abgeschlossener Projekte

Optimierung des Patiententransports in Krankenhäusern Nickel, Stefan, Fraunhofer Institut für Techno- u. Wirtschafts- mathematik ITWM, Kaiserslautern	23
Neue Inhibitoren der Expression entzündungsunterhaltender Enzyme und Cytokinen aus Pilzen Anke, Timm / Erkel, Gerhard, Institut für Biotechnologie und Wirkstoff- Forschung e.V. (IBWF), Kaiserslautern und Förstermann, Ulrich / Kleinert, Hartmut / Kunz, Horst, Johannes Gutenberg-Universität Mainz	26
Aufbau und Untersuchung parallelkinematischer Strukturen einfacher Bauart Sauer, Bernd, Technische Universität Kaiserslautern	30
Schnellere Numerik für das Highend-Rendering im Produktionsbereich Keller, Alexander, Technische Universität Kaiserslautern.....	33
Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von resorbierbaren Polymeren für medizinische Anwendungen Friedrich, Klaus, Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern.....	36

Beispiele noch laufender Projekte

Robotic Manipulation under Augmented Navigation for Tooth-Implant Concepts ROMANTIC Buzug, Thorsten M. / Gubaidullin, Gail G., Fachhochschule Koblenz	39
Rührreißschweißen von Leichtbauwerkstoffen und Untersuchung des Ermüdungsverhaltens der erzeugten Verbunde Eifler, Dietmar, Technische Universität Kaiserslautern.....	42
Entwicklung eines neuartigen visuellen Industrieroboterprogrammiersystems Zühlke, Detlef, Technische Universität Kaiserslautern.....	45
Weiterentwicklung der Hochdruckwasserstrahl-Technologie Wüstenberg, Dieter, Technische Universität Kaiserslautern.....	48
Auswirkung von kompakter Bauweise und elektronischen Antriebssteuerungen auf die Dimensionierung von Niederspannungstransformatoren Brechtken, Dirk, Fachhochschule Trier.....	50
Systematisches Re-Engineering bestehender Steuerungsprogramme auf der Basis formaler Beschreibungen Frey, Georg, Technische Universität Kaiserslautern.....	52

Vorwort



Mit dem Jahresbericht 2004 stellt die Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation einmal mehr unter Beweis, wie gezielt und erfolgreich in Rheinland-Pfalz die Instrumente der Forschungsförderung eingesetzt werden. Die Vielfalt und die Qualität der geförderten Vorhaben stärken dabei den innovativen Wissensstandort Rheinland-Pfalz und seine Wettbewerbsfähigkeit gleichermaßen.

Zentral für die Förderpraxis der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation ist die Unterstützung viel versprechender Forschungsprojekte, die wiederum durch gutachterliche Stellungnahmen zur Förderung empfohlen werden. Daher gilt mein besonderer Dank den Gutachterinnen und Gutachtern, die durch ihr objektives Urteil einen wesentlichen Beitrag zu einem erfolgreichen Qualitätsmanagement leisten.

Vom Beginn der Stiftungstätigkeit im Jahr 1993 bis zum Ende des Jahres 2004 hat die Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation insgesamt 499 Projekte mit rund 76 Mio. Euro gefördert. Der Jahresbericht 2004 stellt eine Auswahl der geförderten Vorhaben vor. Durch das große Spektrum der eingereichten Vorhaben konnten Projekte aus vielen unterschiedlichen Forschungsbereichen realisiert und Zukunftstechnologien gefördert werden. Ich möchte an dieser Stelle allen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern für ihre Kreativität und Anstrengung ausdrücklich danken. Für eine Wissensgesellschaft wie der unseren sind diese Fähigkeiten und Begabungen konstitutiv.

Weil die Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation auch die Vernetzung und den Austausch der Forscherinnen und Forscher fördern will, ist sie im vergangenen Jahr neue Wege gegangen. Der erstmals durchgeführte Workshop „Kultur der Innovation“, der den kreativen Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern aus den Bereichen Hochschule, Wirtschaft und Kultur die Innovation als Motor von Forschung, Entwicklung und Karriereplanung vermitteln wollte, fand großen Anklang. Verstanden auch als Kommunikationsplattform und Ausgangspunkt einer Netzwerkbildung über den eigenen Bereich hinaus, wird die Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation diese Idee weiterverfolgen und auch in Zukunft junge, kreative Menschen zusammenbringen.

A handwritten signature in black ink, which appears to read "K. Beck". The signature is fluid and cursive.

Kurt Beck
Ministerpräsident des Landes Rheinland-Pfalz

Bericht des Vorsitzenden des Kuratoriums



Die Innovationsstiftung war und ist ein besonderes Förderinstrument. Sie fördert dort, wo Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen des Landes auf besonders innovativen Forschungsgebieten arbeiten oder besonders nahe an Problemlösungen forschen. Sie handelt unbürokratisch und schnell, ohne auf eine sorgfältige Begutachtung zu verzichten. Bei der Entscheidung stehen anders als bei anderen Förderorganisationen insbesondere die Innovationskraft der Projekte und die Wirkung der Ergebnisse für das Land Rheinland-Pfalz im Vordergrund.

Die Verteilung der Bewilligungen des Jahres 2004 auf die einzelnen Förderschwerpunkte spiegelt auch die Kompetenzfelder wider, auf die sich die rheinland-pfälzischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen konzentrieren. Die Stiftung investiert z.B. 24 Prozent ihrer Mittel in die Förderung der Informations- und Kommunikationstechnologie. Der hohe Anteil im Jahr 2004 zeigt den hohen Stellenwert dieser Zukunftstechnologie in Rheinland-Pfalz und zugleich auch die große Zahl von Arbeitsgruppen, die sich in Rheinland-Pfalz diesem Technologiegebiet widmen. Auf den weiteren Plätzen folgen Biotechnologie und Chemie, Mikro- und Nanotechnologie und Medizin/Medizintechnik. Auch in diesen Bereichen kann Rheinland-Pfalz auf eine breite und konkurrenzfähige Forschungslandschaft zurückgreifen. Die Stiftung unterstützt gezielt diese von den Hochschulen und Forschungseinrichtungen bereits vorgenommene Schwerpunktbildung und verstärkt die Wettbewerbsfähigkeit durch die notwendige Konzentration der Ressourcen.

Diese Synergie zwischen wissenschaftlichem Know-how und gesellschaftlich verwertbaren Ergebnissen wünsche ich mir auch in Zukunft für die Projekte der Stiftung.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Zöllner', written in a cursive style.

Prof. Dr. E. Jürgen Zöllner
Minister für Wissenschaft, Weiterbildung, Forschung und Kultur



Tätigkeitsbericht 2004

Aufgaben der Stiftung

Die Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation fördert die wissenschaftliche und technologische Entwicklung im Land Rheinland-Pfalz. Der Schwerpunkt des Stiftungsengagements liegt im naturwissenschaftlich-technischen Bereich, insbesondere an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Unterstützt werden Projekte über die gesamte Innovationskette von der Grundlagenforschung über die anwendungsorientierte Forschung bis hin zur Entwicklung neuer Technologien und dem Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Wirtschaft.

Jährlich können 30-40 Vorhaben mit einem Fördervolumen von insgesamt 5 bis 6 Mio. € durch die Stiftung finanziert werden. Anträge können Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Rheinland-Pfalz stellen. Die Stiftung wurde 1991 durch das Land Rheinland-Pfalz gegründet und mit einem Stiftungsvermögen von rund 100 Mio. € ausgestattet. Die Förderschwerpunkte werden in Kooperation mit den Ministerien für Wissenschaft, Weiterbildung, Forschung und Kultur sowie für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau festgelegt.

Die Stiftung im Jahr 2004

Auch im Jahr 2004 wurde der Stiftung wieder eine große Zahl von Neuanträgen vorgelegt, welche die Innovationskraft der rheinland-pfälzischen Hochschulen und Unternehmen deutlich macht.

Die hohe Qualität wurde einmal mehr durch die **externen Gutachter** bestätigt, welche die Anträge überwiegend sehr positiv bewerteten. Die Geschäftsstelle dankt an dieser Stelle den vielen Gutachtern, die durch ihr ehrenamtliches Engagement einen unschätzbaren Beitrag zur Stiftungsarbeit und zur Qualität der geförderten Projekte geleistet haben.

Insgesamt wurden vom Vorstand 68 Anträge beraten. Die 33 im Hinblick auf den Technologietransfer viel versprechendsten Projekte mit einem Gesamtvolumen von rund 5,3 Mio. € wurden im Haushaltsjahr 2004 neu bewilligt. Bis Ende Dezember 2004 lagen weitere 48 Anträge zur Bearbeitung vor, deren Gesamtvolumen das voraussichtliche Jahresbudget für das Haushaltsjahr 2005 deutlich übersteigt.

Eine inhaltliche Schwerpunktbildung ist dennoch nicht geplant, sondern die vorgelegten Projektanträge werden ausschließlich nach ihrer Qualität und wirtschaftlichen Verwertung dem Vorstand zur Bewilligung vorgeschlagen.

Angesichts leicht rückläufiger Erträge aus dem Stiftungsvermögen wird die Stiftung in Zukunft nicht alle positiv begutachteten Projektanträge fördern können und muss verstärkt Prioritäten setzen. So sollen auch mehr junge Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler gefördert werden, um das Land Rheinland-Pfalz als Wissenschaftsstandort der Zukunft zu stärken.

Die **Geschäftsstelle der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation** hat im Berichtszeitraum insgesamt 95 laufende Projekte betreut. Mit Hilfe der entwickelten Datenbank konnten die Personalkosten auf ein Minimum begrenzt werden. Die Verwaltungsausgaben betragen im Haushaltsjahr 2004 lediglich ca. 150 T€ und somit nur 1,3% der Haushaltsmittel.

Die **Öffentlichkeitsarbeit** der Stiftung wurde weiter verstärkt. Im Vordergrund stand in diesem Jahr der neu konzipierte Workshop „Kultur der Innovation“ vom 28. – 30. Oktober 2004 in Schloss Engers. Der Workshop setzte in anderer Weise das von der Stiftung über mehrere Jahre finanzierte Management- und Innovationsseminar des Landes Rheinland-Pfalz fort. Thema der Veranstaltung war das Management von Innovation und die Förderung jungen, kreativen Nachwuchses aus den Bereichen Wissenschaft, Wirtschaft und Kultur. Inhaltlich ging es um Innovation als Motor von Forschung, Entwicklung und Karriereplanung, um die Förderung von Eliten in Deutschland und um die Strukturierung der eigenen Karriere. Als Referenten konnten Vertreter der drei angesprochenen Gruppen Wissenschaft, Wirtschaft und Kultur gewonnen werden. Auch der Ministerpräsident des Landes Rheinland-Pfalz, Herr Kurt Beck und Herr Minister Prof. Zöllner haben an der Veranstaltung teilgenommen. Die Veranstaltung fand große Zustimmung, so dass weitere Workshops dieser Art zur Zeit geplant werden.

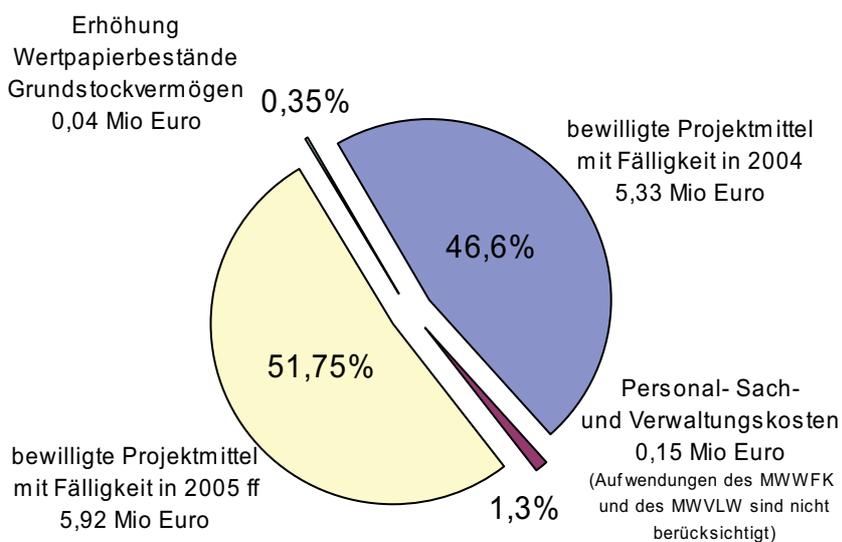
Der "Jahresbericht 2004" präsentiert neben ausführlichem Zahlenmaterial auch wieder Forschungsberichte aktueller Projekte.

Haushalt 2004

Einnahmen	(in Mio. Euro)
1. bewilligte Projektmittel mit Fälligkeit 2004 ff (Übertrag aus 2003)	5,99
2. Erträge aus Stiftungsgrundstockvermögen	5,08
3. Erträge aus kurzfristigen Anlagen am Geldmarkt	0,27
4. Rücküberweisung nicht in Anspruch genommener Förderungen, Drittmittel und sonstige Einnahmen	0,10
Summe Einnahmen:	11,44

Ausgaben	
1. bewilligte Projektmittel mit Fälligkeit in 2004	5,33
2. bewilligte Projektmittel mit Fälligkeit in den HH-Jahren 2005 ff (Übertrag auf 2005)	5,92
3. Personal-, Sach- und Verwaltungskosten	0,15
4. Erhöhung Wertpapierbestände Grundstockvermögen	0,04
Summe Ausgaben:	11,44

Ausgaben



Organe der Stiftung

Alle Angelegenheiten der Stiftung von grundsätzlicher Bedeutung werden vom Vorstand entschieden. Insbesondere beschließt der Vorstand die Förderrichtlinien und entscheidet über die Vergabe von Fördermitteln.

Das Kuratorium berät den Vorstand der Stiftung in allen Fragen der Förderung von Innovation zur Verwirklichung des Stiftungszwecks. Dem Kuratorium gehören 15 Persönlichkeiten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik des Landes Rheinland-Pfalz an.

Die Geschäftsstelle unterstützt den Vorstand und das Kuratorium bei ihren Aufgaben und führt die laufenden Geschäfte der Stiftung.

Vorstand

Die Mitglieder des Vorstands:

Vorsitzender:

Kurt Beck
Ministerpräsident
Staatskanzlei Rheinland-Pfalz
Peter-Altmeier-Allee 1
55116 Mainz

Stellvertretender Vorsitzender:

Gernot Mittler
Staatsminister
Ministerium der Finanzen
Kaiser-Friedrich-Straße 5
55116 Mainz

Mitglieder:

Prof. Dr. E. Jürgen Zöllner
Staatsminister
Ministerium für Wissenschaft,
Weiterbildung, Forschung
und Kultur
Wallstraße 3
55122 Mainz

Hans-Artur Bauckhage
Staatsminister
Ministerium für Wirtschaft,
Verkehr, Landwirtschaft
und Weinbau
Stiftstraße 9
55116 Mainz

Mitglieder des Kuratoriums:

Kuratorium

Vorsitzender:

Prof. Dr. E. Jürgen Zöllner
Staatsminister
Ministerium für Wissenschaft, Weiter-
bildung, Forschung und Kultur
Wallstraße 3
55122 Mainz

Stellvertretender Vorsitzender:

Dr. Wilhelm Krüger
Vorsitzender des Vorstands
Tecmath AG
Europaallee 10
67657 Kaiserslautern

Mitglieder:

Hans-Josef Bracht, MdL
Königsberger Straße 25
55494 Rheinböllen

Ise Thomas, MdL
Bismarckstraße 12
56626 Andernach

Dr. Dieter Jahn
Leiter der Forschungsplanung
BASF AG
Postfach
67056 Ludwigshafen

Prof. Dr. Wolfgang Tremel
Johannes Gutenberg-Universität
Fachbereich Chemie
55122 Mainz

Prof. Dr. Barbara Kessler
Fachhochschule Koblenz
Lasertechnik
Südallee 2
53424 Remagen

Dr. Axel Wiesenhütter
Industrie- und Handelskammer
für die Pfalz
Ludwigsplatz 2-3
67059 Ludwigshafen

Werner Kuhn, MdL
Morlauterer Straße 82
67657 Kaiserslautern

Karl-Jürgen Wilbert
Hauptgeschäftsführer
Handwerkskammer Koblenz
Friedrich-Ebert-Ring 33
56068 Koblenz

Franz Schwarz, MdL
Rosenweg 6
57572 Niederfischbach

Prof. Dr. Volker Wolff
Johannes Gutenberg-Universität
Leiter Journalistisches Seminar
Alte Universitätsstraße 17
55116 Mainz

Werner Simon
Hauptgeschäftsführer
Landesvereinigung Rheinland-
Pfälzischer Unternehmer-
verbände e.V.
Hindenburgstraße 32
55118 Mainz

Prof. Dr. Christiane Ziegler
Technische Universität
Kaiserslautern
Fachbereich Physik
Postfach 30 49
67653 Kaiserslautern

Geschäftsstelle

Mitarbeiter der Geschäftsstelle:

Geschäftsführerin:

Brigitte Klempt

Wissenschaftliche Referentin:

Dr. Jutta Ohl

Mitarbeiterinnen:

Claudia Janssen-Neumann

Gerda Fischer

*Ansprechpartner im Ministerium für Wirtschaft,
Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau:*

Dr. Ulrich Müller

Robert Carbach

Bewilligungen 2004

Projektnummer

Thema

Antragsteller

Laufzeit

551 Viskoelastische Materialien bei großen Verformungen: Experiment und Parametererfassung

Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr.-Ing. R. Renz

Tel. 0631-205 3960, Fax 0631-205 3963,

E-Mail: renz@mv.uni-kl.de

3 Jahre

606 Ein neues Lumineszenzverfahren zur quantitativen und räumlichen Darstellung von Produkten des Glukosestoffwechsels in Tumoren

Johannes Gutenberg-Universität Mainz,

Prof. Dr. rer. nat. W. Müller-Klieser

Tel. 06131-392 5561, Fax 06131-392 5560,

E-Mail: Wolfgang.Mueller-Klieser@uni-mainz.de

3 Jahre

611-a Hemmung von Angiogenese und Tumorprogression durch Blockierung der HIF-1 und TGF- β -Signaltransduktion durch neue Wirkstoffe isoliert aus Pilzen

Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr. rer. nat. T. Anke

Tel. 0631-205 2697, Fax 0631-205 2999,

E-Mail: anke@rhrk.uni-kl.de

2,1 Jahre

611-b Hemmung von Angiogenese und Tumorprogression durch Blockierung der HIF-1 und TGF- β -Signaltransduktion durch neue Wirkstoffe isoliert aus Pilzen

Institut für Biotechnologie und Wirkstoff-Forschung e.V. (IBWF) KL,

Prof. Dr. rer. nat. T. Anke

Tel. 0631-205 2697, Fax 0631-205 2699,

E-Mail: timm.anke@ibwf.de

2,1 Jahre

613 Lenkassistentz beim Rückwärtsfahren

Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz, Prof. Dr. D. Zöbel

Tel. 0261-287 2724,

E-Mail: zoebel@informatik.uni-koblenz.de

2,5 Jahre

- 615 @value.web-Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Usability-Forschung für kleine und mittlere Unternehmen**
 Universität Trier, Prof. Dr. phil. M. Jäckel
 Tel. 0651-201 4226, Fax 0651-201 4227,
 E-Mail: jaeckel@uni-trier.de
 2 Jahre
- 616 Systematisches Re-Engineering bestehender Steuerungsprogramme auf der Basis formaler Beschreibungen**
 Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr.-Ing. G. Frey
 Tel. 0631-205 4455, Fax 0631-205 4462,
 E-Mail: frey@eit.uni-kl.de
 3,2 Jahre
- 619 Neuropathischer Schmerz bei Tumorerkrankungen: vom neurobiologischen Mechanismus zur gezielten Therapie**
 Klinikum der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Prof. Dr. med. F. Birklein
 Tel. 06131-17 3270, Fax 06131-17 5625,
 E-Mail: birklein@neurologie.klinik.uni-mainz.de
 2,2 Jahre
- 622 Auswirkungen von kompakter Bauweise und elektronischen Antriebssteuerungen auf die Dimensionierung von Niederspannungstransformatoren**
 Fachhochschule Trier, Standort Trier, Prof. Dr.-Ing. D. Brechtken
 Tel. 0651-8103 312, Fax 0651-8103 659,
 E-Mail: brechtken@ies.fh-trier.de
 1,5 Jahre
- 627 Analyse der TNF-Signaltransduktion bei den chronisch entzündlichen Darmerkrankungen als Grundlage für die Entwicklung neuer therapeutischer anti-TNF-Strategien**
 Klinikum der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
 Dr. med. M. Holtmann
 Tel. 06131-17 7275, Fax 06131-17 6609,
 E-Mail: mholtman@mail.uni-mainz.de
 2 Jahre
- 628 "Lab on a chip" zur optischen Flüssigkeitsanalyse im Mittelinfrarot**
 Technische Universität Kaiserslautern,
 Prof. Dr. rer. nat. H. Fouckhardt
 Tel. 0631-205 4145, Fax 0631-205 4147,
 E-Mail: fouckhar@physik.uni-kl.de
 2,5 Jahre

- 631 Expression von MHC-Klasse II -restringierten T-Zell Rezeptoren (TZR) in CD4+Empfängerzellen**
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Prof. Dr. med. M. Maeurer
 Tel. 06131-393 3645, Fax 06131-393 5580,
 E-Mail: maeurer@mail.uni-mainz.de
 1 Jahr
- 635 Entwicklung eines ultraleichten Rennradchassis aus faserverstärkten Kunststoffen für den Breitensport**
 Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (IVW) an der Universität Kaiserslautern, Dr.-Ing. habil. N. Himmel
 Tel. 0631-2017 303, Fax 0631-2017 199,
 E-Mail: himmel@ivw.uni-kl.de
 2,5 Jahre
- 640 Differenzielle Proteinanalyse**
 Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr. E. Friauf
 Tel. 0631-205 2428, Fax 0631-205 4684,
 E-Mail: friauf@rhrk.uni-kl.de
 2 Jahre
- 643 Proteinfunktion in Signalkaskaden**
 Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr. E. Friauf,
 Prof. Dr. J. W. Deitmer, Prof. Dr. R. Diller, Prof. Dr. E. Neuhaus,
 Prof. Dr. B. Brüne
 Tel. 0631-205 2428, Fax 0631-205 4684,
 E-Mail: friauf@rhrk.uni-kl.de
 2 Jahre
- 644 Audio-visuelles Virtual-Reality-Darstellungssystem für simulierte Schallfelder, Kurztitel: Akustische SR1**
 Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr. H. Hagen
 Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM)
 Kaiserslautern, Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters
 Tel. 0631-205 4072, Fax 0631-205 3270,
 E-Mail: hagen@informatik.uni-kl.de
 2 Jahre
- 647 Asymmetrie von Schädeldicke und EEG**
 Universität Trier, Prof. Dr. phil. D. Bartussek
 Brüderkrankenhaus Trier, Prof. Dr. med. Hans-Peter Busch
 Tel. 0651-201 2941, Fax 0651-201 3956,
 E-Mail: bartuss@uni-trier.de
 2 Jahre
- 653 Kompetenzzentrum BIOTECmarin (Molekulare Biotechnologie und Wirkstoffe mariner Schwämme und Schwamm-assoziiierter Mikroorganismen): BIOSILICA**
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Prof. Dr. W. Müller
 Tel. 06131-392 5910, Fax 06131-392 5243,
 E-Mail: wmueller@mail.uni-mainz.de
 3 Jahre

- 654 A Location-Based Information Announcement System with Ontology-Based Profiles (for Mobile Devices) (IASON)**
 Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz, Prof. Dr. U. Furbach
 Tel. 0261-287 2728, Fax 0261-287 2731,
 E-Mail: uli@uni-koblenz.de
 2 Jahre
- 658 Komparative Transkriptom-Analytik von Gen-Mutanten in Maus und Caenorhabditis elegans: Eine neue Methode zur Identifizierung unbekannter Reaktionswege**
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Prof. Dr. R. Leube
 Tel. 06131-392 2731, Fax 06131-392 4615,
 E-Mail: leube@mail.uni-mainz.de
 3 Jahre
- 659 eFISK - eine aufmerksamkeitsbasierte Schlüsselwort-Extraktions- und Information Retrieval-Maschine**
 Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH KL, Prof. Dr. A. Dengel
 Tel. 0631-205 3215, Fax 0631-205 3210,
 E-Mail: Dengel@dfki.de
 1 Jahr
- 660 Nano-Bio-Analytik**
 Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr. C. Ziegler
 Tel. 0631-205 2855, Fax 0631-205 3200,
 E-Mail: cz@physik.uni-kl.de
 2 Jahre
- 661 Ermittlung des Dauerbetriebsverhaltens eines Stirlingerhitzerkopfes zum Betrieb mit durch Verbrennungstaub kontaminierten Abgasen**
 ITB - Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH Bingen, Prof. Dr.-Ing. W. Sehn
 Tel. 06721-994250, Fax 06721-994251,
 E-Mail: itb@itb-institut.de
 1 Jahr
- 664 Entwicklung und Verifizierung einer verbesserten automatischen Einmal-Punktionsnadel für die Leberbiopsie**
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Prof. Dr. P. Galle/Dr. med. Ulrike Denzer
 Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH (IMM), Frank Neumann
 Tel. 06131-17 7275-7276, Fax 06131-17 5595,
 E-Mail: galle@mail.uni-mainz.de
 2 Jahre

- 665 KLMobil - Ein mobiler Informationsdienst für Kaiserslautern**
 Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr. P. Müller
 Tel. 0631-205 2263, Fax 0631-205 3056,
 E-Mail: mueller@uni-kl.de
 1,8 Jahre
- 666 Software Engineering und Workflow-Management: - Kompetenzzentrum für das "Büro der Zukunft"**
 Fraunhofer Institut Experimentelles Software Engineering (IESE)
 Kaiserslautern, Prof. Dr. D. Rombach
 Tel. 06301-707 100, Fax 06301-707 200
 E-Mail: rombach@iese.fhg.de
 1 Jahr
- 667 InnoWiss - Innovative Formen büroorientierter Wissensarbeit auf der Grundlage prozessintegrierter Informationserschließung**
 Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)
 GmbH KL, Prof. Dr. A. Dengel
 Tel. 0631-205 3215, Fax 0631-205 3210,
 E-Mail: Dengel@dfki.de
 1 Jahr
- 668 Methoden zur systematischen Feature-Generierung**
 Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM)
 KL, Dr. R. Rösch
 Tel. 0631-303 1867, Fax 0631-303 1811,
 E-Mail: roesch@itwm.fhg.de
 2 Jahre
- 671 Neue Materialien für die Mikrotechnik durch Legierungsgalvanik mittels Pulse Plating**
 Fachhochschule Kaiserslautern, Standort Kaiserslautern,
 Prof. Dr. rer. nat. M. Saumer
 Tel. 06332-914-420, Fax 06332-914-305,
 E-Mail: saumer@mst.fh-kl.de
 2,5 Jahre
- 672 COMPELL - Gassensorik für die Prozesskontrolle in Brennstoffzellen-Systemen mit integrierter Brenngaserzeugung**
 Fachhochschule Trier, Umweltcampus Birkenfeld,
 Prof. Dr. G. Hoogers
 Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH (IMM), Dr. Gunther Kolb
 Tel. 06782-171250, Fax 06782-171287,
 E-Mail: g.hoogers@umwelt-campus.de
 2 Jahre

688 Innovative Schichtsysteme für die Forschung und Entwicklung in der Magnetelektronik

Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Dr. B. Hillebrands
Tel. 0631-205 4228, Fax 0631-205 4095,
E-Mail: hilleb@physik.uni-kl.de
2 Jahre

709 Innovationsworkshop

Ministerium für Wissenschaft, Weiterbildung, Forschung und Kultur
Mainz, C. Charlier
Tel. 06131-162808
3 Tage

711 Landeswettbewerb "Jugend forscht" 2005

Landeswettbewerbsleiterin Dr. G. Hasemann
Tel. 06131-55 32 41, Fax 06131-55 32 42,
E-Mail: Gudrun.Hasemann@epost.de
1 Jahr

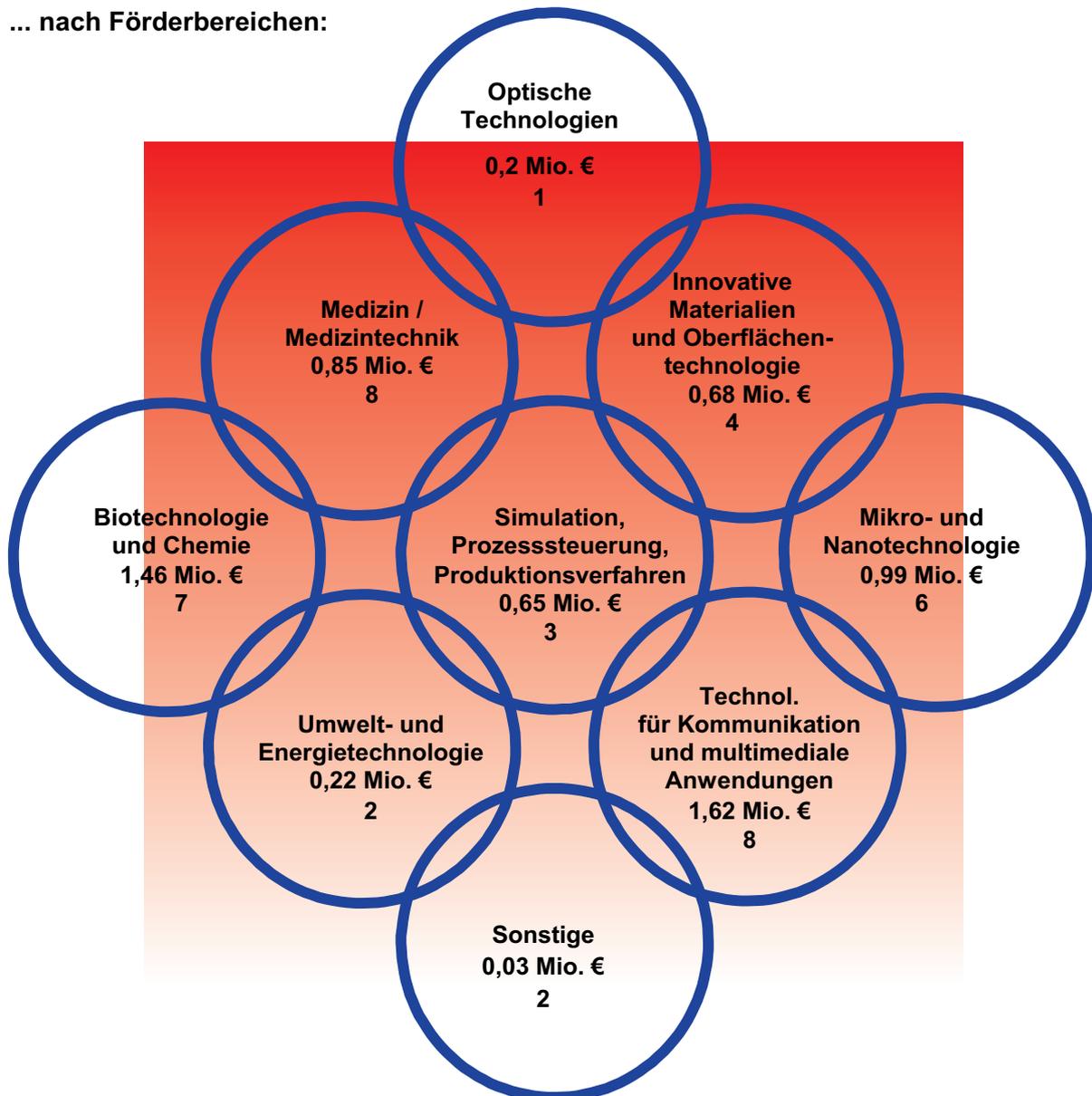
Übersicht über die in 2004 geförderten Stiftungsprojekte

...insgesamt:

Gesamtfördersumme: 5,34 Mio. €

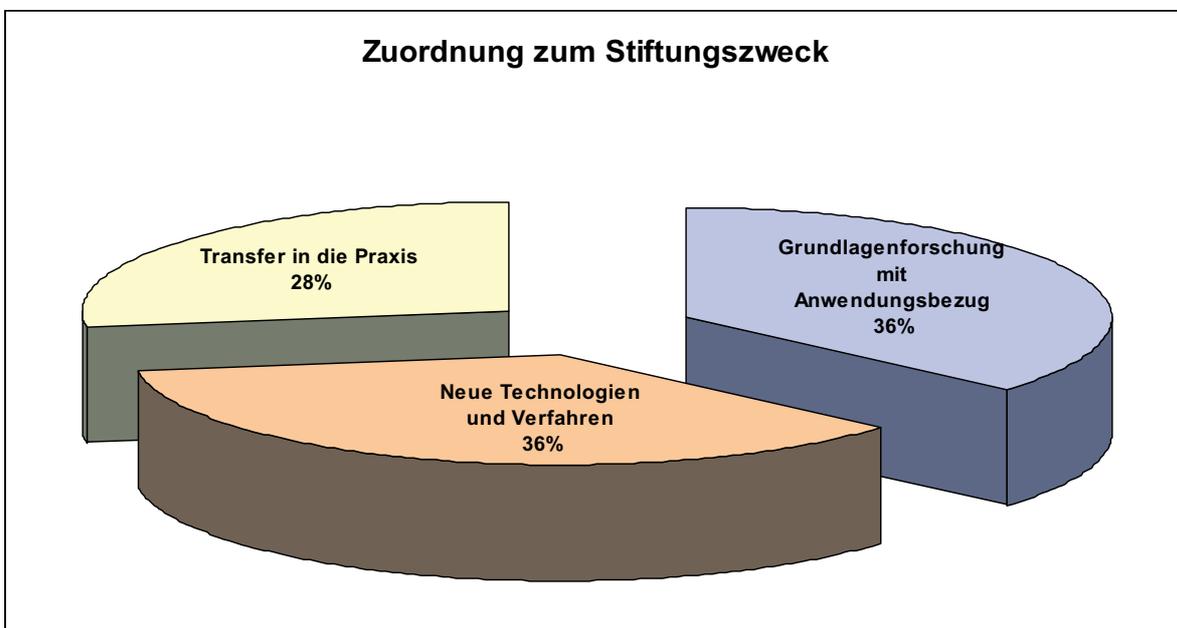
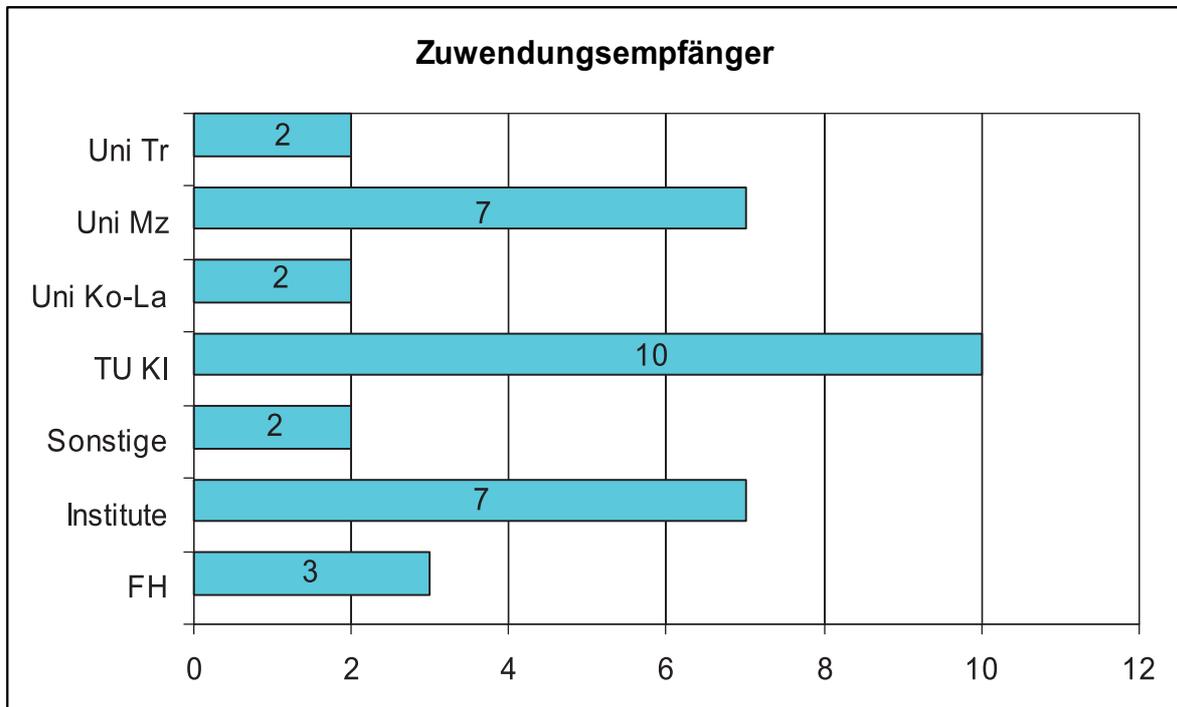
Gesamtzahl Projekte: 33

... nach Förderbereichen:



Einige Projekte wurden mehreren Förderbereichen zugeordnet. Daher ist die Anzahl und Fördersumme größer als 100 Prozent.

Zuordnung nach Zuwendungsempfänger und Stiftungszweck



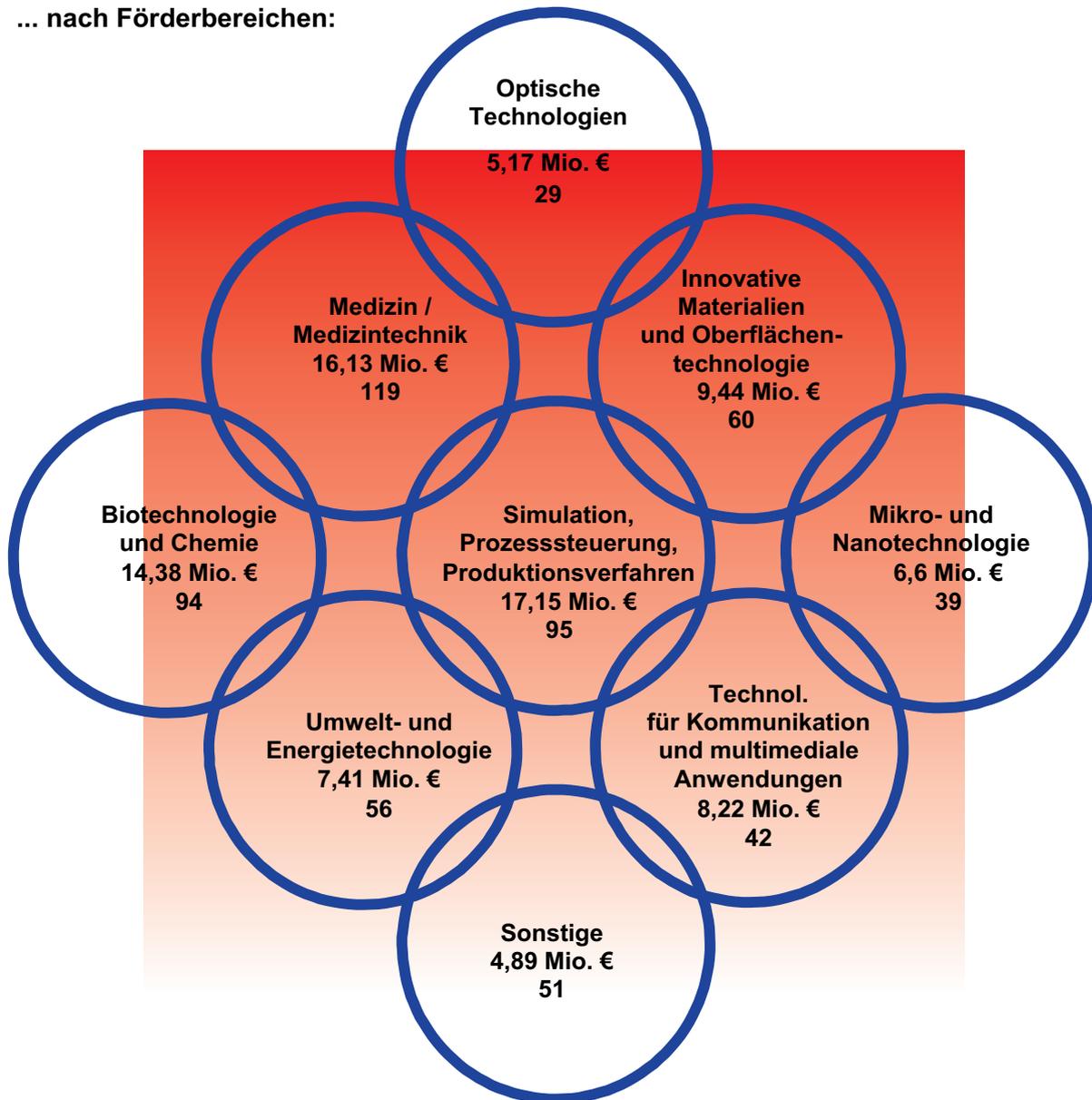
Übersicht über die geförderten Stiftungsprojekte von 1993 bis 2004

...insgesamt:

Gesamtfördersumme: 75,93 Mio. €

Gesamtzahl Projekte: 499

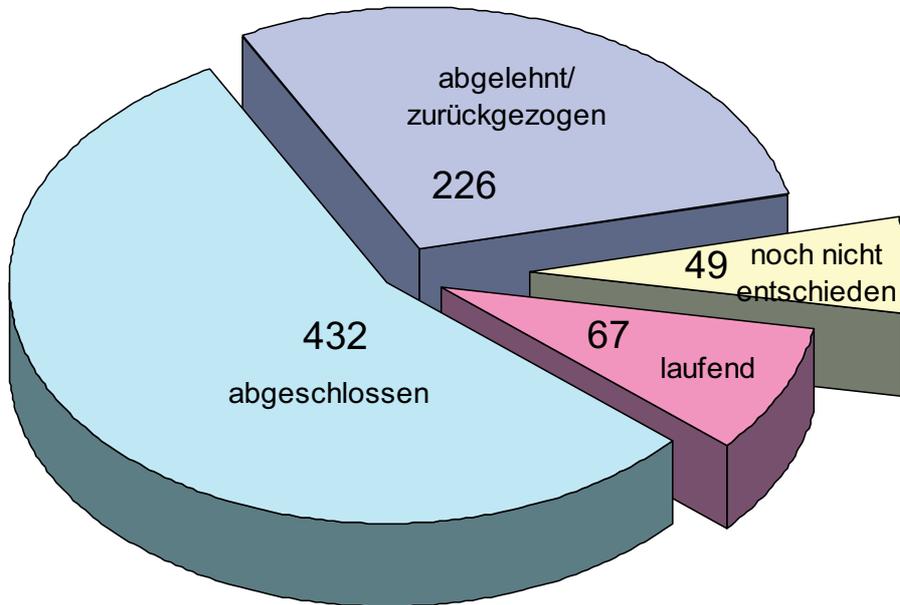
... nach Förderbereichen:



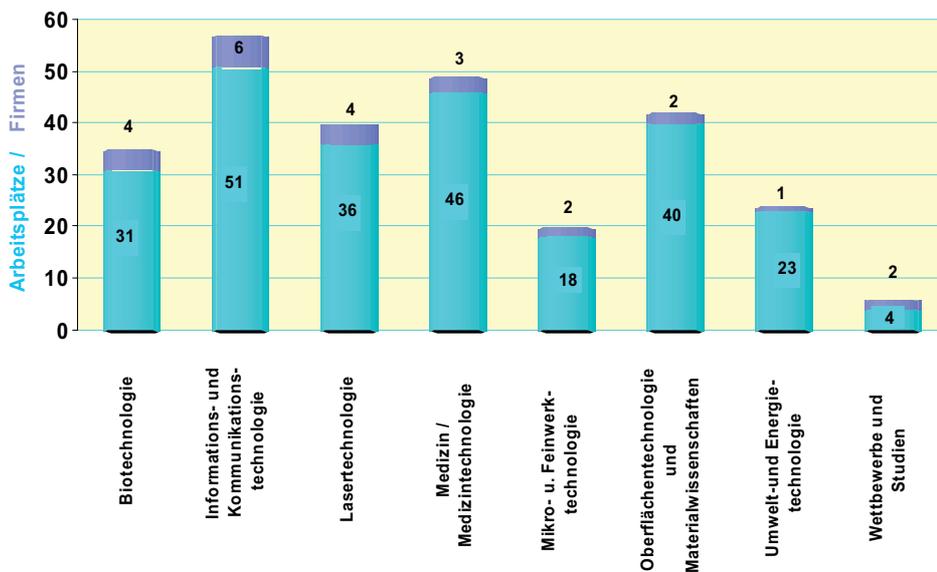
Einige Projekte wurden mehreren Förderbereichen zugeordnet. Daher ist die Anzahl und Fördersumme größer als 100 Prozent.

Gesamtübersicht 1993 – 2004

Bearbeitungsstand: Gesamt 774 Projekte



Firmengründungen 1993 – 2004 aus bisher geförderten Projekten



24 Firmen, 249 Arbeitsplätze

Beispiele abgeschlossener Projekte

Im laufenden Jahr wurden 32 Forschungsvorhaben abgeschlossen. Nachfolgend werden 5 beendete Vorhaben vorgestellt.

Optimierung des Patiententransports in Krankenhäusern

Antragsteller

Prof. Dr. Stefan Nickel, Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Gottlieb-Daimler-Straße, Geb. 49
67663 Kaiserslautern

Zuschuss insgesamt 162.584,50 Euro
Laufzeit 1.2.2002 – 31.12.2003

Arbeitsrichtung

Gesundheitssystem, Klinik, Logistik, Simulation

Einleitung

Klinikalltag in Deutschland: Der Patient wartet seit über einer Stunde auf den Transportdienst, der ihn zu einer Gewebeprobeentnahme bringen soll. Der Histologe am anderen Ende der Klinik könnte die Probe bereits jetzt untersuchen, wäre sie schon da. Die behandelnde Ärztin wiederum bräuchte möglichst schnell den histologischen Befund, um die weitere Vorgehensweise zu planen...

Fazit: Mit einer verbesserten Logistik ließen sich Wartezeiten im Klinikalltag verkürzen und vorhandene Kapazitäten gleichmäßiger auslasten.

Üblicherweise meldet eine Station oder ein Leistungsbereich einen erforderlichen Transport an die zentrale Leitstelle mit Vorgabe des Start- und Zielortes, der gewünschten Uhrzeit für die Abholung oder Ablieferung, der Patientenmobilität (liegend, sitzend, gehend), der benötigten Begleitung von Geräten und Klinikpersonal sowie der Auftragspriorität und des Infektionsrisikos. Für die Transporte stehen Mitarbeiter des Fahrdienstes zur Verfügung, die die Patienten zu Fuß oder in Krankenwagen mit unterschiedlichen Ausstattungen, Kapazitäten und Einsatzzeiten von A nach B bringen.

Anhand der angeforderten Transporte entscheidet der Disponent in der Leitstelle über die Auftragsbündelung, Routenplanung und Einsatzplanung. Bei der Auftragsbündelung werden mehrere Aufträge aufgrund ihrer räumlichen und zeitlichen Nähe einem Transportteam zugewiesen. Anschließend wird der Ablauf für jedes Team in der Reihenfolge der anzufahrenden Abhol- und Ablieferstellen geplant. Somit entstehen Touren für die einzelnen Transporteure. Den Schluss bildet eine Terminplanung, in der die geplante Uhrzeit für die Ankunft an jedem zu besuchenden Anfahrpunkt festlegt wird (s. Abb. 1). Alle diese Entscheidungen sind stark miteinander verflochten und können deshalb nicht völlig getrennt voneinander getroffen werden. Da allerdings üblicherweise nur ein geringer Teil der Transportaufträge bereits am Vortag bekannt ist (ca. 20-30%), besitzen diese Entscheidungen nur vorläufigen Charakter zu Dienstbeginn. Neue, kurzfristig angeforderte Aufträge können z.B. durch Notfälle und Neueinweisungen im Laufe des Tages ausgelöst werden. Das Problem erhält somit eine starke Online-Komponente, so dass bestehende Tourenpläne in Echtzeit ständig überarbeitet werden müssen.

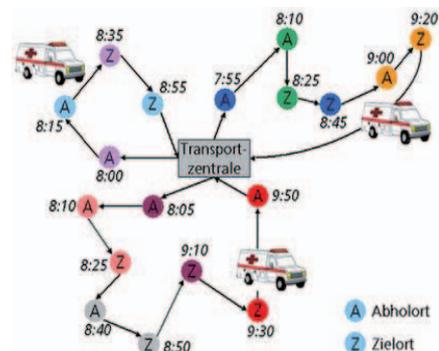


Abb. 1: Tourenpläne für drei Krankenwagen mit der Reihenfolge der anzufahrenden Abhol- (A) und Zielorte (Z) und mit der geplanten Uhrzeit für die Ankunft an jedem Anfahrpunkt

In großen Kliniken mit vielen Betten kommen täglich oft mehrere hundert Transporte zusammen, die in der Regel manuell in einer zentralen Leitstelle abgewickelt werden. Dies führt oftmals zu verspäteten Transporten, deren Verzögerungen sich fortpflanzen und somit die Folgeaufträge belasten. Aber auch in den Behandlungsräumen und OP-Sälen kann es zu teurem Stillstand kommen.

Die effiziente Abwicklung hausinterner Patiententransporte bildet den Ausgangspunkt des vorliegenden Projekts. Dieses komplexe Problem ist in der Literatur als dynamisches Dial-a-Ride-Problem (d.h. Pickup and Delivery Problem with Time Windows) bekannt. Obwohl in den letzten Jahren eine Vielzahl theoretischer und praktischer Arbeiten zur Lösung ähnlicher Probleme im Gesundheitssektor veröffentlicht wurde, ist eine Übertragung vorhandener Lösungsverfahren aufgrund der krankenhausspezifischen Anforderungen nicht möglich.

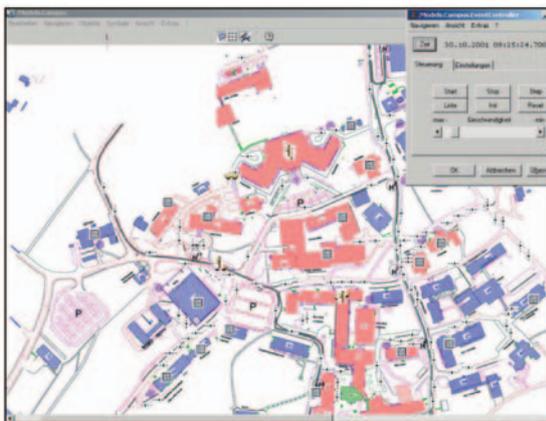


Abb. 2: Simulation des Verlaufs der anfallenden Krankentransporte in den Universitätskliniken des Saarlandes (Homburg)

Ergebnisse

Im Projekt wird zunächst die Abwicklung von Patiententransporten bei drei Großkliniken – dem Westpfalz-Klinikum in Kaiserslautern, den Universitätskliniken des Saarlandes in Homburg und dem Klinikum der Johannes Gutenberg-Universität Mainz – analysiert. Anhand der zugrunde liegenden Transportdaten und der Lagepläne der Kliniken wird jeweils der Ablauf der Auftragsvergabe und der Krankentransporte mit Hilfe eines Simulationsmodells abgebildet (s. Abb. 2). Die Simulation ermöglicht es, die Ist-Situation darzustellen und den Verlauf der anfallenden Transporte anhand verschiedener Kennziffern (z.B. zeitliche Verteilung des Transportaufkommens, durchschnittliche Transportdauer, zurückgelegte Entfernungen der einzelnen Fahrzeuge, durchschnittliche Wartezeit der Patienten) zu bewerten. Mit Hilfe der Simulation wird darüber hinaus deutlich, welche Transporte verhältnismäßig lange dauern und wo die eigentlichen Engpässe liegen.

Anschließend wird ein schneller zweistufiger Optimierungsansatz entwickelt, um das Problem der Auftragsvergabe in Echtzeit zu lösen. Das Ziel des Optimierungsverfahrens besteht darin, die Touren für einzelne Transporteure so zu konstruieren, dass die Betriebskosten (z.B. Transportkosten) minimiert werden und gleichzeitig die Servicequalität maximiert (z.B. durch geringe Patientenwartezeiten) wird. Dafür werden zunächst mittels einer Konstruktionsheuristik offene Aufträge den verfügbaren Transportteams zugeordnet und zulässige Touren gebildet. In der zweiten Stufe wird eine auf Tabu-Suche basierende Heuristik mit dem Ziel eingesetzt, eine bessere Lösung durch den Austausch von Anfahrpunkten sowohl innerhalb einer Tour als auch zwischen zwei Touren zu finden. Durch den Austausch von Anfahrpunkten entsteht eine neue Auftragsreihenfolge, die erst wirkungsvoll wird, wenn sich die gesamte Patientenwartezeit verringert. Mit Hilfe des Simulationsmodells wurde diese neue Strategie zur Disposition von Krankentransporten auf ihre Anwendbarkeit getestet, bevor sie im Klinikalltag eingesetzt werden kann. Die Tests zeigen, dass dieses Verfahrens die Wartezeiten der Patienten deutlich verringert – in der Uniklinik Mainz beispielsweise um ca. 26% (s. Abb. 3). Zu den weiteren Vorteilen zählt eine gleichmäßige Auslastung der Kapazitäten von Transportteams. Somit wird sowohl die Wirtschaftlichkeit des Krankenhauses erhöht als auch die Servicequalität gesteigert.

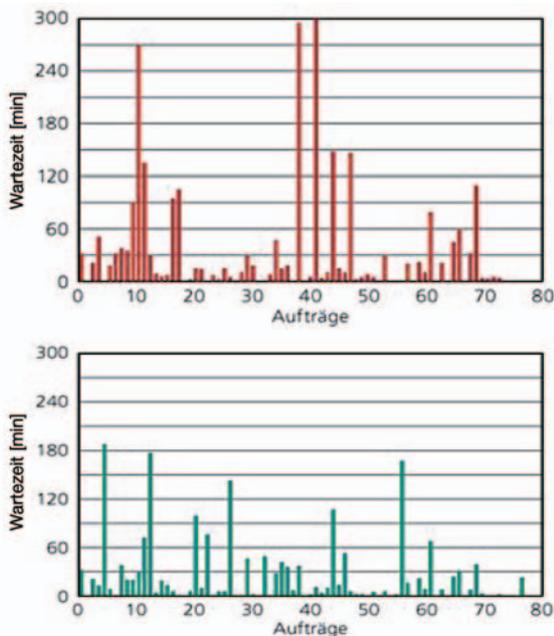


Abb. 3: Vergleich der Patientenwartezeiten im Klinikum der Johannes Gutenberg-Universität Mainz vor (rot) und nach der Optimierung (grün): Durch optimale Dispositionsstrategien verringert sich die Wartezeit um ca. 26%

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

Aufgrund der positiven Bewertung seitens der beteiligten Krankenhäuser hat sich das Fraunhofer ITWM entschieden, die Strategien zur Transportdisposition zusammen mit zwei Partnern zu einem Softwareprodukt weiterzuentwickeln. Die Kooperationspartner – die SIEDA GmbH in Kaiserslautern (einem Partner des Unternehmens GWI AG) und die COMEXAR Engineering AG (Schweiz) – verfügen über langjährige Erfahrungen in der Bereitstellung von IT-Lösungen für das Gesundheitswesen.

Die neue Software - **Opti-Trans**[®] für »Optimierung von Transporten im Krankenhaus« (s. Abb. 4) - unterstützt nicht nur die Echtzeit-Erfassung und -Disposition von Patiententransporten, sondern auch von Materialtransporten (z.B. Laborproben, Blutkonserven). Die Firmen SIEDA und COMEXAR entwickeln die Benutzeroberfläche und binden die Software an bestehende Krankenhausinformationssysteme an. Das Fraunhofer ITWM ist für die Implementierung geeigneter Optimierungsverfahren zuständig.

Die Entwicklung hat 2004 begonnen und wird durch zwei Großkliniken unterstützt: Die Universitätskliniken des Saarlandes (die bereits im Rahmen des Vorhabens mit dem Fraunhofer ITWM kooperiert haben) und die Städtischen Kliniken Frankfurt am Main-Höchst. **Opti-Trans**[®] wird derzeit von den beiden Entwicklungspartnern getestet und startet voraussichtlich im Sommer 2005 in den Echtbetrieb. Interesse an der Einführung von **Opti-Trans**[®] wird auch bei rheinland-pfälzischen Krankenhäusern erwartet. Weitere Informationen über **Opti-Trans**[®] sind unter www.opti-trans.com zu finden.

Ausgewählte Publikationen, Vorträge

- [1] Michael Eley, Stefan Nickel: Kürzere Wartezeiten im Krankenhaus: Unikliniken des Saarlandes und Fraunhofer ITWM optimieren Patiententransporte, in: Management & Krankenhaus, Nov. 2002
- [2] Michael Eley: Optimization and simulation for hospital planning, eingeladener Vortrag, Universitätskrankenhaus MAS, Malmö, Schweden, 30. April 2003
- [3] Stefan Nickel: Planungsunterstützung durch Simulation und moderne Planungsalgorithmen, Vortrag auf der Jahrestagung der Arbeitsgruppe „OR im Gesundheitswesen“ der Gesellschaft für Operations Research, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 14. März 2003
- [4] Stefan Nickel: Planning patient transports in hospitals – insights and a project report, Jahrestagung der Gesellschaft für Operations Research, Heidelberg, 3.-5. September 2003.

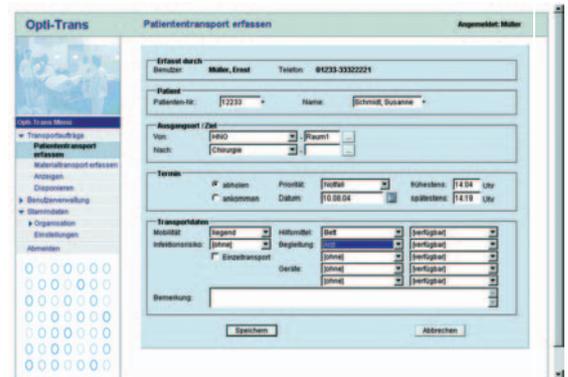


Abb. 4: Erfassung eines Patiententransports mit der Web-Applikation **Opti-Trans**[®]

Neue Inhibitoren der Expression entzündungsunterhaltender Enzyme und Cytokinen aus Pilzen

Antragsteller

Prof. Dr. T. Anke / PD Dr. G. Erkel
Institut für Biotechnologie und Wirkstoff-Forschung e.V. (IBWF)
 Erwin-Schrödinger-Straße 56
 67663 Kaiserslautern

Prof. Dr. U. Förstermann / PD Dr. H. Kleinert
Institut für Pharmakologie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Obere Zahlbacher Str. 67
 55101 Mainz

Prof. Dr. H. Kunz
Institut für Organische Chemie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Duesbergweg 10-14
 55128 Mainz

Zuschuss insgesamt 302.643,37 €
 Laufzeit 1.6.2001 - 31.12.2003

Arbeitsrichtung

Biotechnologie / Pharmakologie

Einleitung

Viele chronisch-entzündliche Erkrankungen und Autoimmunerkrankungen sind Krankheitsbilder, für die gegenwärtig nur unzureichende therapeutische Möglichkeiten bestehen und bei denen eine kausale Therapie nicht verfügbar ist. Daher steht die Suche und Entwicklung neuer hochwirksamer Medikamente im Mittelpunkt der pharmazeutischen Forschung. Die Sequenzierung des menschlichen Genoms und die rasanten Fortschritte der Molekularbiologie ermöglichen einen stetig wachsenden Erkenntnisgewinn über Krankheitsbilder und attraktive Angriffspunkte auf molekularer Ebene. Eine wichtige Quelle zur Leitstruktursuche neuer Medikamente bilden chemische Bibliotheken von synthetischen Verbindungen, die für das Hochdurchsatz-Screening (HTS) zur Verfügung stehen. Eine weitere Ergänzung stellen die durch kombinatorische Chemie erzeugten umfangreichen Substanzbibliotheken dar, die durch Verknüpfung von Automatisierung und simultaner Synthese erzeugt werden. Daneben ist die Methode sehr gut geeignet, schnell eine Vielzahl von Derivaten interessierender Grundstrukturen bereitzustellen.

Die rationale Entwicklung neuer Strukturen konnte jedoch nicht mit der Entwicklung von Modellen und Testsystemen für unterschiedliche Erkrankungen Schritt halten. Ein Ausweg stellt nach wie vor die strukturelle Vielfalt der Naturstoffe dar. Naturstoffe haben den Vorteil, dass komplexe, chirale Strukturen einfacher zugänglich gemacht werden können und diese dann als Leitsubstanzen für eine kombinatorisch-organische Modifikation dienen können.

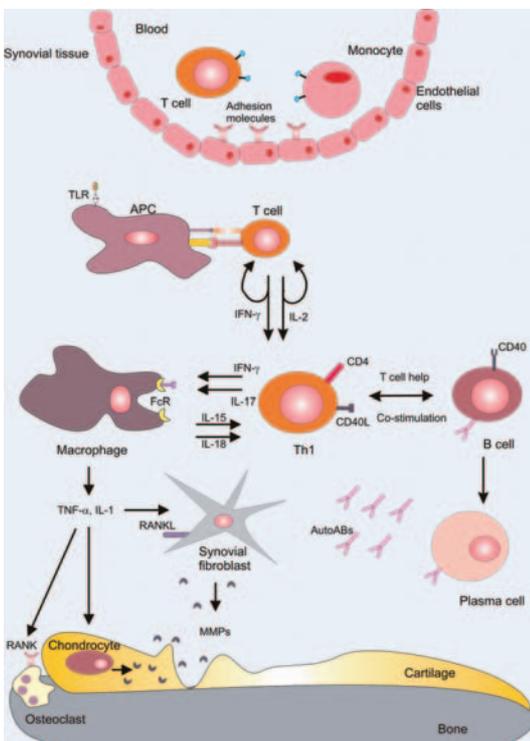


Abb. 1: Zellen und Mediatoren einer Entzündungsreaktion am Beispiel der rheumatoiden Arthritis

Entzündungsreaktionen sind Reaktionen des Organismus auf Verletzung, Infektion und Trauma und sind durch eine abnormale Akkumulation von inflammatorischen Immunzellen (siehe Abb. 1) charakterisiert. Diese Immunzellen (zusammen mit Endothelzellen und Fibroblasten) synthetisieren und exportieren ein komplexes Gemisch aus Lipiden, Wachstumsfaktoren, Cytokinen, Chemokinen und destruktiven Enzymen, das dann lokale Gewebsschäden und fibrotische Prozesse bedingen kann. Die Summe aller dieser Wechselwirkungen führt schließlich zu den chronischen immuninflammatorischen Prozessen. Bedeutsame Mediatorstoffe innerhalb dieses Netzwerkes sind das Stickstoffmonoxid-Radikal (NO) einerseits und Prostanoiden andererseits. Die lokale, exzessive Bildung von NO und Prostanoiden ist aber auch bei autoimmunologischen und chronisch-entzündlichen Prozessen zu beobachten. Hier unterhalten die Mediatoren den unerwünschten Entzündungsprozess und führen zu irreversiblen Zellschäden am Entzündungsort. Für die Bildung von NO und Prostanoiden im Entzündungsgeschehen sind zwei induzierbare Enzyme verantwortlich, die induzierbare NO-Synthase (iNOS, NOS II) und die Cyclooxygenase 2 (COX-2). Beide werden überwiegend auf der Stufe der Genexpression reguliert. Beide Enzyme können in pathophysiologischen Situationen in Zellen des Immunsystems, aber auch in vielen anderen Zelltypen induziert werden. Hohe Prostanoidkonzentrationen, gebildet von der COX-2, vermitteln Entzündungssymptome wie Schmerz und Vasodilatation. Die hohen NO-Konzentrationen, die von der iNOS synthetisiert werden, können darüber hinaus Zellschäden und Apoptose/programmierten Zelltod auslösen (z.B. bei Diabetes Typ I, rheumathoider Arthritis, Asthma, entzündlichen Darmerkrankungen, u.a.).

Die Regulation dieser Gene erfolgt auf der Ebene der Transkription und wird durch Transkriptionsfaktoren vermittelt, die durch unterschiedliche intrazelluläre Signaltransduktionswege aktiviert oder durch Modulation der Stabilität der jeweiligen mRNA (Bindung von RNA-Bindeproteinen an regulatorische Sequenzen der Boten RNA/mRNA) reguliert werden. Vier Transkriptionsfaktor-Familien, Activator-Protein-1 (AP-1/ATF2), Nuclear factor of Activated T-cells (NF-AT), Nuclear factor kappaB (NF-κB) und Signal Transducer and Activator of Transcription (STATs) sind wichtige Regulatoren von Genen, die entzündungsfördernde Zytokine, Wachstumsfaktoren, induzierbare Enzyme und Adhensionsmoleküle kodieren. Die Aktivität dieser Transkriptionsfaktoren wird direkt oder indirekt durch MAP-Kinase abhängige Signalwege (AP-1, NF-AT, NF-κB) oder JAK-abhängige Signalwege (STATs) reguliert. Aktiviert werden diese Signaltransduktionswege durch eine Fülle unterschiedlicher Stimuli wie Zytokine, Wachstumsfaktoren, Lipopolysaccharid (LPS) und Stress-induzierende Agentien.

Neuere Strategien zur therapeutischen Intervention inflammatorischer Erkrankungen bestehen in der Entwicklung von Substanzen, die auf der Ebene der Genexpression die Synthese entzündungsrelevanter Enzyme und Proteine unterdrücken, indem sie Komponenten der beteiligten Signalwege inhibieren oder direkt die Aktivität der beteiligten Transkriptionsfaktoren modulieren.

Ergebnisse

Mit molekularbiologischen Suchmethoden (siehe Abb. 2) wurden von uns die Verbindungen Sporogen-A01, S14-95 und (S)-Curvularin (siehe Abb. 3) aus Fermentationen von Pilzen isoliert, die auf der Ebene der Genexpression die Synthese entzündungsrelevanter Enzyme (iNOS, COX-2) und Cytokine (TNF-α) unterdrücken.

- Sporogen-A01, S14-95 und (S)-Curvularin hemmen die Induktion des iNOS-Promotors, der iNOS-mRNA- und iNOS-Protein-Expression und der Nitrit-Produktion in humanen Zellen, ohne cytotoxische Wirkungen zu zeigen.
- Als Mechanismus der Hemmwirkung der drei Pilzverbindungen auf die Cytokin-induzierte iNOS-Expression wurde die Inhibition der Phosphorylierung und somit Aktivierung der Tyrosinkinase JAK2 und des Transkriptionsfaktors STAT-1α identifiziert.

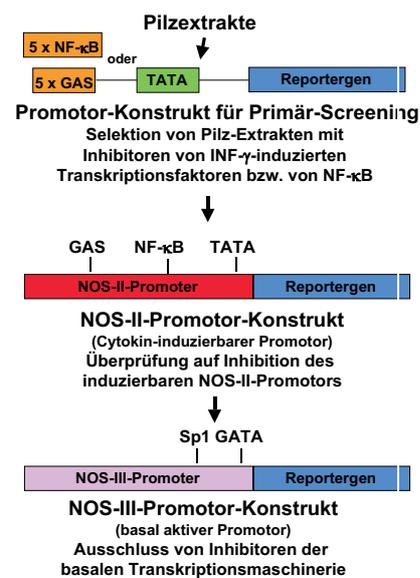
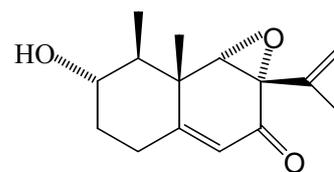
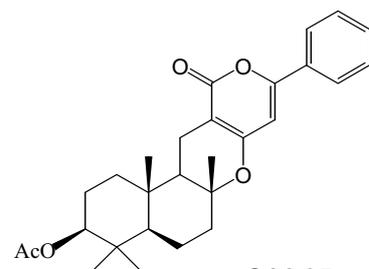


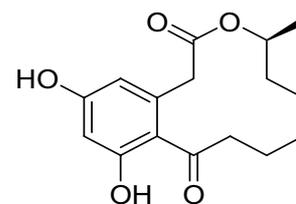
Abb. 2: Schema der beim "Screening" verwendeten Reporter-Konstrukte



Sporogen-A01



S14-95



(S)-Curvularin

Abb. 3: Strukturen der isolierten Pilzmetabolite

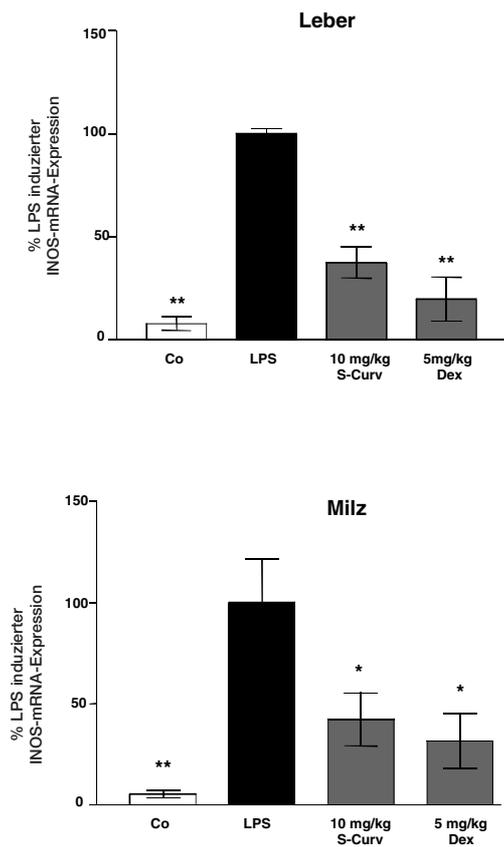
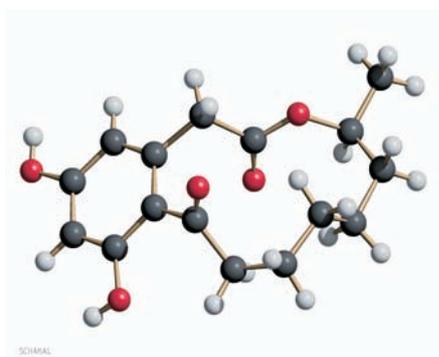


Abb. 4: In-vivo Wirkung von (S)-Curvularin auf die LPS-induzierte iNOS-Expression in der Leber und der Milz von Mäusen



(S)-Curvularin

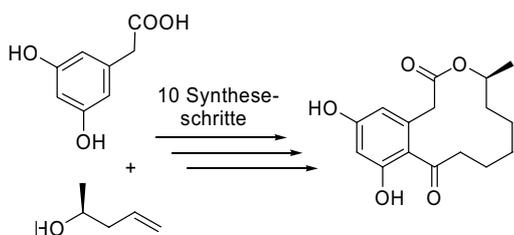


Abb.5: Totalsyntheschema von Curvularin

- Dagegen scheint eine Heraufregulation der Expression der den JAK-STAT-Weg hemmenden SOCS-Proteine keine Rolle zu spielen.
- In in-vivo-Experimenten in Mäusen konnte gezeigt werden, dass auch die LPS-induzierte iNOS-mRNA-Expression in den verschiedenen Organen (Leber, Milz, Niere und Herz) durch (S)-Curvularin Dosis-abhängig gehemmt wird. In der Milz, der Leber, der Niere und dem Herz ist diese Hemmwirkung vergleichbar mit der Wirkung des Glucocorticoids Dexamethason (siehe Abb. 4).

Unter den wirksamen Inhibitoren der Biosynthese von iNOS und COX2 kann das (S)-Curvularin biotechnologisch in Gramm-Mengen gewonnen werden. Es ist somit ein geeigneter Kandidat für eine chemische Modifizierung, um Verbindungen zu gewinnen, die ein verändertes Wirkspektrum, eine veränderte Wirkungsdauer und einen anderen Metabolismus aufweisen.

Bei (S)-Curvularin (siehe Abb. 3 und 5) handelt es sich um einen zwölfgliedrigen makrocyclischen Ester. Es sollte nun die Wirkung der Substanz durch Variation der Ausgangsstruktur verbessert werden. Um die Wirksamkeit von (S)-Curvularin optimieren zu können, war es nötig, die entsprechenden Wirkgruppen durch chemische Modifikation zu identifizieren und gegebenenfalls variieren zu können. In der Arbeitsgruppe H. Kunz wurde deshalb eine neuartige Totalsynthese für (S)-Curvularin entwickelt. Die Substanz lässt sich damit auf chemischem Weg ausgehend von kommerziell erhältlichen Synthesebausteinen herstellen. Die Synthese erfordert 10 lineare Syntheseschritte, ausgehend von Dihydroxyphenylethylsäure und (S)-Pentanol, einem chiralen Alkohol. Vor allem der Aufbau des zwölfgliedrigen Ringsystems gestaltet sich anspruchsvoll, da diese sich im allgemeinen selektiv sehr schwer schließen lassen.

Mit der entwickelten Synthesestrategie konnten außer (S)-Curvularin durch den Einsatz anderer Ausgangsstoffe, die natürlich nicht vorkommenden vergrößerten 14- und 16-Ring-Systeme sowie das entsprechende „Spiegelbild“ (R)-Curvularin synthetisiert werden. Weiterhin wurden verschiedene funktionelle Gruppen am Ausgangsmolekül entfernt oder hinzugefügt und beobachtet, wie sich die Wirkung in Abhängigkeit von der Modifikation verändert. Es wurden zudem strukturell analoge, aber einfacher zu synthetisierende Verbindungen hergestellt und in biologischen Tests überprüft, in wie weit sich eine ähnliche Wirkung auf den STAT1-Signalweg erzielen lässt.

Es konnten insgesamt über vierzig verschiedene Makrocyclen sowie weitere Strukturanaloga synthetisiert werden, die auf „natürlichem“ Weg nicht zugänglich wären (siehe Abb. 6 und 7). Diese sind momentan noch Gegenstand der biologischen Testung. Es konnten aber bereits zwei Verbindungen identifiziert werden, die eine stärkere Wirkung als die Ausgangssubstanz (S)-Curvularin aufweisen.

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

Selektiv wirkende Naturstoffe sind überaus wertvolle biochemische Werkzeuge bei der Untersuchung von komplexen Stoffwechselwegen, die bei Erkrankungen eine Rolle spielen. Darüber hinaus können Strukturinformationen erhalten werden, die zur Entwicklung neuer chemischer Methoden und Synthesen, sowie nachfolgend neuer Reagenzien für biologische Studien führen. Das Projekt zielt auf einen therapeutischen Bereich, in dem ein signifikanter Bedarf an neuen, besseren Arzneimitteln besteht.

Die Verordnung entzündungshemmender und schmerzlindernder Medikamente liegt an der Spitze aller Verordnungen in Deutschland. Für die meisten chronisch entzündlichen Erkrankungen und Autoimmunerkrankungen wie rheumatoide Arthritiden, Glomerulonephritiden, Kollagenosen, aber auch Diabetes mellitus (Typ I) und Asthma bronchiale ist eine kausale Therapie nicht verfügbar. Symptomatische Therapien erfordert Langzeitbehandlungen. Hierzu sind Arzneimittel notwendig, die die Krankheitssymptome mit den geringstmöglichen unerwünschten Wirkungen lindern und wenig oder keine Dauerschäden hinterlassen. Derartige Arzneimittel stehen gegenwärtig kaum zur Verfügung.

Publikationen

Yao, Y., M. Hausding, G. Erkel, T. Anke, U. Förstermann and H. Klei-
nert (2003). Sporogen, S14-95, and S-curvularin, three inhibitors of
human inducible nitric-oxide synthase expression isolated from fungi.
Mol. Pharmacol. 63: 383-391.

Erkel, G., J. Rether, T. Anke and O. Sterner (2003). S14-95, a novel
inhibitor of the JAK/STAT pathway from a *Penicillium* species. J. Anti-
biot. 56: 337-43.

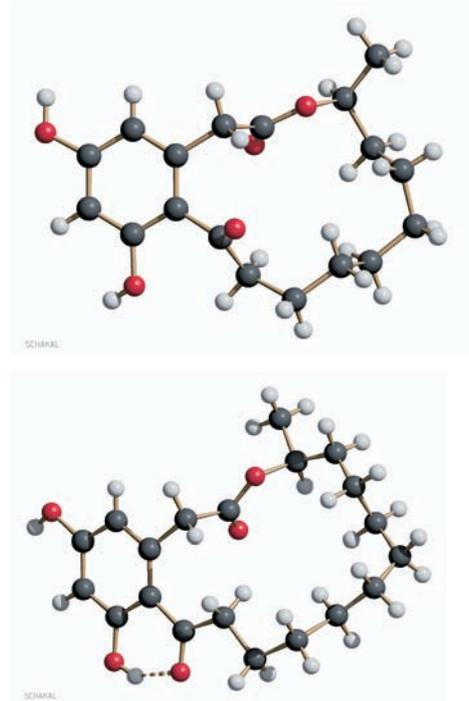


Abb.6:
Röntgenstrukturen der ringvergrößerten Curvularine

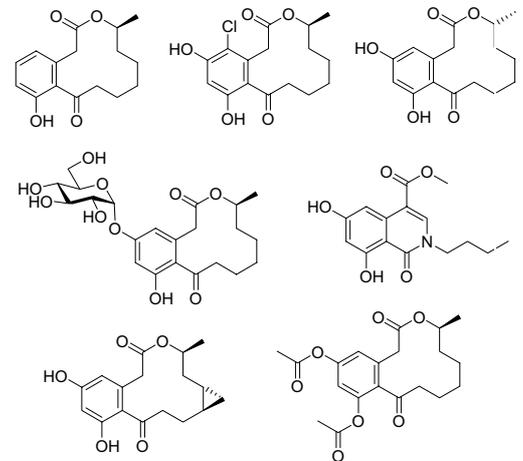


Abb.7:
Einige synthetisch hergestellte Curvularinderivate

Aufbau und Untersuchung parallelkinematischer Strukturen einfacher Bauart

Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik;
Technische Universität Kaiserslautern

Erwin-Schrödinger-Straße
67663 Kaiserslautern

Zuschuss insgesamt 198.585,80 €
Laufzeit 1.1.2003 – 31.12.2004

Arbeitsrichtung

Konstruktionsmethodik, Modellbildung, Simulation, Steuerung

Einleitung

Die zunehmende Automatisierung in der Produktion bei immer geringeren Fertigungszeiten führt zu steigenden Anforderungen an die Handhabungs- und Robotersysteme auf den Gebieten Genauigkeit und Dynamik. Der überwiegende Anteil der Maschinensysteme in diesem Bereich besteht aus seriellen Strukturen, deren Potenzial an Leistungssteigerung, gerade im hochdynamischen Anwendungsbereich, jedoch begrenzt ist. Die vor einigen Jahren der Fachpresse vorgestellten, neuartigen parallelkinematischen Strukturen versprachen im Bezug auf die dynamischen und statischen Parameter neue Leistungspotentiale und gelangten damit in den Fokus universitärer und industrieller Forschung. Die anstehenden Entwicklungen betreffen dabei sowohl die Konstruktionssystematik und Weiterentwicklung der verschiedenen Grundkomponenten als auch die Bearbeitung mess-, steuerungs- und regelungstechnischer Fragestellungen. Bisher konnten jedoch nur wenige parallele Mechanismen ihre industrielle Tauglichkeit unter Beweis stellen, so dass man für die verschiedenen Einsatzgebiete und Aufgaben von parallelkinematischen Mechanismen (PKM) angepasste kinematische Strukturen entwickeln muss. Besonders vor dem Hintergrund des gleichartigen Aufbaus der Gelenkketten ergibt sich die Möglichkeit, kostenoptimierte parallelkinematische Strukturen zu entwickeln, die vornehmlich aus Standardkomponenten klein- und mittelständischer Unternehmen (KMU) aufgebaut sind. Im Zuge von Recherchen ergab sich daraus für den Lehrstuhl Maschinenelemente und Getriebetechnik und den Lehrstuhl für Eingebettete Systeme und Robotik der Technischen Universität Kaiserslautern der forschungsseitige Ansatz, die Struktursynthese unter dem speziellen Aspekt der Steuerungsintegration und Modellierung der Systeme zu betrachten und die erzielten Ergebnisse durch die Entwicklung und den Aufbau eines parallelkinematischen Demonstrators zu validieren. Der Aufbau des Demonstrators wird dabei vornehmlich durch den Einsatz von Standardkomponenten, die häufig in der mittelständischen Industrie hergestellt und eingesetzt werden, realisiert.

Ergebnisse

Die zu Beginn durchgeführte Marktstudie verfolgte das Ziel, die Datenbasis zur Entwicklung parallelkinematischer Strukturen, die anwendungsspezifisch aus Standardelementen aufgebaut werden können, zu ermitteln. Die aus der Studie resultierende Forderung der Märkte nach flexibel konfigurierbaren Handhabungsstrukturen unterstützt den verfolgten forschungsseitigen Ansatz, parallelkinematische Strukturen aus Standardelementen mit Hilfe eines Baukastensystems zu konfigurieren und aufzubauen.

Neben einer ebenen Parallelkinematik wurde den befragten Unternehmen auch eine räumliche Tripodstruktur vorgestellt. Die Forderung vieler Unternehmen nach einer Erhöhung der Freiheitsgradanzahl kann durch eine geeignete Auswahl der Gelenktypen in einer Tripodstruktur realisiert werden. Als Demonstrationsplattform wurde im Rahmen dieses Projekts eine Tripodstruktur mit dem Freiheitsgrad drei umgesetzt (Abb.1, Abb.2).

Der strukturelle Aufbau der parallelkinematischen Mechanismen aus einer bestimmten Zahl an gleichen Grundkomponenten unterstützt nicht nur den Aufbau eines mechanischen Baukastensystems, sondern eröffnet die Möglichkeit, eine universelle Konstruktionssystematik zur Erstellung von parallelen und seriellen Mechanismen zu entwickeln. Die Betrachtung der aktiven und passiven Gelenkfreiheitsgrade und deren mathematische Formulierung bilden das Bindeglied zwischen der getriebetechnischen Struktursynthese und der im Rahmen des Projekts entwickelten mehrkörperorientierten Modellierungsweise paralleler Strukturen. Dabei erlaubt die Beschreibungs-methode sowohl die Modellierung paralleler als auch serieller Kinematiken. Das Verfahren stellt die Basis zur Ableitung des steuerungstechnischen Gleichungssystems bereit, wobei die Glieder des betrachteten Mechanismus in lokale Koordinatensysteme gebettet werden und deren jeweilige Kopplung (Zwangsbedingung) durch die definierten Gelenkstrukturen in nichtlinearen algebraischen Gleichungen abgelegt sind. Die Lösungen des resultierenden Gleichungssystems stellen die Bewegungsmöglichkeiten der betrachteten Glieder dar. Diese Variablen können dann sowohl zur Ansteuerung der realen Kinematik, als auch virtueller Prototypen innerhalb kommerzieller Simulationssysteme eingesetzt werden. Beide Einsatzgebiete des neuen Modellierungsverfahrens konnten im Rahmen des Projekts umgesetzt werden. Dabei wurden mehrere Modellstrukturen in unterschiedlichen Simulationssystemen (FE-, MKS-System) der beiden Validierungsplattformen aufgebaut mit dem Ziel, das statische und dynamische Verhalten der Struktur sowie den Einfluss der verschiedenen Maschinenelemente auf das Positionierverhalten der Maschinenstrukturen zu untersuchen (Abb.3, Abb.4).

Im Rahmen von messtechnischen Untersuchungen der beiden Demonstrationsplattformen wurden mit Hilfe von Laserabstands-sensoren die Bahnkurven der jeweiligen Arbeitsplattformen ermittelt und deren Abweichung mit der jeweiligen idealen Steuerungsvorgabe verglichen. In der Abb. 5 ist die Anordnung der Lasersensoren zur Erfassung der Plattformorientierung dargestellt. In den experimentellen Untersuchungen der Bewegung der Tripodplattform sind die dynamischen Orientierungsabweichungen sichtbar, die durch entsprechende Kompensationsstrategien zukünftig zu minimieren sind (Abb. 6).

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

Die sich aus den Projektergebnissen ergebenden zukünftigen Arbeiten werden sich im Kern mit der Weiterentwicklung und Übertragung des Modellierungsverfahrens in eine KMU-spezifischen Entwicklungsumgebung, sowie der Erstellung einer optimierten Trajektorienplanung für parallele und serielle Handhabungs-, Lager- und Transportsysteme beschäftigen. Neben der Entwicklung von parallelen und seriellen Mechanismen soll die Plattform den Anwender auch bei der Steuerungscodegenerierung und Sensor-einbindung unterstützen. Neben umfangreichen Modellbetrachtungen sind detaillierte experimentelle Untersuchungen einzelner Maschinenelemente, insbesondere einer Linearführung geplant, die als Datenbasis zur Verbesserung der bestehenden physikalischen Demonstratoren als auch der Mehrkörpermodelle eingesetzt werden sollen.



Abb. 1: Paralleler Mechanismus Tripod



Abb. 2: Validierungsplattform Tripod

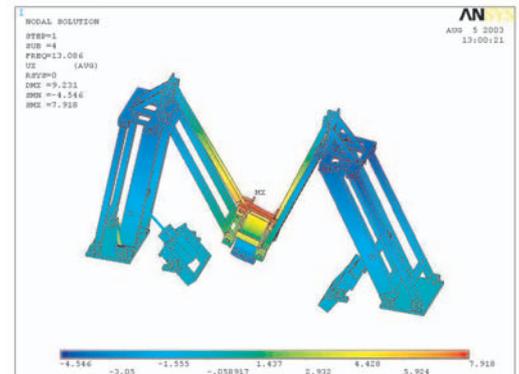


Abb. 3: FE-Struktur SpiderMill

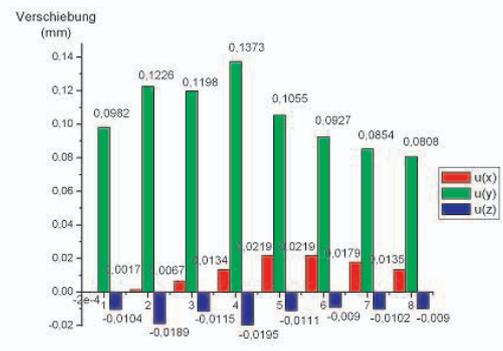


Abb.4: Berechnete Verschiebungen TCP SpiderMill [mm]

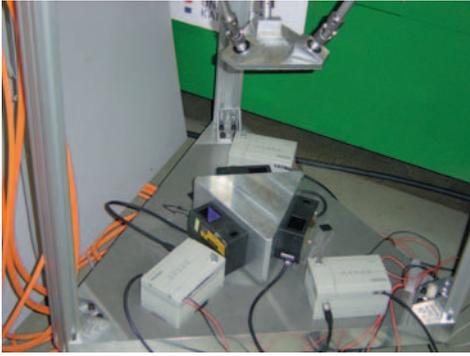


Abb.5: Messsystem Tripod

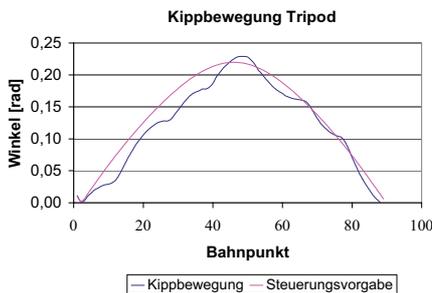


Abb. 6: Gemessene Bahnabweichung Tripod

Veröffentlichungen

Hahn, K.; Nicola, A.; Sauer, B.: *Optimierung der Gelenkeigenschaften eines PKM-Prototypen zur Erhöhung der Arbeitsgenauigkeit*. Veröffentlichung: Antriebstechnik Heft 10 2003; Seite 52-56

Sauer, B., Hahn, K., Teutsch, R., Nicola, A.: *Untersuchungen zur Gelenk- und Lagersteifigkeit zur Anwendung in neuen Maschinenkonzepten*. Papers for the workshop of „New Trends in Engineering Design“, Balatonfüred, June 27-28,2003, HU ISSN 0026 1890

Sauer, B., Groß, T.: *Ganzheitliche Entwicklung serieller und paralleler Mechanismen durch die Einflussanalyse relevanter Maschinenelemente mit Hilfe einer gekoppelten Mehrkörpersimulation*. Eingereicht: 50. Internationales Kolloquium 2005 TU Ilmenau

Weitere Veröffentlichungen in 2005 geplant

Kooperationen mit den Firmen

Fa. MiniTec (Waldmohr) Maschinenbau GmbH & Co. KG;
Nickelsweiher 11
D-66914 Waldmohr

Fa. Bosch-Rexroth AG
Linear Motion and Assembly Technologies
D-97419 Schweinfurt

*Zusammenarbeit mit Instituten an der Technischen Universität Kaiserslautern ***

AG Robotersysteme; FB Informatik (Technische Universität Kaiserslautern)
Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr. Berns
Aufbau mechatronischer Robotersysteme unter Berücksichtigung relevanter Maschinenelemente

AG Regelungstechnik; FB Elektro- und Informationstechnik (Technische Universität Kaiserslautern)
Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr.-Ing.S. Liu
Aufbau mechatronischer Antriebs- und Handhabungssysteme unter Berücksichtigung relevanter Maschinenelemente.

Weitere Verwertungen der Ergebnisse des Projekts **

- Aufbau des Forschungsschwerpunkts Handhabungssysteme auf Basis offener und geschlossener kinematischer Ketten am Lehrstuhl Maschinenelemente und Getriebetechnik.
- Modellbildung flexibler Linearachsen zur Gesamtsimulation von Handhabungssystemen.
- Erweiterung der Modellierungssystematik zur einer KMU-spezifischen Entwicklungsplattform für serielle und parallele Handhabungsstrukturen.

** ausgewählte Verwertungen zur Veröffentlichung

Schnellere Numerik für das Highend-Rendering im Produktionsbereich

Antragsteller

Prof. Dr. rer. nat. Alexander Keller,
Prof. Dr. Stefan Heinrich
Fachbereich Informatik, Technische Universität Kaiserslautern

Erwin-Schrödinger-Straße
67663 Kaiserslautern

Zuschuss insgesamt 213.257,80 €
Laufzeit 1.4.2001 – 31.12.2004

Arbeitsrichtung

Simulation, Computergraphik, photorealistische Bildsynthese

Einleitung / Ergebnisse

Das Projekt beschäftigte sich mit der Erforschung von schnelleren Algorithmen für die photorealistische Bildsynthese, wie sie für die Visualisierung von Effekten im Kino oder von Produkten wie Autos in der Designphase eingesetzt werden. Ziel war es, eine möglichst einfache und schnelle Simulationsmethode zu entwickeln, so dass die hochqualitative Bildsynthese nicht nur Spezialisten vorbehalten bleibt, sondern allgegenwärtig wird.

Die photorealistische Bildsynthese lässt sich mathematisch auf ein Integrationsproblem reduzieren. Vereinfacht betrachtet kann man die entstehenden Integrale als Mittelwerte auffassen, die durch das Mitteln von Stichproben bestimmt werden. Für die Effizienz ist die Platzierung der Stichproben im Integrationsgebiet, also das Abtasten, entscheidend. Auf Grundlage der randomisierten quasi-Monte-Carlo-Methoden entstand die Abtasttechnik des Padded Replications Sampling. Diese nutzt die im Falle der Bildsynthese zweidimensionale Struktur der Integrale, um mit zweidimensionalen Punktemengen mit kleiner Diskrepanz beliebig hohe Dimensionen abzutasten. Die verbesserte Effizienz (siehe Abb. 1) lässt sich durch Trajektorienaufspaltung sogar noch weiter erhöhen. Bemerkenswert ist, dass sich die mathematisch recht anspruchsvollen Methoden durch einfache Programmstücke von gerade einmal 20 Zeilen realisieren lassen. Aufgrund der einfachen und flexiblen Anwendbarkeit sowie der Effizienz sind die entwickelten Abtaststrategien weltweit anerkannt, ersetzen zunehmend alle bisherigen Techniken und haben bereits einen festen Platz in Standardbüchern der Computergraphik. Während der Entwicklung dieser Techniken ist die frei zugängliche Programmbibliothek SamplePack entstanden. Diese bietet neben der zahlentheoretischen Recheninfrastruktur für die Generierung von besonders guten Abtastpunkten auch Visualisierungs- und Analysewerkzeuge. Neben der Computergraphik wird die Bibliothek auch in anderen Anwendungsgebieten, wie z.B. der Finanzmathematik, eingesetzt.

Die Simulation der globalen Beleuchtung erfordert, die Wege der Lichtteilchen physikalisch korrekt zu verfolgen und deren Beiträge aufzusummieren. Mathematisch lässt sich der Lichttransport als Integralgleichung formulieren, die zur Berechnung eines Bildes in der Regel auf Integrale reduziert wird. Die Leistungsfähigkeit von Bildsynthesealgorithmen beruht wesentlich auf effizienten geometrischen Algorithmen zur Verfolgung von Lichtstrahlen, mit denen die Pfade der Lichtteilchen simuliert werden. Im Rahmen des Projekts wurden solche so genannten Ray-Tracing-Algorithmen entwickelt, die höchsteffizient und numerisch präzise Strahlen verfolgen. Die Algorithmen arbeiten parallel, sind auf einen Verbund von Rechnern verteilbar und können mit komplexer Geometrie umgehen, die aufgrund ihrer Größe nicht ein-

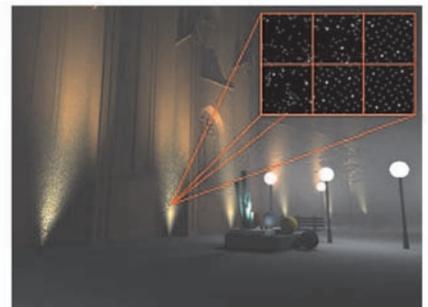


Abb. 1: Bei gleichem Rechenaufwand ist das Bild unter der Diagonalen mit unseren neuen Techniken bereits rauschfrei, während mit den klassischen Methoden das Rauschen noch deutlich sichtbar ist. Wie in den rot umrandeten vergrößerten Pixeln illustriert, ist die qualitative Verbesserung durch die bessere Gleichverteilung der Stichproben begründet.



Abb. 2: Bild. a), erzeugt durch klassische Algorithmen, ist in Regionen konkaver Geometrie, zum Beispiel bei den Vorhängen und Stuhlsitzflächen, deutlich zu dunkel. Dies zeigt das Differenz Bild b) zur physikalisch korrekten Lösung c). In d) wird ein Zimmer durch einen Türspalt beleuchtet. Diese Situation ist mathematisch besonders schwierig.



Abb. 3: Bild a) zeigt einen Ausschnitt aus einer vollsphärischen Aufnahme, in die in Bild b) ein virtuelles Objekt eingesetzt wird, dass in Bild. c) mit physikalischen Oberflächeneigenschaften versehen ist. Bild d) zeigt schließlich das Ergebnis der Beleuchtungssimulation mit der vollsphärischen Aufnahme als Kugellichtquelle um die Szene herum.



Abb. 4: Beleuchtung einer virtuellen botanischen Szene mit einer Abendstimmung eingefangen durch eine vollsphärische Aufnahme mit hoher Dynamik. Der Horizont ist ein Teil der Lichtquelle. Die Geometrie wurde freundlicherweise von Prof. Dr. O. Deussen zur Verfügung gestellt

mal in den Hauptspeicher eines Rechners passt. Mit dieser Software-Architektur und den neuen Abtastmethoden kommt man dem Anspruch, die vorgenannten Integrale und somit die Bilder in Echtzeit zu berechnen, schon recht nahe: Man kann eindrucksvolle Bilder mit nur wenigen Rechnern im Verbund interaktiv generieren. Dieser erste, von uns als Prototyp entwickelte Algorithmus erfreute sich wiederum größter internationaler Aufmerksamkeit. Bei genauer Betrachtung stellt sich allerdings heraus, dass die generierten Bilder erheblich von der Realität abweichen. Dieser Sachverhalt wird in Abb. 2 veranschaulicht. Das zugrunde liegende mathematische Problem ist eine so genannte schwache Singularität in der Integralgleichung, die im Prototypen aus Effizienzgründen mathematisch nicht korrekt behandelt wurde und dadurch zu dunkle Stellen im Bild hervorruft. Nun gab es in der Computergraphik natürlich Ansätze, dieses Problem korrekt zu lösen. Jedoch erfordern diese Algorithmen wesentlich mehr Rechenleistung und sind mathematisch so anspruchsvoll, dass sie im industriellen Umfeld nicht einsetzbar sind. Wir haben im Projekt einen Ansatz entwickelt, der mit einem verblüffend einfachen Trick die numerischen Probleme der schwachen Singularitäten elegant beseitigt und daher „robust“ genannt wird. Das mathematische Prinzip ist viel einfacher als alle bisherigen Ansätze, schließt mehrere theoretische Lücken gleichzeitig und ist weit über die Computergraphik hinaus anwendbar. Der Algorithmus ist dabei so einfach, dass er im industriellen Umfeld einsetzbar ist. und nur geringe Ergänzungen in vorhandener Software erfordert. Selbst in besonders schwierigen Situationen, wie der Beleuchtung eines Zimmers durch einen Türspalt in Abb. 2, wo bisher nur komplexeste Algorithmen eine Lösung erhoffen ließen, konvergiert unsere einfache Methode in akzeptabler Zeit. Nach unserem Durchbruch bei den schwachen Singularitäten haben wir viel versprechend erste Ansätze für hierarchische Monte-Carlo-Methoden zur Bildsynthese verfolgt. Der Transfer dieser Methoden erweist sich als mathematisch schwierig, jedoch sind wir zuversichtlich, dies in unseren weiteren Forschungsarbeiten lösen zu können.

Anwendung, Diskussion, Ausblick,

Unter anderem in der Architekturvisualisierung, im Produktdesign und in der Filmindustrie ist es notwendig, virtuelle Objekte in reale Bildaufnahmen einzusetzen. Für den Projektpartner SpheronVR AG haben wir mit unseren neuen Techniken eine solche Anwendung, wie in Abb. 3 veranschaulicht, entwickelt. Abb. 4 Beleuchtung einer virtuellen botanischen Szene mit einer Abendstimmung, eingefangen durch eine vollsphärische Aufnahme mit hoher Dynamik. Der Horizont ist ein Teil der Lichtquelle. Die SpheronVR AG stellt digitale Kameras für vollsphärische Bildaufnahmen her, mit denen sich das im Kamerapunkt einfallende Licht messen lässt. Die entstehenden sphärischen Bilder mit hoher Dynamik können zur Beleuchtung von virtuellen Objekten als Kugellichtquellen eingesetzt werden. Da die Beleuchtung mit real gemessenem Licht durchgeführt wird, erscheinen die virtuellen Objekte in der realen Lichtstimmung und können nahtlos in das aufgenommene Hintergrundbild eingefügt werden. Anders als bei der klassischen bildbasierten Beleuchtung macht die hohe Dynamik der Messung die Beleuchtungsberechnung mathematisch schwieriger. Im Rahmen des Projektes sind industriell einsetzbare Methoden für diese Art der Beleuchtungssimulation entwickelt und in die firmeneigene Software als MakeLight-Modul der SpheronVR AG integriert worden. Insbesondere die Exportfunktion eines MEL-Skriptes für die 6 Modellierungssoftware Maya bietet auch wenig versierten Benutzern die Möglichkeit, eigene CAD-Modelle mit realem Licht effizient zu beleuchten. Die Beleuchtung mit Kugellichtquellen mit hoher Dynamik erlaubt die Übertragung jeder fotografierten Lichtstimmung auf die virtuellen Objekte. In Abb. 4 sieht man die Beleuchtung einer virtuellen Landschaft mit einer solchen Lichtquelle, die mit einer Kamera der SpheronVR AG aufgenommen wurde.

Nach der realistischen Beleuchtung müssen auch die physikalischen Oberflächeneigenschaften realistisch simuliert werden. Das haben wir am Beispiel von Autolacken demonstriert. In Abb. 5 sieht man ein virtuelles Auto, das wie zuvor mit einer photographierten Kugellichtquelle beleuchtet wird, allerdings nun unter Benutzung eines vermessenen Autolackes. Eine weitere Arbeit untersuchte die Simulation von Autolacken. Neue Ansätze ermöglichen es, einen Lack realistischer zu simulieren, ohne ihn aufwändig vermessen zu müssen. Die Autoindustrie hat der SpheronVR AG gegenüber ein starkes Interesse bekundet und die entwickelte Software dient nun abermals dazu, Produkte der SpheronVR AG aufzuwerten. Der Realismus der künstlichen Beleuchtung von virtuellen Objekten mit Kugellichtquellen kann erheblich verbessert werden, wenn zuvor Teile der photographierten Szene als Geometrie aus dem Photo rekonstruiert werden. Diese Ideen haben wir ansatzweise ausgearbeitet, da sie aber in den Bereich des Computersehens und nicht so sehr in die Computergraphik gehören, haben wir hier nur zusätzliche Anwendungsgebiete der Produkte der SpheronVR AG aufgezeigt. Diese Ansätze müssen allerdings in weiteren Projekten verfolgt werden.



Abb. 5: Beleuchtung von virtuellen Objekten mit Kugellichtquellen und vermessenen Oberflächeneigenschaften, wie in diesem Fall ein vermessener Autolack

In dem weltweit hart umkämpften Forschungsgebiet der Computergraphik ist es in dem von Rheinland-Pfalz unterstützten Projekt gelungen, erfolgreich Grundlagenforschung zu betreiben, in kurzer Zeit deren neue Ergebnisse zu verbreiten und durch die rheinland-pfälzische Firma SpheronVR AG zu vermarkten. Ganz besonders stolz sind wir darauf, den zur Zeit schnellsten, einfachsten und genauesten Beleuchtungssimulationsalgorithmus entwickelt und die Projektvision somit nachhaltig verwirklicht zu haben. Mit der Verwertung der Ergebnisse haben wir nachgewiesen, dass das in uns gesetzte Vertrauen gerechtfertigt war. Wir bedanken uns recht herzlich für die beispielhaft unkomplizierte und unbürokratische Projektförderung der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation.

Veröffentlichungen

Alexander Keller, Thomas Kollig, Mateu Sbert und László Szirmay-Kalos
Efficient Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Rendering Techniques
Tutorial, Eurographics 2003, 24th Annual Conference, Granada

Angemeldete Patente

Die Arbeit Efficient Illumination by High Dynamic Range Images wurde von der SpheronVR AG zum Patent angemeldet. Nach der Veröffentlichung des Artikels war eine Sicherung durch ein Patent nicht mehr notwendig und es wurde davon abgesehen.

Kooperationen

Während des Projektes wurden für die SpheronVR AG in Waldfishbach-Burgalben bei Kaiserslautern mehrere Anwendungen der Forschungsergebnisse des Projekts zu Produkten entwickelt.

Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von resorbierbaren Polymeren für medizinische Anwendungen

Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. Klaus Friedrich
Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Technische Universität
Kaiserslautern

Erwin Schrödinger Str. 58
67663 Kaiserslautern

Zuschuss insgesamt 180.486,03 Euro
Laufzeit 1.2.2001 – 31.12.2003

Arbeitsrichtung

Werkstoffwissenschaft, Verstärkte Kunststoffe, Microfibrillare Composites, Polymere Implantate

Einleitung

Knochennägel aus Kunststoff zur Behandlung kleinerer Frakturen an Händen oder Ellenbogen, wie in Abb. 1 dargestellt, werden heutzutage aus bioresorbierbaren Polymeren hergestellt und sind Stand der Technik. Bioresorbierbar bzw. biodegradabel heißt, daß der Knochen Nagel, sobald er in den menschlichen Körper implantiert wird, sich in seiner Konsistenz auflösen beginnt und die dabei entstehenden Abbauprodukte vom menschlichen Körper verwertet werden. Als resorbierbare Kunststoffe werden fast ausschließlich sogenannte Polylaktide und Polyglykoxide eingesetzt, beide Polymere werden seit über 30 Jahren in der chirurgischen Praxis angewandt.

Resorbierbare Implantate sind temporäre Implantate und bieten gegenüber den metallischen Produkten den Vorteil, daß keine zweite Operation zur Entfernung des Implantats notwendig ist. Weiterhin bieten bioresorbierbare Implantate aus therapeutischer Sicht den Vorteil, allmählich im Laufe von Monaten an Festigkeit zu verlieren und so den heilenden Knochen sukzessive wieder an die Alltagslast zu gewöhnen.

Neben all diesen Vorteilen weisen Implantate aus biodegradablen Kunststoffen aber auch zwei wesentliche Nachteile auf, die ihren Einsatz zur Zeit nur auf bestimmte Indikationen, wie kleinere Frakturen mit kleinen mechanischen Lasten, beschränkt. Zum einen ist die Initialfestigkeit solcher Kunststoffe, d.h. die Festigkeit des Werkstoffes kurz nach der Implantation, unterhalb der Maximalfestigkeit eines Knochens (siehe Abb. 1), so dass eine ausreichende Fraktur stabilität bei höherer mechanischer Belastung nicht ausreichend gewährleistet werden kann. Der zweite Nachteil ist in dem Abbaumechanismus dieser Kunststoffe begründet. Während der Degradation zerfällt das Polymer in ein saures Abbauprodukt, die Milchsäure. Ein zuviel dieser Säure lässt lokal den pH-Wert drastisch sinken, so dass hier Gewebereaktionen in Form von Reizungen und Komplikationen auftreten können. Daher verbietet sich der Einsatz von größeren resorbierbaren Kunststoffimplantaten und die in manchen Fällen ungenügende Werkstofffestigkeit lässt sich nicht durch ein größeres Bauteil kompensieren.

Resorbierbare Knochen-
nägel, die nach Implan-
tation allmählich zerfallen

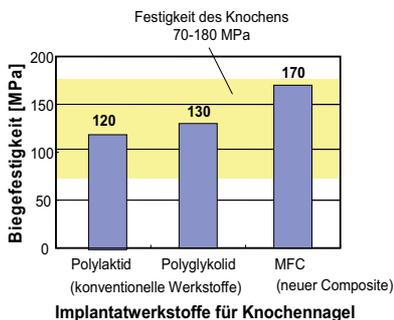
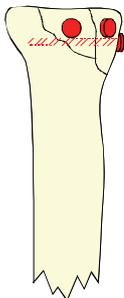


Abb. 1: Einsatzbeispiel von Knochen-
nägel und Vergleich resorbier-
barer Werkstoffe.

Ziel war also die Schaffung eines bioresorbierbaren Kunststoffes aus unterschiedlichen, resorbierbaren Polymeren für die Anwendung in der Medizintechnik. Dabei wurden zunächst verschiedene, miteinander compatible Polylactide über die Solidstate- Extrusion und inkompatible Polymerblends auf der Basis von Polyglykolid (PGA) und Stärke bzw. PGA und Polyhydroxybutyrat (PHB) über die sog. MFC- Technik verarbeitet. Eingebettet in dieses Mantelprojekt war auch ein Projekt der Stiftung Industrieforschung, in dem, aufbauend auf diesen Erfahrungen, speziell Polylactid/Polyglykolid-Mischungen näher betrachtet wurden. In allen Fällen sollte eine deutlich höhere Festigkeit gegenüber den konventionellen Kunststoffen erreicht werden. Infolge der verbesserten mechanischen Eigenschaften wird (i) die Frakturstabilität verbessert und im Umkehrschluß lässt sich (ii) die Menge des eingesetzten Kunststoffes reduzieren, was wiederum hinsichtlich der Komplikationsrate von Vorteil ist.

Ergebnisse

Mit dem entwickelten Werkstoff konnten Knochennägel (siehe Abb. 2) mit verbesserten mechanischen Eigenschaften hergestellt werden. Bei dem neuen Werkstoff handelt es sich um einen sogenannten Microfibrillaren Composite (MFC), ein vollständig polymerer Verbundwerkstoff.

Dabei liegt z.B. der Werkstoff Polyglykolid in Form von sogenannten Mikrofibrillen vor. Mikrofibrillen sind mikroskopische, fadenähnliche Strukturen mit wenigen Mikrometern oder gar Nanometern im Durchmesser, die aufgrund der molekulare Orientierung räumlich gerichtete Eigenschaften aufweisen (siehe Abb. 3). Aufgrund dieser Struktur erhält das Polyglykolid in „Fadenrichtung“ eine sehr hohe mechanische Festigkeit, wodurch wiederum der gesamte Verbund, z.B. bestehend aus der Polylaktid-Matrix mit den eingebetteten Polyglykolid-Mikrofibrillen, eine verbesserte Festigkeit erhält.

Der vorgestellte, vollständig bioresorbierbare Knochennägel hat somit im wesentlichen folgende Eigenschaften:

- Eine deutlich höhere Festigkeit im Vergleich zum konventionellen Knochennägel.
- Gleiche Verarbeitungsmöglichkeiten wie der konventionelle Knochennägel.
- Ausgangswerkstoffe sind auf dem Markt befindliche und langjährig eingesetzte Materialien, deren Einsatz medizinisch abgesichert ist.

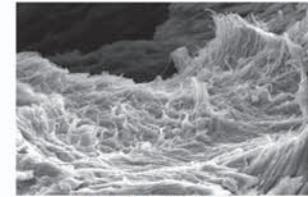
Basis der MFC-Technik ist eine Komposition aus zwei Polymeren, die auf molekularer Ebene nicht mischbar sind. Dadurch entsteht beim Vermengen dieser Polymere oberhalb ihrer Schmelztemperatur ein Werkstoff aus zwei Komponenten mit zwei Schmelzpunkten. Diese Eigenschaft nutzt die nachfolgend beschriebene MFC-Technik.

Die Verarbeitungsschritte sind dabei wie folgt:

- Vermengen der beiden Werkstoffe, also z.B. Polylaktid und Polyglykolid, bei Temperaturen oberhalb ihrer Schmelzpunkte. Da die beiden Polymere auf molekularer Ebene nicht mischbar sind, entsteht eine Komposition aus zwei Komponenten (siehe Punkt 1. in Abb. 4).
- Verstrecken des Werkstoffes unterhalb der Schmelztemperaturen der Komponenten zum Erzielen einer guten Orientierung. D.h. der Werkstoff wird ausgerichtet, so dass er in Verstreckungsrichtung sehr hohe mechanische Eigenschaften erhält (siehe Punkt 2. und 3. in Abb. 4).
- Der Werkstoff soll nun zu der gewünschten Form, dem Knochennägel, umgeformt werden. Dazu wird die niedrigschmelzende Phase, das Polylaktid, aufgeschmolzen, die höherschmelzende Phase (hier Polyglykolid) bleibt während dem Formprozeß in einem festen, orientierten Zustand (siehe Punkt 4. in Abb. 4). Das Verarbeitungsfenster liegt somit zwischen den beiden Schmelztemperaturen der Komponenten, der Werkstoff kann dabei auf einer handelsüblichen Spritzgießmaschine verarbeitet werden.

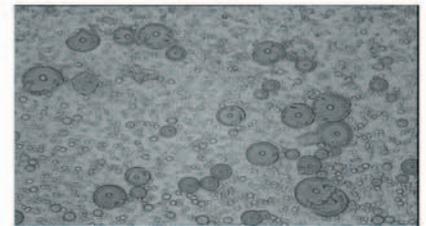


Abb. 2: Konventioneller Knochennägel (vorne), MFC-Knochennägel (hinten).

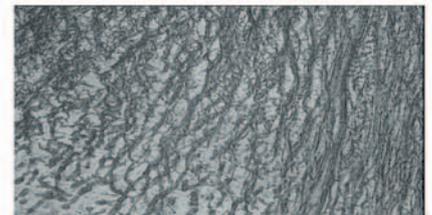


Bruchfläche eines mikro fibrillaren Composites

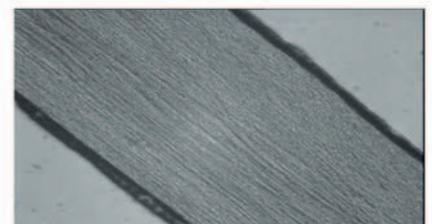
Abb. 3: Struktureller Aufbau des MFC-Werkstoffes.



1. Mischen



2. Formen - Fibrillieren



3. Fibrillieren



4. Isotropisieren

Abb. 4: Verarbeitungsetappen eines Microfibrillaren Composites

Der auf diese Weise produzierte Knochennagel ist somit ein mikrofibrillar verstärkter Kunststoff, bei dem das Polyglykolid als höher schmelzende Komponente quasi als Verstärkung, eingebettet in die isotrope (d.h. ohne Richtungsorientierung) Matrix (Polylaktid), vorliegt.

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

Ziel des Vorhabens war die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Knochennägeln, was mit dem vorgestellten mikrofibrillaren Composite auch möglich ist. Dabei wurde das Projekt in enger Zusammenarbeit und Kooperation mit den Firmen Boehringer Ingelheim GmbH & CO.KG und Aesculap AG & CO.KG umgesetzt, um so eine hohe Marktnähe der Entwicklung zu gewährleisten. Im Bereich der Medizintechnik wäre neben dem Knochenstift auch ein Einsatz zur Substitution oder Ergänzung von anderen konventionellen biodegradierbaren Implantaten denkbar. Darüber hinaus bietet die MFC-Technik ein vielfältiges Einsatzpotential und Einsatzspektrum auch außerhalb der Medizintechnik, so z.B. auf dem Gebiet des Recyclings.

Publikationen

1. Hoffmann, J., Friedrich, K., Evstatiev, M., Fink, U.: A totally bioresorbable fibrillar reinforced composite system: structure and properties, International Journal of Polymeric Materials 50 (2001) 469-482
2. Hoffmann, J., Friedrich, K., Evstatiev, M., Fink, U.: Herstellung eines bioresorbierbaren Werkstoffes aus Polymermischungen für die Anwendung bei der Frakturbehandlung, Tagung „Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde“, Chemnitz, Deutschland, 5.-7. September 2001, 407-412
3. Hoffmann, J., Evstatiev, M., Fink, U., Friedrich, K.: Effect of different orientation techniques on the structure and the mechanical properties of biodegradable blends for medical purposes, 5th Austrian Polymer Meeting, Leoben, Austria, September 12th to 14th 2001, 36
4. Hoffmann, J., Evstatiev, M., Fink, U., Friedrich, K.: Biodegradable Pins with Improved Mechanical Properties Obtained by a Novel Polymeric Fibrillar Composite, Journal of Biomechanics 34 (2001) 80-81
5. Hoffmann, J., Fink, U., Friedrich, K.: Charakterisierung eines Polylaktid / Polyglykolid Composites für bioresorbierbare Implantate, „Eigenschaften und Prüftechniken mechanisch beanspruchter Implantate“, 3. Tagung des DVM-Arbeitskreises „Biowerkstoffe“, Köln, Deutschland, 12.-13. April 2002, 61-70
6. Hoffmann, J., Friedrich, K., Fink, U.: Rapid Manufacturing of Bone Nails with Improved Mechanical Properties, IV World Congress Biomechanics, Calgary, Canada, August 4th to 9th 2002, Index H

Kooperationen mit Unternehmen

Die Arbeit wurde in Kooperation und finanzieller Unterstützung mit den Firmen Boehringer Ingelheim GmbH & CO.KG und Aesculap AG & CO.KG durchgeführt.

Ehrungen

Die Dissertation von Herrn Dr.-Ing. Jürgen Hoffmann wurde in 2004 vom „Wissenschaftlichen Arbeitskreis Kunststoffe“ mit dem Wilfried Ensinger Preis ausgezeichnet.

Beispiele noch laufender Projekte

Von den in 2004 noch laufenden Forschungsvorhaben werden nachfolgend 6 Vorhaben vorgestellt.

Robotic Manipulation under Augmented Navigation for Tooth-Implant Concepts ROMANTIC

Antragsteller

Prof. Dr. Thorsten M. Buzug und Dr. Gail G. Gubaidullin
Fachbereich Mathematik und Technik, Fachhochschule Koblenz,
Standort Remagen

Südallee 2
53424 Remagen

Prof. Dr. Dr. Wilfried Wagner, Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert
und Priv.-Doz. Dr. Dr. Martin Kunkel, Klinik und Poliklinik für Mund-,
Kiefer- und Gesichtschirurgie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Augustusplatz 2
55131 Mainz

Zuschuss insgesamt 49.760,00 Euro (Phase I); 220.310,00 Euro (Phase II)
Laufzeit 1.7.2002 – 31.8.2005

Arbeitsrichtung

Medizinische Robotik, einschließlich sensor- und computergestützter visueller und haptischer Wahrnehmung, Simulation, Planung, Steuerung und Navigation, sowie Integration der Forschungsergebnisse in das Medizintechnik- und Medizinstudium

Einleitung

Seit einigen Jahrzehnten wird im In- und Ausland an dem neuen interdisziplinären Gebiet der Medizinrobotik sehr aktiv gearbeitet. Im Rahmen des Projekts ROMANTIC erforschen Ingenieure der FH Koblenz mit Ärzten des Universitätsklinikums Mainz verschiedene Ansätze der Medizinrobotik in der zahnärztlichen Implantologie. Die Gruppe versteht unter Robotern nicht nur programmierbare Manipulatoren, sondern alle computergestützten technischen Systeme, die verschiedene körperliche und intellektuelle Arbeiten selbstständig verrichten können. Sie betrachtet die Medizinrobotik als einen neuen Bereich und eine logische Evolutionsphase der Medizintechnik und Robotik (s. Abb. 1).

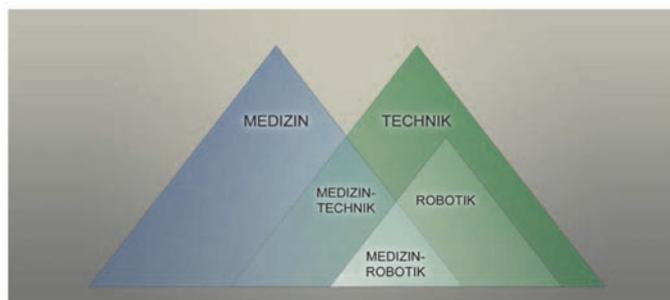


Abb. 1: Medizinrobotik – ein neuer Bereich der Medizintechnik und Robotik

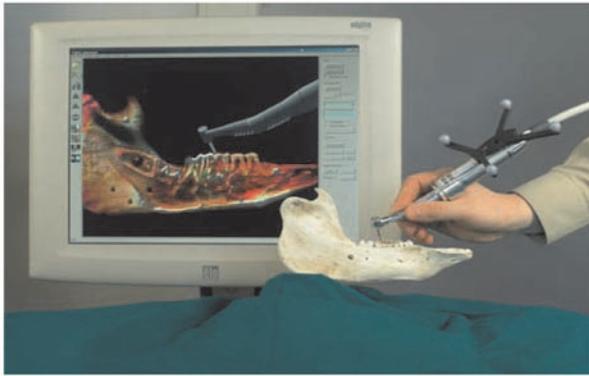


Abb. 2: Medizinische Visualisierung und Navigation. Zusätzlich zu dem dargestellten 3D-Volumenmodell (Volume-Rendering) bietet das System auch ein 3D-Oberflächenmodell (Surface-Rendering) sowie verschiedene 2D-Schnittebenen. Alle Modelle ergänzen sich gegenseitig und können bei der Navigation von Instrumenten verwendet werden.

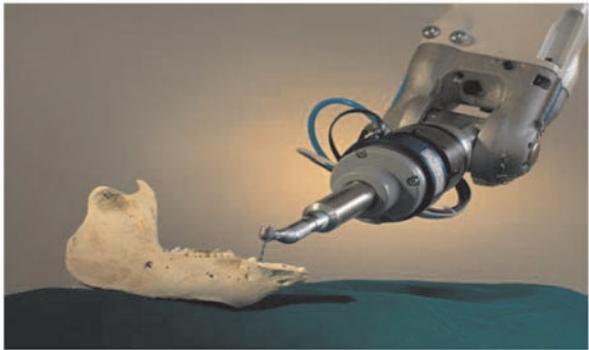


Abb. 3: Erfassung der auftretenden Kräfte und Momente mit Hilfe eines Kraft-Momenten-Sensors und eines industriellen Roboters. Unter anderem wird dabei untersucht, wie ein Roboter den Arzt bei der Positionierung und Führung von verschiedenen medizinischen Instrumenten unterstützen kann.



Abb. 4: Neue Verfahren der visuellen und haptischen Simulation. Das dargestellte rein virtuelle Kiefermodell illustriert die visuelle Wahrnehmung des Benutzers durch das Head-Mounted Display. Das Gerät in seiner Hand ermöglicht die Simulation der haptischen Wahrnehmung des virtuellen Knochens.

Ergebnisse

Zur Unterstützung der visuellen Wahrnehmung wurde ein Visualisierungssystem entwickelt, mit dem man aus Patientendaten, die z. B. mit einem Computer- oder Magnetresonanztomograph gewonnen werden, verschiedene zwei- und dreidimensionale (2D- und 3D-) Modelle erstellen kann. Alle Modelle ergänzen sich gegenseitig und können für die Diagnose und Behandlungsplanung verwendet werden. Außerdem kann während einer Behandlung das jeweilige Instrument mit Hilfe eines optischen Positionssensors räumlich erfasst und ein Instrumentenmodell in die Patientenmodelle eingeblendet werden, was die Navigation des Instrumentes im Inneren des Patienten ermöglicht (s. Abb. 2).

Für die Untersuchung von verschiedenen Steuerungsalgorithmen sowie der Wechselwirkungen zwischen Roboter, Arzt und Patient wurden auf der Basis der Roboter RV-4A, Fa. Mitsubishi Electric, und RV6, Fa. Reis Robotics, ausgestattet mit Positions- und Kraft-Momenten-Sensoren, Experimentierstände aufgebaut (s. Abb. 3).

Darüber hinaus wurde an das entwickelte Visualisierungssystem ein sogenanntes Head-Mounted Display (semitransparente Brille) angeschlossen, durch das man gleichzeitig die reale Welt und ein virtuelles Modell sehen kann. Weiterhin wurde ein Konzept zur Ergänzung der visuellen durch haptische Wahrnehmung entwickelt (haptisch: den Tastsinn betreffend), welches im nächsten Projektjahr realisiert wird (s. Abb. 4).

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

Die erzielten Ergebnisse verstärken die Zuversicht, dass die Medizinrobotik mit allen ihren Bereichen die Medizin zukünftig verändern wird. Die Unterstützung der Mediziner durch technische Systeme wird immer weitergehende körperliche und intellektuelle Teilaufgaben ihrer Arbeit einschließen. Bevor aber solche Systeme zum Einsatz am Menschen kommen, müssen sie zuerst zuverlässig, genau und intelligent genug werden. Andererseits müssen, um morgen solche Systeme entwickeln und mit ihnen arbeiten zu können, Studierende der Medizintechnik und Medizin schon heute die wichtigsten zugrunde liegenden Prinzipien und die neuesten einschlägigen Forschungsergebnisse kennen lernen. Deshalb arbeitet die Gruppe um das ROMANTIC-Projekt an der Analyse und Verbesserung der Systemeigenschaften, der Einführung von neuen Sensoren und Instrumenten sowie an der Entwicklung von intelligenten Steuerungsalgorithmen weiter, wobei der Integration der Ergebnisse in den Lehrprozess des Medizintechnik- und Medizinstudiums in Remagen und Mainz eine zentrale Bedeutung zukommt.

Publikationsauswahl

- [1] Gubaidullin, G. G., „Medical Robotics – a New Field of Medical Engineering and Robotics“, Proceedings of the 8th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics SCI '04, Orlando, Florida, 2004, Vol. 8, pp. 399-402
- [2] Gubaidullin, G. G., Evbatyrov, R. R., „A Multi-Purpose Setup for Medical Robotic Experiments“, Proceedings of the International Conference on Computing, Communications and Control Technologies CCCT '04, Austin, Texas, 2004, Vol. 5, pp. 60-64
- [3] Evbatyrov, R. R., Gubaidullin, G. G., Kunkel, M., Reichert, T. E., „A Combined Medical Visualization System for Oral and Maxillofacial Surgery“, 3rd Annual Conference of the German Society for Computer and Robot Assisted Surgery CURAC '04, Munich, 2004, ISSN 1619-0718, 4 p.
(<http://www.curac.org/curac04/download/abstract/039.pdf>), Rev. 2004-11-16)
- [4] Evbatyrov, R. R., Gubaidullin, G. G., Kunkel, M., Reichert, T. E., „Medical Navigation Based on Various Visualization Methods“, Aktuelle Methoden der Laser- und Medizinphysik, VDE-Verlag, Berlin, 2005, pp. 131-136
- [5] Gubaidullin, G. G., „Robot, Robotics, Medical Robotics“, Aktuelle Methoden der Laser- und Medizinphysik, VDE-Verlag, Berlin, 2005, pp. 144-147

Vorträge „Medizinrobotik – Realität und Perspektiven“, G. G. Gubaidullin:

- auf dem Innovationskolloquium des Standortes Remagen der FH Koblenz, Remagen, 14.01.2003
- im Rahmen der Vortragsreihe des Standortes Remagen der FH Koblenz „Hochschule in der Region“, Remagen, 21.05.2003
- auf der Veranstaltung „Robotik und Sensorik“ von Mitsubishi Electric, Köln, 19.11.2003
- auf dem Forum Robotic 2004 (Veranstaltung von VDI, DaimlerChrysler, Mitsubishi Electric und Kuka), Bremen, 12.02.2004
- auf der 4. Fachkonferenz „Der OP der Zukunft im Krankenhaus der Zukunft“, emtec e. V., Berlin, 30.10.2004

Sonstige Verwertung der Ergebnisse

- Aufbau des Schwerpunktes Medizinische Navigation und Robotik und des Forschungs- und Lehlabs für OP-Technologie und Robotik am Standort Remagen der FH Koblenz
- Integration des Systemprototyps und anderer Projektergebnisse
 - a) in den Lehrprozess des Medizintechnikstudiums am Standort Remagen der FH Koblenz im Rahmen der Vorlesung OP-Technik / Medizinrobotik und des begleitenden Praktikums
 - b) in den Lehrprozess des Medizinstudiums an der Universität Mainz im Rahmen der Lehrveranstaltung "Curriculum Implantologie" für Studierende der Zahnmedizin
 - c) in die Fortbildungskurse Implantologie für Zahnärzte an der Universität Mainz
- Präsentationen auf dem Forum Robotic 2004 in Bremen, auf der Bundesfachschaftstagung Zahnmedizin 2004 in Mainz u. a.

Rührreibschweißen von Leichtbauwerkstoffen und Untersuchung des Ermüdungsverhaltens der erzeugten Verbunde

Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. habil. Dietmar Eifler
Lehrstuhl für Werkstoffkunde, Technische Universität Kaiserslautern

Gottlieb-Daimler-Strasse
67663 Kaiserslautern

Zuschuss insgesamt 223.058,00 Euro
Laufzeit 1.1.2003 – 30.6.2005

Arbeitsrichtung

Sonderschweißverfahren, Rührreibschweißen, Leichtmetalle, Ermüdungsverhalten

Einleitung

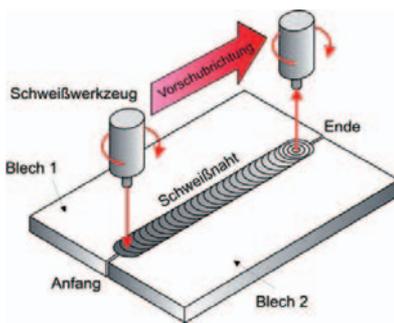


Abb. 1: Schematische Darstellung des Rührreibschweißprozesses

Das Rührreibschweißen (Friction Stir Welding, FSW) ist ein 1991 am TWI (The Welding Institute, Cambridge, England) entwickeltes Fügeverfahren, das der Gruppe der Pressschweißverfahren zuzuordnen ist. Diese Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass die Fügeteile im festen Zustand durch plastische Verformung hochfest stoffschlüssig miteinander verbunden werden. Um beim Rührreibschweißen die Verbindung zwischen den Fügeteilen zu erzeugen, wird ein sich drehendes, verschleißfestes Werkzeug entlang des Nahtbereichs der Fügeteile bewegt (Abb. 1). Das Rührreib-Schweißwerkzeug besteht aus einem profilierten Stift mit einer ausgeprägten Werkzeugschulter. Der profilierte Stift bewirkt eine intensive plastische Verformung der Fügeteile im Schweißbereich, während die Schulter ein Austreten der Werkstoffe aus der Fügezone verhindert. Weiterhin trägt die Werkzeugschulter durch die auftretende Kontaktreibung erheblich zur Erwärmung sowie zur Schweißnahtformgebung bei. Die erreichbaren Schweißgeschwindigkeiten werden insbesondere durch die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Fügeworkstoffe, wie Streckgrenze, Härte und thermische Leitfähigkeit sowie die Geometrie der Werkstücke bestimmt. Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 5000 mm/min konnten bereits realisiert werden. Neben Stumpfstoßverbindungen sind vielfältige Nahtgeometrien wie Überlapp- und Kehlnähte möglich.

Da beim Verbinden der Werkstoffe durch Rührreibschweißen kein Schmelzfluss auftritt, wird die Mikrostruktur der Fügeteile durch den Schweißprozess nur in sehr geringem Maße beeinflusst. Neben der weitgehenden Porenfreiheit der Schweißnaht sind die sehr günstigen mechanischen Eigenschaften, wie eine Zugfestigkeit von bis zu 90 % der Grundwerkstofffestigkeit, der aufgrund der niedrigen Fügtemperaturen geringe Verzug der erzeugten Bauteile sowie die hohe Wirtschaftlichkeit des FSW-Verfahrens zu nennen. Das Rührreibschweißen wird bisher bevorzugt in der Luft- und Raumfahrtindustrie eingesetzt. Aufgrund der zunehmenden Verwendung von Leichtmetallen im Schienen- und Straßenfahrzeugbau hat die Bedeutung des Verfahrens auch in diesen Bereichen stark zugenommen.

Bisher wurden insbesondere artgleiche Verbindungen von Aluminium, Kupfer, Titan, Magnesium, Zink und austenitischen Stählen durch Rührreibschweißen erzeugt. Zunehmendes Interesse finden aber in letzter Zeit auch rührreibgeschweißte Mischverbindungen z. B. aus Stahl und Aluminium.

Ergebnisse

Zur Realisierung von Rührreibschweißverbindungen werden bisher überwiegend Sondermaschinen eingesetzt. Ein wesentliches Ziel des Projektes ist es daher, die Eignung handelsüblicher Universalfräsmaschinen für die Realisierung von Rührreibschweißverbindungen aufzuzeigen, um diese neue Schweißtechnik auch klein- und mittelständischen Betrieben zugänglich zu machen. Die vom Lehrstuhl für Werkstoffkunde eingesetzte Universalfräsmaschine DMU 80 T der Firma Deckel Maho ist für das Rührreibschweißen von Leichtmetallen bis zu einer Wandstärke von 10 mm geeignet. Für den Einsatz als FSW-System wurde am Lehrstuhl für Werkstoffkunde eine hinreichend stabile Werkstückaufnahme konstruiert. Ferner wurden die erforderlichen Rührreib-Schweißwerkzeuge am Lehrstuhl entwickelt und gefertigt.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag bisher auf der im Fahrzeugbau häufig eingesetzten Aluminiumlegierung AlMg3Mn, die im Stumpfstoß in einer Blechstärke von 3,5 mm verschweißt wurde. Zur Optimierung des Schweißprozesses wurden die Schweißparameter Vorschub, Werkzeugdrehzahl und Werkzeuganstellwinkel durch systematische Untersuchungen aufeinander abgestimmt. Um die auftretenden Schweißkräfte zu ermitteln und Störungen im Fügeprozess zu erkennen, wurde in die Werkstückaufspannung ein Kraftmesstisch integriert, der die kontinuierliche Aufzeichnung der während des Schweißprozesses wirkenden Kräfte und Momente ermöglicht (Abb. 2). Die Normalkräfte, d.h. die in Achsrichtung des Werkzeuges wirkenden Kräfte, liegen während des Schweißprozesses beim Fügen von Al-Legierungen bei etwa 7000 N (Abb. 3). Die durch die Drehbewegung des Werkzeugs in die Fügeteile eingebrachte Energie wird zu einem erheblichen Anteil in Wärme umgewandelt. Die Temperatur im Fügebereich wird mittels thermographischer und thermometrischer Methoden erfasst. Während des Fügevorgangs treten Temperaturen von maximal 550°C auf, so dass ein Aufschmelzen der Aluminiumlegierung, die eine Schmelztemperatur von 645°C aufweist, ausgeschlossen werden kann. Die Zugfestigkeiten der geschweißten AlMg3-Bleche variieren über den Verlauf der Schweißnaht nur wenig und liegen mit etwa 265 MPa bei bemerkenswerten 91 % der Festigkeit des Grundwerkstoffes. Die Streckgrenze des rührreibgeschweißten Verbundes liegt mit 70 MPa bei ca. 50 % des Ausgangswerkstoffes. Die Schweißzone ist durch drei unterschiedliche Bereiche gekennzeichnet (Abb. 4). Im Querschliff ist im Zentrum der Schweißnaht das sogenannte Schweißnugget zu erkennen, das auf Werkstoffverwirbelungen aufgrund der Drehbewegung des Schweißpins zurückzuführen ist. Ferner bildet sich von Pin- und Schultereingriffsbereich nach außen hin eine mechanisch und thermisch beeinflusste Zone aus. Die Korngröße im Schweißbereich ist gleichmäßig, aber etwas geringer als im Ausgangsgefüge. Zyklische Beanspruchungen führen häufig zum Versagen von Bauteilen. Daher sind detaillierte Kenntnisse bezüglich der mikrostrukturellen Veränderungen im Fügebereich und des Ermüdungsverhaltens der erzeugten Verbunde von erheblicher Bedeutung für den zuverlässigen und wirtschaftlichen Einsatz rührreibgeschweißter Komponenten.

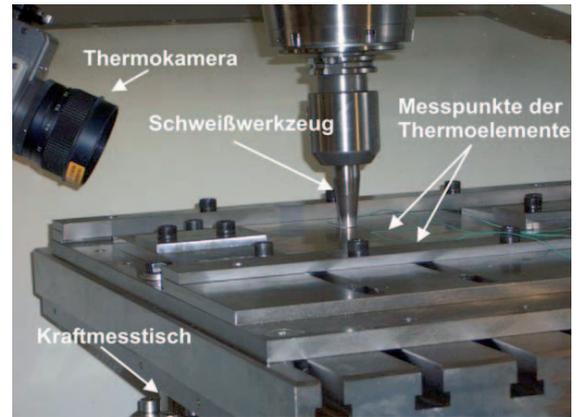


Abb. 2: Messaufbau zur Erfassung der Schweißprozessgrößen

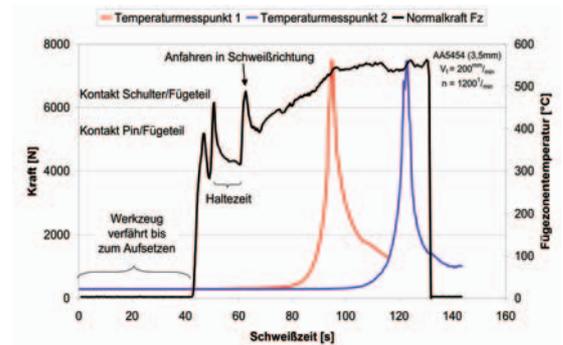


Abb. 3: Charakteristischer Schweißkraftverlauf und Fügezonentemperaturen an zwei Positionen

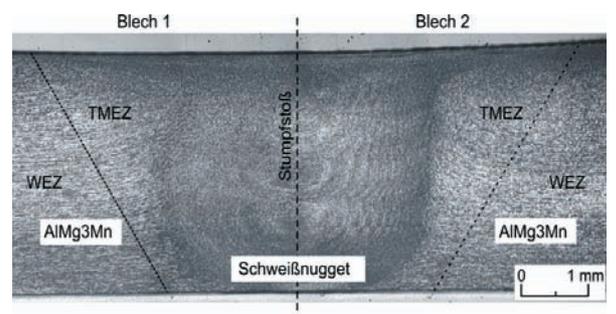


Abb. 4: Querschliff einer rührreibgeschweißten AlMg3Mn-Stumpfnah mit charakteristischem Schweißnugget, der thermo-mechanischen Einflusszone (TMEZ) sowie der Wärmeinflusszone (WEZ)

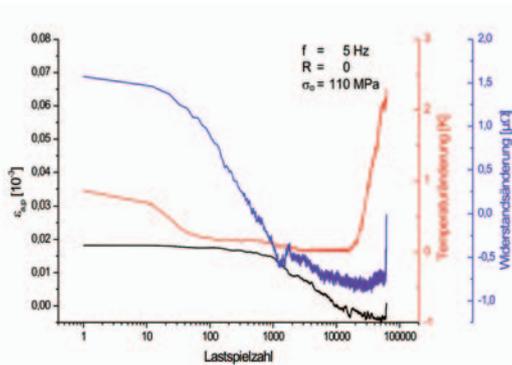


Abb. 5: Wechselverformungskurven einer rührreibgeschweißten AlMg3Mn-Probe mit Verlauf der plastischen Dehnungsamplitude, der Temperaturänderung und der Widerstandsänderung über der Lastspielzahl

Zur Charakterisierung des Ermüdungsverhaltens wurden kraftgeregelte Versuche bei einer Frequenz von 5 Hz mit einer konstanten Unterkraft von 10 N durchgeführt. In Laststeigerungsversuchen wurden zunächst die Beanspruchungsamplituden ermittelt, bei denen erste plastische Verformungen in der Fügezone auftreten. Anschließend wurden Einstufenversuche zur Bestimmung des Wechselverformungsverhaltens geschweißter Proben durchgeführt. Zur Bewertung des Ermüdungsverhaltens der Verbunde wurde zudem neben der Bruchlastspielzahl die Veränderung des spezifischen elektrischen Widerstands herangezogen. Eine Änderung des spezifischen elektrischen Widerstandes weist unter anderem frühzeitig auf mikrostrukturelle Veränderungen und auf beginnende Anrissbildung im Fügebereich hin, bevor eine makroskopische Schädigung der Probe erkennbar wird. Ferner beschreiben Temperaturanstiege, die mit thermometrischen Methoden erfasst werden, sensibel lokale plastische Verformungen. In Abbildung 5 sind die Detektionsmethoden exemplarisch anhand eines Einstufenversuchs für eine Spannungsamplitude von 110 MPa dargestellt. Nach einer Lastspielzahl von 300 nimmt die plastische Dehnungsamplitude kontinuierlich ab, was einer zyklischen Verfestigung des Fügebereichs entspricht. Die Dehnungsamplitude steigt erst kurz vor dem Versagen der Fügung wieder an, während die Temperatur bereits bei einer Lastspielzahl von 25.000 eine zunehmende Schädigung der Probe aufgrund der Ermüdungsbeanspruchung abbildet. Zudem weist auch der ab einer Lastspielzahl von 30.000 erkennbare Anstieg des elektrischen Widerstandes auf Ermüdungseffekte im Fügebereich hin.

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

Die verwendete Messtechnik erlaubt eine genaue Beurteilung des Schweißvorgangs. Die bisher in quasistatischen und zyklischen Untersuchungen ermittelten Festigkeitswerte belegen die hohe Leistungsfähigkeit der Rührreibschweißtechnik. In licht- und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen konnten die mikrostrukturellen Veränderungen im Nahtbereich dokumentiert und bewertet werden. In den folgenden Arbeitsschritten sollen Untersuchungen an unterschiedlichen Leichtbauwerkstoffen wie Mg- und Ti-Legierungen in verschiedenen Materialstärken durchgeführt werden, um die nötigen Voraussetzungen für einen breiteren Einsatz des innovativen Rührreibschweißverfahrens zu schaffen. Mit der erfolgreichen Umrüstung einer Universalfräsmaschine zu einer Rührreibschweißanlage und anhand der erzielten Untersuchungsergebnisse konnte bereits jetzt nachgewiesen werden, dass handelsübliche Bearbeitungszentren geeignet sind, hochfeste rührreibgeschweißte Werkstoffverbunde herzustellen. Mittelfristig kann daher auch im KMU-Bereich ein verbreiteter Einsatz dieser neuartigen Fügetechnik erwartet werden.

Entwicklung eines neuartigen visuellen Industrieroboterprogrammiersystems

Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. Detlef Zühlke
Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung,
Technische Universität Kaiserslautern

Erwin-Schrödinger-Straße
67663 Kaiserslautern

Zuschuss insgesamt 202.272,00 Euro
Laufzeit 1.10.2003 – 30.9.2005

Arbeitsrichtung

visuelle Industrieroboterprogrammierung

Einleitung

Sinkende Anschaffungskosten, breites Einsatzspektrum, Zuverlässigkeit und Präzision führen zu einer zunehmenden Verbreitung von Industrierobotern auch in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Doch gerade für sie stellt die Programmierung häufig ein Problem dar. Grund hierfür ist die Diskrepanz zwischen der Forderung nach größtmöglicher Flexibilität durch das Programmiersystem einerseits und Vereinfachung der Programmierung andererseits. Es zeigt sich, dass bei den herkömmlich verwendeten hersteller-spezifischen, textuellen Programmierverfahren, neben einem hohen Maß an Abstraktionsfähigkeit, umfangreiches Expertenwissen bezüglich des Prozesses und der Programmiersprache, die sich strukturell an Hochsprachen anlehnt, erforderlich ist. Das Zusammenspiel dieser Faktoren bedingt eine hohe Komplexität der Programmierung. Während sich Großunternehmen hierfür Spezialisten heranbilden können, müssen für KMU's andere Lösungen gefunden werden.

Ein Ansatz zur Reduktion dieser Komplexität stellt die visuelle Programmierung dar. Unter visueller Programmierung ist der Aufbau von Programmen mit Hilfe von zwei- oder höherdimensionalen Strukturen, wie beispielsweise durch Grafiken, Diagramme, Ikonen, Animationen und Vernetzungen zu verstehen. Erste universitäre Forschungen spiegelten sich in dem vom Antragsteller Mitte der 90er Jahre entwickelten Programmiersystem „ROBICON“ oder in „OPERA“ von der RWTH Aachen wieder. Die Forschungsaktivitäten mündeten einerseits in einer Normierung [ISO 15187] und andererseits in einer industrieller Umsetzung durch die KUKA Roboter GmbH bzw. der Robert Bosch GmbH. ROBICON und OPERA bestehen im Wesentlichen aus der Beschreibung des Programmablaufs durch Ikonen anstelle von textuellen Befehlen. Dadurch kann eine übersichtliche Beschreibung des Programmablaufs in Form von Flussdiagrammen, ohne Kenntnisse der Programmiersyntax, erzielt werden. Im Zuge der Weiterentwicklung von ROBICON wurden umfangreiche, parametrierbare Sensorroutinen in aufgabenorientierten Bausteinen zusammengefasst. Diese kann der Nutzer dem Programmablauf hinzufügen. Jedoch sind bei dieser Art der visuellen Programmierung weiterhin Kenntnisse der Programmiersprache und ein umfangreiches Datenmodell (hierzu zählen bspw. Datentypen, Datenmanipulationen) notwendig.

Zur Unterstützung von Nicht-Experten ist es nahe liegend, ein System zu entwickeln, das den Bewegungsablauf des Roboters in den Vordergrund stellt. Hierbei sollte auf umfangreiche Befehle, Strukturen und Datentypen verzichtet werden.

Ergebnisse

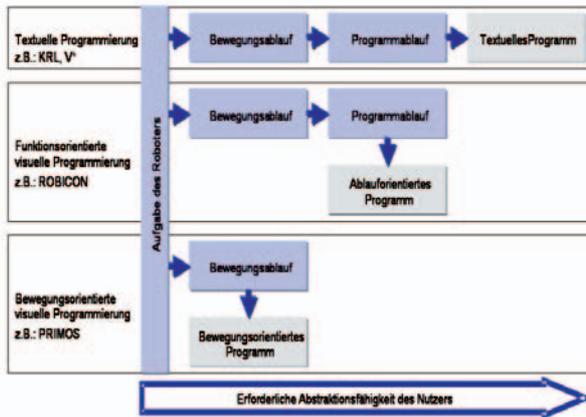


Abb. 1: Bei der textuellen Programmierung benötigt der Programmierer neben Kenntnissen über den Bewegungsablauf und den Programmablauf umfassende Kenntnisse der jeweiligen Programmiersprache. Bisherige visuelle Roboterprogrammiersprachen reduzieren die Notwendigkeit textuelle Programmierkenntnisse zu besitzen. Das neuentwickelte Konzept beschränkt sich auf Kenntnisse der Roboterbewegungen. Wissen über den Programmablauf und die dazu notwendigen Konstrukte sind nicht weiter erforderlich.

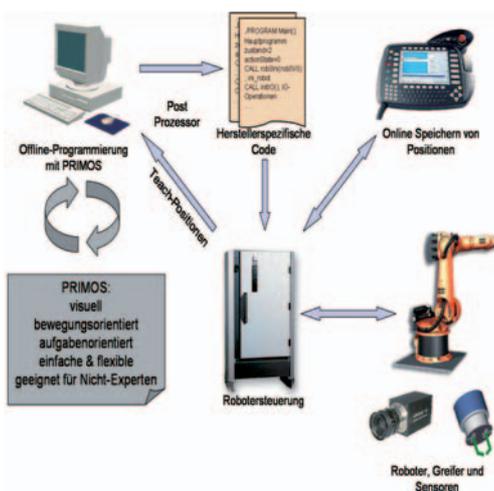


Abb. 2: Interne Architektur von PRIMOS: Zur Programmerstellung werden in PRIMOS gespeicherte Positionsdaten eingelesen. Nach Abschluss des Programmierens wird herstellerspezifischer Code erzeugt und zur Ausführung auf die Robotersteuerung geladen.

Im Rahmen des Projekts wurde ein neuartiges Konzept zur bewegungsorientierten Programmierung von Industrierobotern entwickelt. Dieses wurde prototypisch realisiert und durch experimentelle Untersuchungen verifiziert. Im Rahmen von Untersuchungen verschiedener Anwendungsfelder hat sich die Notwendigkeit zur Erweiterung des Konzepts herauskristallisiert.

Zur Reduktion von Komplexität erfolgt die gesamte Programmiererstellung in einer visuellen Umgebung und das Datenmodell wurde auf ein Minimum reduziert. Zur Erstellung der Roboterprogramme stehen die elementaren Objekte *Punkt*, *Bewegung*, *Aktion* und *Container* zur Verfügung. Durch Einstellen von Parametern lassen sich die elementaren Objekte näher spezifizieren. *Punkten* werden Positionsdaten zugewiesen, die sich durch Referenzierung auf Teach-Positionen oder durch Zahlenwerte eingeben lassen. Bei *Bewegungen* ist neben Geschwindigkeit und Beschleunigung die Bewegungsart näher zu bestimmen. *Aktionen* beinhalten gekapselte Aufgabenpakete und lassen sich Punkten und Bewegungen zuordnen. Ein Beispiel hierfür ist das Greifen eines Bauteils. Zur Realisierung von Wiederholungen werden *Container* verwendet.

Das vorgestellte Konzept wurde prototypisch umgesetzt und als „PRIMOS“ bezeichnet. Die Programmierung des Roboters erfolgt in einer visuellen Umgebung und es stehen „windowsübliche“ Interaktionstechniken zur Verfügung. Nach Abschluss der Programmierung wird das erstellte Programm hinsichtlich seiner Plausibilität und seiner Gültigkeit geprüft und mit Hilfe eines Postprozessors in eine auszuwählende, herstellerspezifische Programmiersprache übersetzt. Somit kann es für unterschiedliche Industrieroboter verwendet werden.

Zur Verifizierung des Konzepts wurde in einem ersten Schritt ein einfacher Anwendungstest mit Nicht-Experten durchgeführt. Es wurden die textuelle Programmierung und PRIMOS verglichen. Neben der teilnehmenden Beobachtung während der Programmierung wurde ein Fragebogen ausgewertet. Die Programmierung mit „PRIMOS“ lieferte einen deutlichen Zeitvorteil gegenüber der textuellen Programmierung. Der Aufbau der Programmieroberfläche, die Einteilung in elementare Objekte und die Vorgehensweise bei der Programmierung mit „PRIMOS“ wurden durchweg positiv bewertet. Nach Aussagen der Probanden war die Aufgabe mit „PRIMOS“ besser zu lösen als textuell.

In weiteren Analysen wurden komplexe Montageprozesse aus dem Bereich der Mikromontage als Anwendungsfeld untersucht. Zur Erreichung der geforderten Positioniergenauigkeiten und der Störungserkennung werden hier Sensoren und sensorbasierte Positionierverfahren eingesetzt. Die Identifikation und Integration von sensorbasierten Auswerte- und Positionierverfahren in Form von Aktionen in das visuelle Programmierkonzept konnte aufgrund der offenen Architektur problemlos durchgeführt werden. Allerdings kristallisierten sich in diesem Zusammenhang das Identifizieren und das Behandeln von Störungen als neue Anforderungen an das Konzept heraus.

Bei der Analyse der textuellen Lösungen zeigte sich, dass Umfang und Komplexität der Programme mit der Einbindung von sensorbasierten Verfahren drastisch ansteigen. Vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse ist eine Integration eines Störungsmanagements in das visuelle Programmierkonzept erforderlich. Aus diesem Grund wurden *Exceptions* eingeführt.

Sie beinhalten nutzerdefinierte Störungen, die im Programmverlauf auftreten können, und legen entsprechende Reaktionen fest. *Exceptions* werden innerhalb von *Containern* festgelegt und sind in diesen gültig.

Diskussion, Ausblick, Anwenderperspektive

Es wurde ein Konzept entwickelt, das speziell den Nicht-Experten bei der Programmierung von Industrierobotern unterstützt. Ermöglicht wurde dies durch eine konsequente Bewegungsorientierung, der Reduktion auf wenige Programmelemente, den Verzicht auf komplexe Datenstrukturen sowie eine erhöhte Übersichtlichkeit durch die visuelle Darstellung. Der Schwerpunkt des Konzepts liegt auf der Manipulation von Bewegungen und nicht auf der von Daten. Dies entlastet den Nutzer bei der Programmierung und bildet das sichtbare Resultat des Roboterprogramms ab.

PRIMOS stellt eine Basis für die vereinfachte Programmierung von Industrierobotern dar. In nachfolgenden Arbeitsschritten lassen sich hier verschiedenste Aufgabenpakete, wie beispielsweise Bildverarbeitungsroutrinen, integrieren, um das System einem breiteren Anwendungsfeld zugänglich zu machen.

Neben der Integration eines Störungsmanagements stellt die gesamtheitliche Betrachtung von Roboterzellen, mit den darin enthaltenen Geräten, das Ziel weiterer Forschungen dar.

Das Programmiersystem ermöglicht einen kostengünstigen Einsatz von Industrierobotern in KMU und eröffnet durch das flexible Umprogrammieren und schnelle Anpassen an neue Aufgaben neue Geschäftsfelder. Speziell Geräte-, Anlagen- und Sondermaschinenbauer müssen bei der Integration von Industrierobotern nicht auf externe Dienstleister zurückgreifen. Durch die im Rahmen dieses Projekts gewonnenen Erkenntnisse stellen das Zentrum für Mensch-Maschine-Interaktion und der Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung ihre Kompetenzen im Bereich der Programmierung von Industrierobotern erneut unter Beweis.

Publikationen

- [1] Markus Ehrmann, Jochen Schlick, Marc Seckner, Detlef Zuehlke: *PRIMOS – a novel concept to program complex assembly processes*. In: 2nd International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO) 2005, Barcelona (eingereicht)

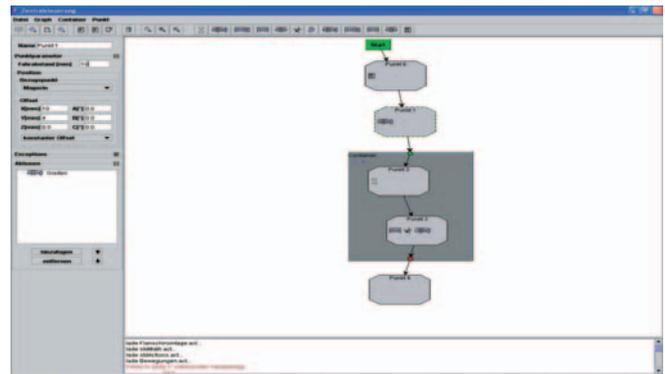


Abb. 3: Bildschirmaufteilung des Programmiersystems PRIMOS: Im oberen Bereich befinden sich Programmleiste und Toolbar. Auf der linken Seite ist das Parameterfenster zum Spezifizieren der Elemente zu erkennen. Zentral angeordnet ist der Arbeitsbereich und unten befindet sich ein Anzeigenfenster.

Weiterentwicklung der Hochdruckwasserstrahl-Technologie

Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wüstenberg
Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinen- und Apparatebau,
Technische Universität Kaiserslautern

Erwin-Schrödinger-Straße
67663 Kaiserslautern

Zuschuss insgesamt 92.930,00 Euro
Laufzeit 1.8.2003 – 31.1.2005

Arbeitsrichtung

Leistungssteigerung und Verbesserung der Schnittqualität beim Einsatz von Düsen mit sehr kleinen Durchmessern in der Hochdruckwasserstrahltechnik

Einleitung

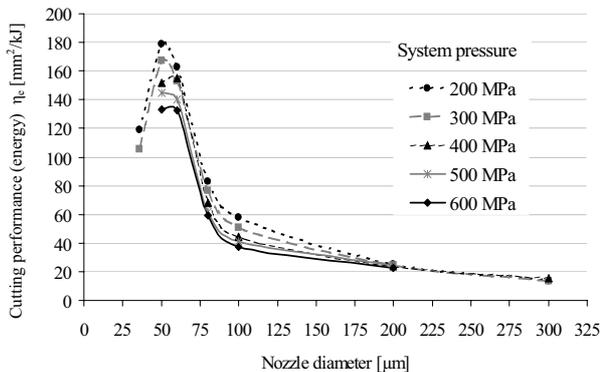


Abb. 1: Schneidleistung als eine Funktion des Düsendurchmessers für verschiedene Drücke. (PVC, Vorschubgeschwindigkeit 10mm/s, Abstand 12mm)

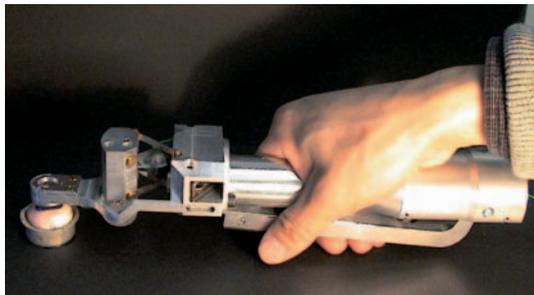


Abb. 2: Prototyp eines Handgerätes zum Schneiden der Hornhaut am Auge

In den letzten vier Jahrzehnten hat der Einsatz der Hochdruckwasserstrahl-Technologie dank zahlreicher Vorteile dieser Technologie ständig zugenommen. Mit einem Hochdruckwasserstrahl lassen sich die unterschiedlichsten Materialien schneiden, ohne dass das Werkstück dabei eine nennenswerte thermische oder mechanische Beanspruchung erfährt. So lässt sich ein Wasserstrahl zum selektiven Trennen von Materialverbunden einsetzen, das heißt, die Schneidparameter werden so eingestellt, dass ein Material aus einem Materialverbund geschnitten bzw. herausgelöst wird und ein anderes Material nicht beschädigt wird.

Üblicherweise kommen Wasserstrahldüsen mit einem Düsendurchmesser von mehr als 100μm zum Einsatz. Kleinere Düsen bis etwa 30μm sind zwar erhältlich, werden jedoch nicht häufig angewendet, da ihre Schneidleistung vielfach zu gering ist. Entscheidend für einen Einsatz der Wasserstrahltechnologie zum Schneiden ist, dass die Kohärenzlänge des Strahls, d.h. die Länge in der der Wasserstrahl kompakt bleibt, also sich nicht aufweitet, möglichst groß ist. Außerdem wird bei vielen Anwendungen auf einen sehr dünnen Wasserstrahl Wert gelegt (z.B. in der Medizintechnik) oder der Papierindustrie, wo es auf eine möglichst geringe Benetzung ankommt. Es besteht also eine Notwendigkeit, Techniken zu entwickeln, um bei kleinen Düsendurchmessern die Schneidleistung durch eine größere Wassergeschwindigkeit bei ausreichender Kohärenzlänge des Strahls zu erhalten. Dies wurde durch einen gesteigerten Druckbereich und durch Anwendung einer Leichtgasströmung versucht, um die strahlauflösenden Einflüsse des Umgebungsmediums zu reduzieren. Die Untersuchungen wurden mit Reinwasser ohne Zugabe von Abrasivmitteln durchgeführt.

Ergebnisse

Die Experimente waren begleitet von Schneidversuchen an verschiedenen Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften. Interessant ist, dass die Schneidleistung pro Zeiteinheit (Schnittfläche bezogen auf die zugeführte hydraulische Energie) im Bereich kleiner Düsen-

durchmesser (unter 100µm) größer ist als für Durchmesser die darüber liegen. Sie erreicht jedoch bei 50µm ihr Maximum und fällt nach beiden Seiten stark ab. Der Abstand zwischen Düse und Werkstück betrug für alle Düsendurchmesser ca. 12mm. Es zeigte sich - was zu erwarten war - dass ein kohärenter Wasserstrahl, tiefe, schmale und genaue Schnitte mit scharfen Kanten erzeugt. Die Kohärenzlänge des Wasserstrahles lässt sich, wie die Versuche bestätigen, dadurch verlängern, indem man den Strahl in einen Vakuumbehälter eintreten lässt oder ihn mit einem Medium geringer Dichte, z.B. Helium, umgibt. Diese Verfahren wurde bereits zum Patent angemeldet und beim Schneiden der Augenhornhaut (cornea) erfolgreich erprobt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden auch Schneidversuche an unterschiedlichen Materialien durchgeführt (PVC, AL, Verbundwerkstoffe (z.B. Teppichböden, Fleisch, Fisch, Backwaren etc.) Von besonderem Interesse dürfte dabei auch das Schneiden von Lebensmitteln sein, da dies unter sehr hygienischen Bedingungen möglich und effektiv ist.



Abb. 3: Schneiden von Seelachsfilet bei -8,4°C

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

Auch mit sehr kleinen Düsen lassen sich sehr gute Schneidleistungen erzielen. Insbesondere durch die Umspülung des Wasserstrahls mit Helium konnten auch bei erhöhten Drücken ausreichende Kohärenzlängen erreicht werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind so Erfolg versprechend, dass sie durch weitere Untersuchungen verifiziert und erweitert werden sollten, um der Hochdruckwasserstrahl-Technologie weitere Anwendungsfelder zu erschließen. Dabei sind zusätzliche Forschungen an den Randgebieten erforderlich, z.B. zur Reduzierung/Absaugung des Oversprays, eines effektiven Wasserauffangs nach dem Schnitt und der Reduzierung des Lärms.

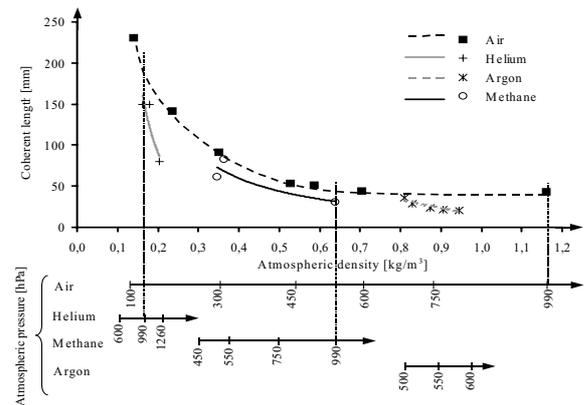


Abb. 4: Kohärente Länge bei untersch. Umgebungsmedien und Dichten

Publikationen

Cadavid, R.; Louis, H.; Pude, F.; Senne, T.; Wüstenberg, D.: Effect of helium atmospheres on abrasive suspension waterjets; International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer-Verlag, Februar 2004

Groß, I.; Cadavid, R.; Fluidjet Mikrokeratome, Lehrstuhl KIMA, Universität Kaiserslautern, Internal Report, Juli 2000

Patente

Angemeldetes Patent: Wüstenberg, D.; Cadavid, R.: Flüssigkeitsausbildung in reibungsarmer Umgebung, Patent DE 10113475.4, März 2001

Kooperationen mit Unternehmen:

UHDE, Hagen, Technische Zusammenarbeit, Informationsaustausch

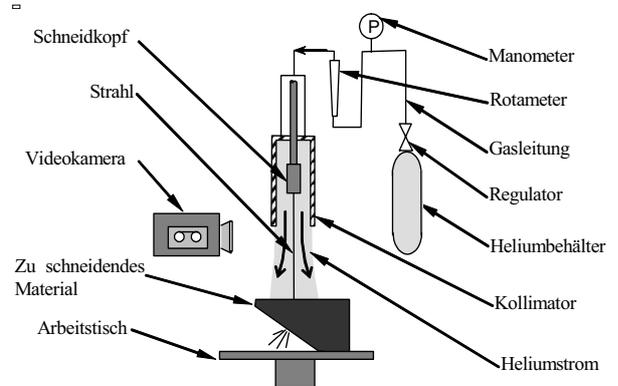


Abb. 5: Versuchsaufbau Heliumströmung um Wasserstrahl

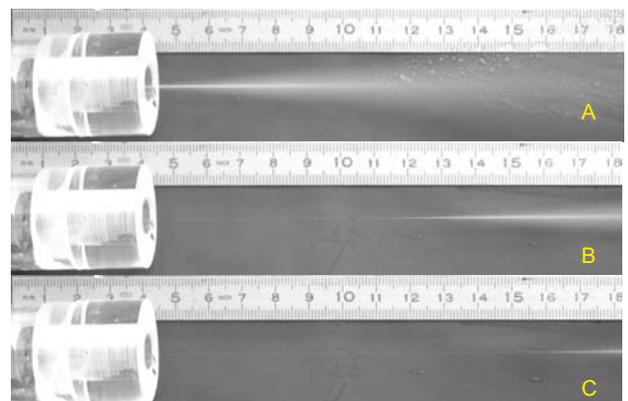


Abb. 6: Strahl mit Helium umgeben, Düsendurchm. 36µm, 140MPa, Heliumstrom A: 0cm³/s, B: 28cm³/s, C: 69cm³/s

Auswirkung von kompakter Bauweise und elektronischen Antriebssteuerungen auf die Dimensionierung von Niederspannungs- transformatoren

Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. Dirk Brechtken
Institut für Energieeffiziente Systeme (IES)
Fachhochschule Trier

Schneidershof
54293 Trier

Zuschuss insgesamt 116.412,00 Euro
Laufzeit 1.10.2004 – 31.3.2006

Arbeitsrichtung

Elektrotechnik, Fachgebiet Energiesystemtechnik, Teilgebiet Transformatoren

Einleitung

Niederspannungstransformatoren werden in der elektrischen Energietechnik als Bausteine innerhalb der Übertragung und Verteilung elektrischer Energie genutzt. Hier finden hauptsächlich die beiden Bauformen *ölgekühlter Transformator* und *Trockentransformator* Anwendung. Während beim *ölgekühlten Transformator* flüssiges Öl die Verlustwärme des Transformators abtransportiert und über spezielle Wärmetauscher nach außen abgibt kann der *Trockentransformator* seine Verlustwärme nur direkt an die umgebende Luft abgeben.

Insbesondere *Trockentransformatoren* werden bevorzugt von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) dimensioniert und gefertigt. Die Auslegung erfolgt derart, dass sie unter guten Wärmeabgabebedingungen und normaler elektrischer Belastung keine Überhitzungsschäden erleiden. Werden diese Transformatoren jedoch in Gehäuse eingebaut (die Wärmeabfuhr wird also verschlechtert) oder werden sie außergewöhnlich harten elektrischen Umgebungsbedingungen ausgesetzt (z. B. Oberwellen im Versorgungsnetz infolge der zunehmenden Verwendung elektronischer Antriebssteuerungen), so steigt ihre Verlustwärme stark an. Dies kann bis hin zu Schäden an den *Trockentransformatoren* führen (sogenannter Kern- oder Wicklungsbrand).

Im Forschungsprojekt wird die Erwärmung von Trockentransformatoren unter verschiedenen Lastbedingungen und bei verschiedenen Umgebungsbedingungen untersucht. Hierbei werden zum einen Versuche mit verschiedenen Transformatoren gemacht. Andererseits wird ein computergestütztes Modell mit Hilfe eines Finite-Elemente-Programms für die unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen erstellt. Durch Modell und Messung wird für KMU's eine Möglichkeit zur Vorhersage von Transformatorausfällen gegeben und somit deren Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Großindustrie gestärkt.

Ergebnisse

Da das Projekt zum heutigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen ist, werden an dieser Stelle die bisher erzielten Ergebnisse aufgeführt. In der später folgenden Diskussion wird das weitere Vorgehen im Forschungsprojekt bis Ende März 2006 dargestellt.

Anhand von ausgewählten Prüflingen wurden Verfahren zur Ermittlung der Temperaturen im Transformator entwickelt. Innerhalb dieser Untersuchungen konnten Zusammenhänge zwischen variablen Umgebungsvolumina sowie verschiedenen Belastungsarten und der Wicklungstemperatur erarbeitet werden. Diese Zusammenhänge werden nachfolgend weiter differenziert und auf eine breitere anwendungsorientierte Basis gestellt.

Dazu wurde ein grundlegendes Modell eines *Trockentransformators* für eine computergestützte Berechnung erstellt. Das Modell ist in der Lage, aufgrund gegebener Geometrie- und Anschlussdaten eines Transformators (Strom, Spannung, Leistung, Abmessungen usw.) dessen magnetisches Feld (Abb. 1) und die Temperaturverteilung im Kern (Abb. 2) zu berechnen. Das zum heutigen Zeitpunkt existierende Modell stellt allerdings zunächst ein sehr grobes und nachfolgend noch zu verfeinerndes Modell dar.

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

Das erstellte computergestützte Modell zielt auf die Entwicklung einer Lösung zur Berechnung von Temperaturen innerhalb der Transformatorwicklungen. Die Modellierung des Transformators wird dabei anhand experimenteller Daten validiert.

Die innerhalb des Projekts entwickelten Lösungen sollen die regionalen KMU's bei der Auslegung ihrer Transformatoren unterstützen. Während die Transformatoren bislang in traditioneller, handwerklicher Art erfahrungsbasiert dimensioniert werden, zeigen die Betriebserfahrungen, dass einerseits der zunehmende Einsatz elektronischer Baugruppen und andererseits die immer kompaktere Bauweise zu Anforderungen führt, die mit dem erfahrungsbasierten Wissen nicht mehr systematisch bewältigt werden können.

Praktisch wird dieser Problematik durch die Verwendung größerer Transformatorbauleistungen begegnet, wodurch die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt wird und langfristig ein Gefährdungspotential für die KMU erwachsen kann. Angestrebt wird daher, durch die systematische Entwicklung und Verbreitung des in diesem Projekt erarbeiteten Know-hows sowohl zur Zukunftssicherung der regionalen KMU's beizutragen als auch die Hochschulen als kompetenten Ansprechpartner zur Lösung komplexer Problemstrukturen bei den angesprochenen Unternehmen zu etablieren.

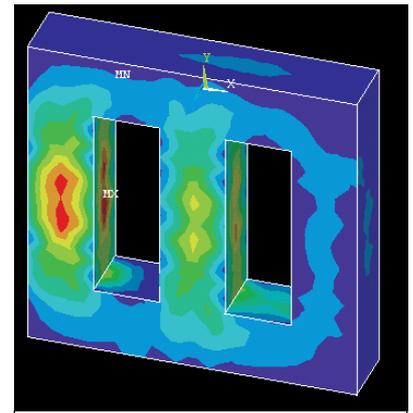


Abb. 1: Verteilung des magnetischen Feldes in einem simulierten Trafokern

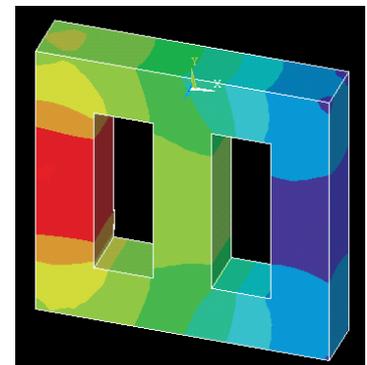


Abb. 2: Temperaturverteilung in einem simulierten Trafokern

Systematisches Re-Engineering bestehender Steuerungsprogramme auf der Basis formaler Beschreibungen

Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. Georg Frey
Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik,
Technische Universität Kaiserslautern

Erwin-Schrödinger-Straße
 67663 Kaiserslautern

Zuschuss insgesamt 219.400,00 Euro
 Laufzeit 1.1.2004 – 31.12.2006

Arbeitsrichtung

Informations- und Kommunikationstechnologie

Einleitung

Maschinen und Anlagen in der Industrie, aber auch Einrichtungen zur Automation in Gebäuden (Aufzüge) und im Verkehr (Ampelanlagen) werden größtenteils unter Verwendung speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS) automatisiert. Eine SPS ist ein Computer, der durch besondere Eigenschaften hinsichtlich der Robustheit und der Reaktionszeit speziell für den Einsatz in Steuerungsaufgaben geeignet ist. Programmiert wird eine SPS meist mit herstellerspezifischen, maschinennahen Sprachen. In Deutschland überwiegt hierbei die Assemblersprache Anweisungsliste (AWL). Das Re-Engineering bestehender Steuerungsprogramme gewinnt aufgrund zweier Faktoren zunehmende Bedeutung für die Wirtschaft:

- Steigende Anforderung an die Qualität der Produkte und kaum kalkulierbare Risiken bei Produktfehlern (Haftung) erfordern die umfangreiche Verifikation und Dokumentation der Steuerungseigenschaften.
- Die in Deutschland am häufigsten eingesetzte Steuerung, die Simatic S5, ist ein Auslaufmodell. Das bedeutet, dass bei Anlagenerweiterung oder defekter Steuerungshardware ein Umstieg auf neue Hardware und damit eine Re-Implementierung erforderlich ist.

Ziel des Vorhabens ist es, ein Verfahren zu entwickeln und umzusetzen, das ausgehend von einer bereits implementierten Steuerung eine weitestgehend automatische Generierung der formalen Beschreibung erlaubt. Diese formale Beschreibung kann sowohl zur Verifikation als auch zur Re-Implementierung genutzt werden (Abb. 1). Bei der Steuerungsprogrammierung werden selten Methoden der modernen Software-Technologie eingesetzt. Weiterhin werden Steuerungen oft während des Betriebs der Anlage umprogrammiert, um sie an neue Anforderungen anzupassen. Das führt dazu, dass für eine implementierte Steuerung praktisch nie eine formale Beschreibung vorliegt. Die formale Beschreibung bildet aber die Basis für neuere Methoden der Steuerungstechnik. Dies sind zum einen systematische Methoden zur Prüfung von Funktionalität und Sicherheit der Steuerung, wie dynamische Simulation und formale Verifikation. Andererseits aber auch Methoden zur automatischen Generierung von Laufzeitcode für neuere Hardware (Software-Reuse) und zur Erzeugung von Fehlererkennungs- und Diagnoseprogrammen.

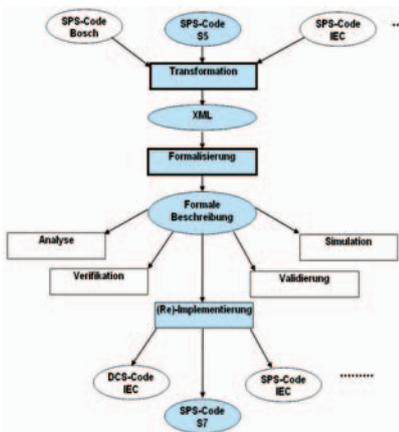


Abb. 1: Vorgehensmodell für das Re-Engineering von Steuerungsprogrammen. Im Bild ist exemplarisch der Weg von einer SPS vom Typ S5 zu einer SPS vom Typ S7 hervorgehoben.

Zur Formalisierung von SPS-Programmen wurden bereits verschiedene Forschungen durchgeführt. Als Modelle kommen im Wesentlichen verschiedene Formen von Automaten und Petrinetzen zum Einsatz. Im Allgemeinen wird die Formalisierung mit dem Ziel der anschließenden formalen Verifikation durchgeführt. Zumeist ist die Umsetzung sehr detailliert. Dies hat jedoch zur Folge, dass die entstehenden formalen Modelle für praktische Anwendungen zu komplex sind.

Ergebnisse

Zur formalen Beschreibung werden im beschriebenen Projekt einerseits Automaten (Dynamik, Abb. 2) und andererseits UML-Klassendiagramme (Struktur, Abb. 3) eingesetzt. Die Transformation der Modelle basiert auf XML und damit in Zusammenhang stehenden Technologien wie XSLT und XMI. Die Software-Werkzeuge werden zunächst für die AWL der Siemens S5 (STEP 5) entwickelt. Die Methoden als solche sind aber generisch, d.h. sie können auch auf andere AWL-Dialekte angepasst werden.

Bevor das formale Modell erstellt wird, werden die AWL-Programme in abstraktere Algorithmen umgesetzt. Der Einfluss der einzelnen AWL-Befehle auf den Systemzustand ist ein wichtiges Kriterium bei dieser Abstraktion. Dabei nimmt das Statuswort eine entscheidende Rolle ein. Das Statuswort ist 8 Bit breit und jedes Bit steht für eine Anzeige. Diese Anzeigen werden durch die Befehle ausgewertet oder gesetzt bzw. rückgesetzt. Für binäre Operationen ist das Verknüpfungsergebnis (VKE) von zentraler Bedeutung. Binäre Operationen können abhängig vom VKE sein, das VKE ändern oder das VKE begrenzen. Ein weiterer Punkt bei der Betrachtung der Befehle ist die Änderung des Programmzählers. Diese kann bedingt, d.h. abhängig vom VKE oder unbedingt sein. Zum Schluss wird die Änderung der Eingänge, Ausgänge und Merker betrachtet, auch diese kann wieder bedingt oder unbedingt sein. Diese Betrachtung erlaubt eine Einstufung aller AWL-Befehle in verschiedene Typklassen.

Bei der Abstraktion werden die Befehle abhängig von ihrer Einstufung zusammengefasst. Das Ergebnis ist eine Folge von IF-THEN-ELSE-Anweisungen. Die VKE begrenzenden Operationen begrenzen auch die IF-THEN-ELSE-Anweisungen. Dies ermöglicht es, dass im Weiteren zusammenhängende Abschnitte und nicht einzelne Programmzeilen dargestellt werden. Aus der generierten Folge von IF-THEN-ELSE-Anweisungen wird im nächsten Formalisierungsschritt ein Automatenmodell entwickelt. Dieses Automatenmodell (Abb. 4) stellt die Grundlage für die spätere Re-Implementierung dar. Es weist einige Vorteile gegenüber bekannten Ansätzen auf:

- 1) Durch die Umsetzung zusammenhängender Code-Segmente entsteht ein relativ kompaktes Modell.
- 2) Durch die gewählte Abstraktion kann (bei binären Programmen) die Betrachtung der Statusanzeigen und des Programmzählers komplett entfallen.
- 3) Bei gut strukturiertem Ausgangscode (Schrittketten) entspricht die Verteilung der Code-Zeilen auf die Automatenzustände genau der Einteilung in die Schritte des Ausgangsprogramms.

Die bisher entwickelten Verfahrensschritte wurden prototypisch in ein Engineering-Werkzeug implementiert. Hierbei wurden hauptsächlich freie, standardisierte, bzw. Plattform-neutrale Technologien wie XML, XSLT, UML, SVG, Java, etc. eingesetzt.

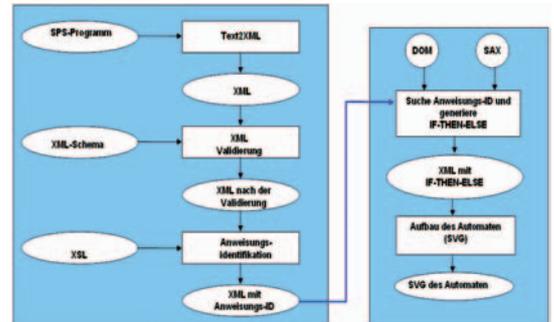


Abb. 2: Vorgehen zur automatischen Erstellung des dynamischen Modells mit Automaten.

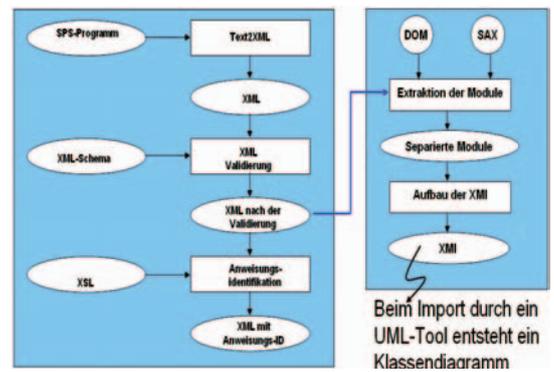


Abb. 3: Vorgehen zur Erstellung des strukturellen Modells mit UML-Klassendiagrammen.

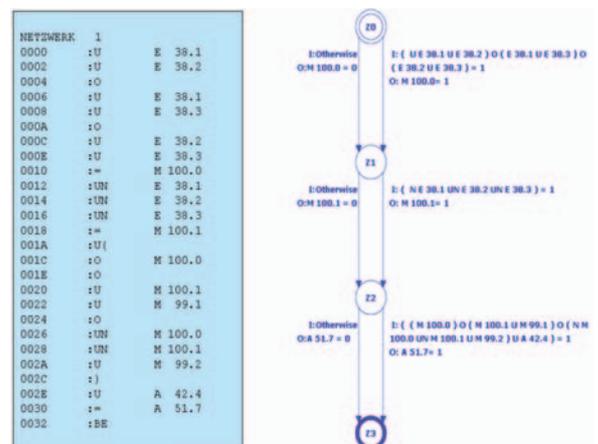


Abb. 4: Beispiel für die automatische Umwandlung eines AWL-Programms in einem Automaten (Visualisierung des Automaten über SVG).

Diskussion, Ausblick, Anwendungsperspektive

In diesem Projekt wird ein neues Verfahren zum Re-Engineering von Steuerungsprogrammen erarbeitet. Hierbei wird zunächst eine Formalisierung der Programme durchgeführt. Dazu werden nicht einzelne Zeilen, sondern zusammenhängende Abschnitte eines Programms betrachtet. Die Formalisierung schließt sowohl binäre und digitale Operationen wie auch Zähl- und Zeitfunktionen ein. Zur Beachtung der zyklischen Bearbeitung von SPS-Programmen wird der Automat in ein Gesamtmodell für Steuerungen integriert. Dieses Modell berücksichtigt die Unterschiede zwischen der Ausführung eines Steuerungsprogramms und der Abwicklung eines Automaten, indem die Programmbearbeitung in einem speziellen Automaten umgesetzt wird.

Im weiteren Projektverlauf ist eine volle Integration der entstehenden Modelle in eine UML-Umgebung vorgesehen. Wesentlich dazu ist die Transformation des derzeit verwendeten Automatentyps auf UML-Zustandsdiagramme und die Hinterlegung einer formalen Semantik. Diese Integration erlaubt neben der Nutzung von Forschungsergebnissen anderer Gruppen zur automatischen Code-Generierung aus der UML auch die Möglichkeit, Re-Engineering- und Optimierungsmethoden aus dem Bereich der objektorientierten Softwareentwicklung zu untersuchen.

Erste Firmen haben bereits konkretes Interesse an der Thematik bekundet. Dies betrifft sowohl Hersteller als auch Anwender von Steuerungen.

Publikationen

Bani Younis, M.; Frey, G.: *Formalization of PLC Programs to Sustain Reliability*. Proceedings of the 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, RAM-2004, Singapore, pp. 613-618, Dec. 2004.

Frey, G.; Bani Younis, M.: *A Re-Engineering Approach for PLC Programs using Finite Automata and UML*. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, IRI-2004, Las Vegas, USA, pp. 24-29, Nov. 2004.

Bani Younis, M.; Frey, G.: *Visualization of PLC Programs Using XML*. Proceedings of the American Control Conference (ACC2004), Boston, USA, pp. 3082-3087, June 30 - July 2, 2004.

G. Frey: *Re-Engineering of PLC Programs*. Vortrag am Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée (LURPA) der Ecole National Supérieur Cachan (Frankreich), June 17, 2004.

Bani Younis, M.; Frey, G.: *Formalization of Existing PLC Programs: A Survey*. Proceedings of CESA 2003, Lille (France), Paper No. S2-R-00-0239, July 2003

