

FORSCHUNGSBERICHT 06

Es gibt viele Arten von Mobilität. Die wichtigste ist in unseren Köpfen.



Es gibt keine Freiheit ohne die Freiheit der Bewegung. Das tägliche Vorwärtskommen macht einen entscheidenden Teil der Lebensqualität aus. Man bemerkt es spätestens, wenn man mal nicht vorwärtskommt: Das Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation ist selten stabil, sondern meist selbst in Bewegung begriffen. Zusammenhänge erforscht seit 1998 das Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) – eine Einrichtung der BMW Group. Im engen Kontakt zu Politik, Wissenschaft und Wirtschaft entwickeln wir neue Wege für die mobile Zukunft. Zu Wasser, zu Land und in der Luft, aus eigener Kraft oder mit technischer Hilfe. Und das nicht

als Selbstzweck, sondern mit einem klaren Ziel vor Augen: Erfolgversprechende Entwicklungen, ungelöste Probleme sowie mögliche Auswirkungen machen wir für die breite Öffentlichkeit transparent. Und davon sollen nicht nur die Kunden der BMW Group profitieren – die Arbeit des ifmo soll auch die allgemeine Sensibilität für Entwicklungen in der Gesellschaft schärfen. Denn nur wer informiert ist, kann sich wirklich frei entscheiden.

Mehr Informationen unter
www.bmwgroup.com/mobility

BMW Group



FORSCHUNGSBERICHT
DER
FACHHOCHSCHULE REGENSBURG
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
WIRTSCHAFT
SOZIALWESEN
2006

IMPRESSUM

- Herausgeber:** Der Präsident
der Fachhochschule Regensburg
Prof. Dr. Josef Eckstein
- Redaktion:** Elke Steinberger, Dipl.-Sozialpäd. (FH),
Referentin für Technologietransfer
und Weiterbildung
IAFW + ZWW,
Fachhochschule Regensburg
- Titelgestaltung:** Prof. Pavel Zverina,
Fachhochschule Regensburg,
Manuela Apfelbeck
- Bildmaterial:** Autoren der Fachbeiträge
- Gesamtherstellung:** WEKA info verlag gmbh
86415 Mering
www.weka-info.de
www.zukunftschancen.de
- Auflage:** 1000
- Erscheinungstermin:** Juli 2006

Für die einzelnen Projektberichte liegt die inhaltliche Verantwortung bei den jeweiligen Projektleitern.

Kontaktadresse:

Fachhochschule Regensburg
Institut für Angewandte Forschung
und Wirtschaftskooperationen (IAFW)
Prüfeninger Straße 58
D-93049 Regensburg
Telefon: ++49 (09 41) 9 43 14 98
Telefax: ++49 (09 41) 9 43 14 97
E-Mail: iafw@fh-regensburg.de
Internet: www.fh-regensburg.de

Wir danken allen Autoren für die Unterstützung.

LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

angewandte Forschung und Entwicklung wurden als Aufgaben der Fachhochschulen erstmalig 1998 im Bayerischen Hochschulgesetz genannt. Seit dieser Zeit haben an der Fachhochschule Regensburg angewandte Forschung und Entwicklung stetig an Bedeutung gewonnen. Messgrößen dabei sind z. B. die Anzahl der Professorinnen und Professoren, die sich im Bereich FuE engagieren oder die Zahl der Mitarbeiterstellen, die aus Projektmitteln bezahlt werden. Die Drittmiteleinnahmen für Projekte haben sich mehr als verzehnfacht.

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Fachhochschule Regensburg sind geprägt durch die Vielzahl der Fächer aus den Bereichen Technik, Wirtschaft und Sozialwesen.

Dies ermöglicht zum einen das Entstehen von Kompetenzbereichen wie z. B. Software-Engineering, Sensorik, Logistik, Mechatronik oder Biomechanik. Zum anderen bestehen dadurch auch vielfältige interdisziplinäre Kooperationsmöglichkeiten. Die Vernetzung zwischen Fachbereichen der Fachhochschule Regensburg und/oder mit anderen Hochschulen im Rahmen von Forschungsvorhaben wird kontinuierlich und nachhaltig ausgebaut. Von besonderer Bedeutung sind Forschungsprojekte, die in Kooperation mit Partnern (vorwiegend der Region) aus Industrie, Wirtschaft und sozialen Einrichtungen durchgeführt werden. Die Einnahmen in diesem Bereich haben in den letzten beiden Jahren mehr als die Hälfte der Drittmiteleinnahmen der Fachhochschule Regensburg betragen.

Darüber hinaus gibt es auch Forschungsvorhaben, die nicht über Drittmittel oder Sondermittel der Hochschule finanziert werden. Stellvertretend seien hier z. B. die Themen „Medienrecht und Kartellrecht“ genannt.

An der Fachhochschule Regensburg wird eine hoch qualifizierte, praxisnahe, angewandte Forschung betrieben, von der Lehre und Studium gleichermaßen profitieren. Die Einbindung der angewandten Forschung in die Lehre beeinflusst das Lehrangebot z. B. in Form von Master-Studiengängen und gibt Impulse für die Entwicklung von attraktiven Weiterbildungsveranstaltungen. Die Basis für Existenzgründungen wird gelegt. Angewandte Forschung und Entwicklung ist eine unabdingbare Voraussetzung für exzellente Lehre.

Der vorliegende Forschungsbericht 2006 stellt eine Auswahl von aktuellen Forschungsvorhaben an der Fachhochschule Regensburg dar.

Für weitere Informationen und Fragen zum Thema „Angewandte Forschung und Entwicklung an der Fachhochschule Regensburg“ steht Ihnen das Institut für angewandte Forschung und Entwicklung (IAFW) als zentraler Ansprechpartner der Fachhochschule Regensburg zur Verfügung. Mein Dank gilt Frau Steinberger vom IAFW für die Redaktion dieses Forschungsberichts.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen



Prof. Dr. Josef Eckstein
Präsident der Fachhochschule Regensburg

Automobil denken – die Zukunft gestalten

Starten Sie Ihre Karriere bei Siemens VDO

Leidenschaft für automobiler Technologien verbindet die Mitarbeiter von Siemens VDO. Als einer der weltweit führenden Zulieferer für die Automobilindustrie sind wir ein starker Partner für innovative Lösungen. Dazu brauchen wir Menschen, die ihre Leidenschaft für Mobilität tagtäglich leben, kreative Lösungen entwickeln und bei

der Umsetzung ihrer Ideen Grenzen überschreiten. Sind Sie bereit, jeden Tag Neues dazuzulernen, und möchten Sie vielfältige Chancen in einem internationalen Unternehmen nutzen? Gestalten Sie mit uns die automobiler Zukunft.

www.siemensvdo.de/career

SIEMENS VDO

BAUINGENIEURWESEN

On the Reliability of Reinforced Concrete Floor Slabs subjected to Fire Loading 8
Dipl. Ing. (FH) Wolfgang Winkler, M. Eng. David Lange, Prof. Dr. Dimitris Diamantidis, Dr. Asif Usmani

BETRIEBSWIRTSCHAFT

Think local, act global - Internationales Management in Theorie und Praxis 16
Prof. Dr. Claudia Woerz-Hackenberg

„Banking der Zukunft – Die Entwicklung des Retailbanking im Spannungsfeld von Kundenwünschen
 und Rentabilitätsanforderungen“ 26
Renate Hartwig, Hansjörg Haser, Alexander Heinrich, Ulrike Oellers, Prof. Dr. Claudia Woerz-Hackenberg

Evaluationsstudie: Der Beitrag von Unternehmensplanspielseminaren zur Förderung
 der Gründungskompetenzen und -motivation bei Studierenden 28
Prof. Dr. Eberhard Auchter

ELEKTRO- UND INFORMATIONSTECHNIK

Verschlüsselung leicht gemacht 33
Stefan Haller, Prof. Georg Scharfenberg

Konfokales chromatisches Abstandsmesssystem mit Hilfe von GRIN-Linsen 42
Dipl.-Ing. (FH) Michael Schumm, Prof. Dr. Gareth Monkman, Dr. Stefan Egersdörfer

INFORMATIK / MATHEMATIK

Simulations-System für das R/3-System (SIM-R/3) der SAP AG 46
Professor Dr. Frank Herrmann, Diplom Wirtsch.-Inf. (FH) Michael Kreuz

Anbindung von Halbleiter Fertigungsautomaten an die SAP NetWeaver Plattform 51
Christian Wohanka, Dipl.-Phys. Herbert Helmstreit, Systema GmbH, Prof. Dr. Frank Herrmann

Wie ein mobiler Roboter das Laufen erlernt 61
Prof. Jürgen Sauer

Kartenerstellung und Routenplanung mit einem mobilen Roboter 66
Prof. Jürgen Sauer

MASCHINENBAU

FE-Simulation zur Ermittlung der Eigenspannungen bei umwandlungsfreien Chromnickelstählen	84
<i>Dipl.-Ing. (FH) M. Kölbl, Dipl.-Ing. (FH) H. Wels, T. Albrecht, Prof. Dr. Claus Schliekmann</i>	
Numerische Simulation der Bauteilfestigkeit von Spaltsiebstrukturen	95
<i>Dipl.-Ing. (FH) C. Brunner, Dr.-Ing. C. Böhm, Prof. Dr. Claus Schliekmann</i>	
Deformation behaviour of bovine cancellous bone	100
<i>Dipl.-Ing. (FH) M.Sc. (Univ.) Sebastian Dendorfer, Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier, Prof. Dr.-Ing. Joachim Hammer</i>	
Biomechanical properties of articular cartilage as a standard for biologically integrated interfaces	106
<i>Dipl.-Ing. (FH) Johann Fierlbeck, Prof. Dr.-Ing. Joachim Hammer, Dr. med. Carsten Englert, Prof. Robert L. Reuben</i>	
Modeling Concepts for Modern Steering Systems	113
<i>Prof. Dr.-Ing. Georg Rill, C. Chucholowski</i>	

MIKROSYSTEMTECHNIK

Wet chemical production of spheric micro lenses in boronfloatglass by means of a double metallic mask	121
<i>Prof. Dr. Alfred Lechner , Andreas Sonnauer</i>	

Übersetzungs- und Dolmetscherdienst

Unsere Dienstleistungen:

- **Beglaubigte Übersetzungen**
- **Fachübersetzungen**
- **alle Sprachen**

(Mitglied im VÜ Bonn)



Telefon: 09 41 – 5 85 63-0
 09 41 – 5 12 62
 Fax: 09 41 – 5 85 63-22
 09 41 – 5 10 64
 E-Mail: nowakgmbh@t-online.de
 Internet: www.nowak-translation.com

Maximilianstr. 16 / III – 93047 Regensburg oder Postfach 110610 – 93019 Regensburg

Fürs Leben.



Sicherheit geben.
Freiraum schaffen.
Zukunft gestalten.

Immer für Sie nah!
REWAG

www.rewag.de

DIPL-ING (FH) WOLFGANG WINKLER, M. ENG. DAVID LANGE, PROF. DR. DIMITRIS DIAMANTIDIS,
DR. ASIF USMANI

ON THE RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS SUBJECTED TO FIRE LOADING

PREFACE

A numerical method for the calculation of building reliability under fire load was developed as main part of the diploma thesis of the first author in the framework of the cooperation between Professor Diamantidis of the University of Applied Sciences, Regensburg and Dr. Usmani of the University of Edinburgh. The work is also part of the research project "The Development of a Risk Based Framework for Performance Based Fire Safety Design of Steel and Composite Structures" undertaken at the University of Edinburgh by David Lange.

1 INTRODUCTION

While thinking about fires in high rise buildings everybody has in mind the pictures of from September 11th in the mind. Some more examples of huge fire events in high rise buildings shall introduce the experience with fires during the last decades.

The One Meridian Plaza Fire

One Meridian Plaza is a 38-floor skyscraper in Philadelphia that suffered a severe fire on February 23, 1991. The fire started on the 22nd floor and raged for 18 hours and caused an estimated \$100 million in direct property loss.

The First Interstate Bank Fire

The First Interstate Bank Building is a 62-story skyscraper in Los Angeles. From the late evening of May 4, 1988 through the early morning of the next day, 64 fire companies battled the blaze, which lasted for 3 1/2 hours. The fire caused extensive window breakage, which complicated fire fighting efforts. The fire caused an estimated \$200 million in direct property loss.

The 1 New York Plaza Fire

1 New York Plaza is a 50-story office tower less than a mile from the World Trade Centre site. It suffered a severe fire and explosion on August 5, 1970. The fire started around 6 PM, and burned for more than 6 hours.

Caracas Tower Fire

The tallest skyscraper in Caracas, Venezuela experienced a severe fire on October 17, 2004. The blaze began on the 34th floor and spread to over 26 floors, and burned for more than 17 hours.

The Windsor Building Fire

The most recent case of a severe high-rise fire is the one that destroyed the Windsor Building in Madrid, Spain on February 12, 2005. The Windsor fire was more severe than any of the other fires described above.

With exception of the collapses of the World Trade Centre Towers, no fire has ever caused a steel-framed high-rise building to collapse. In the aforementioned cases, the fires consumed multiple floors, produced extensive window breakage, exhibited large areas of emergent flames, and went on for several hours without a collapse of the structure.

Evidence from the real fires mentioned above, indicate that the amount of protection being applied to some elements may be excessive and, in some cases unnecessary. Large scale natural fire tests carried out in a number of countries have shown consistently that the fire performance of composite buildings is much better than suggested. These tests demonstrated, among other facts, that the large deflections generated by thermal strains produce a deflected shape in the floor slab which could efficiently transfer load away from the fire affected part of the structure through membrane action. These membrane effects had been analysed numerically during the last few years and led to a new design method to determine the membrane capacity of reinforced concrete floor slabs under fire load. The computational tool presented in this work shall calculate the capacity distribution for the case of fire based on this method as part of a performance based design framework for structures in fire.

2 PERFORMANCE BASED DESIGN AND STRUCTURAL RELIABILITY

Performance-based design is not a new approach, on the contrary it is older than prescriptive design. The following two examples shall help to describe this [Tianjin Univ. (2002)].

Case 1: When a tailor designs a shirt for a customer, he starts by taking the customer's measurements. Next he displays different alternatives of textile material, buttons, threads and designs. Afterwards, both the tailor and the customer sit down to discuss the cost of making the shirt. Occasionally, the customer for example would argue that a certain textile is expensive, but the tailor may explain that the shirt would not need ironing and should last longer if that material is selected. The deal comes to a success if they both agree on design and price.



Figure 1: *The Windsor Building Fire*

Case 2: Clothing mass-producing workshops have a different view. To produce cheaper and faster, generic sizes are taken. The available sizes would depend on the frequency distribution of every size in the country. Deemed to satisfy patrons are used, the worker in the workshop just has to use the right patron to cut the shape, use a specified textile and buttons, and everything should work fine, without having to think much about it.

Case 1 is a very true example of performance-based design. The objective is set around specific requirements. The reliability of various design alternatives are assessed in view of benefit and cost. Reliability is sustained, the probability that the tailor makes a mistake in designing two shirts for two different customers is small and almost constant.

Case 2 is a compromise of case 1 since we do not know the specific sizes but we think that these sizes should fit most people. The alternatives are limited and fixed, x number of models with y number of textiles. The reliability is unknown! People may like certain designs or materials and not others. This case is a typical example of prescriptive design.

So Performance Based Design (PBD) can be defined as the design based on three main criteria:

- Definition of the objectives of the design process
- Investigation of the alternative designs available to meet the objectives
- Reliability and risk assessment of alternatives to select the most efficient solution

Structural reliability is defined in EN 1990 as the ability of a structure or a structural member to fulfil the specified requirements, including the design working life, for which it has been designed. Reliability is usually expressed in probabilistic terms.

Here a terminology such as demand is used to describe the requirement of performance on an engineering system, and capacity is used to describe the ability of the system to adequately satisfy the performance requirements imposed on it. In most 'real life engineering problems', capacity and demand are random variables with their individual probability density function as shown in figure 2. It can also be seen in this figure, that there is an overlap between the two density functions, which indicates that there is a finite probability of failure.

3 BEHAVIOUR OF STRUCTURES IN FIRE

In the last decades research on composite structure behaviour in fire has shown that the behaviour is not dominated by the

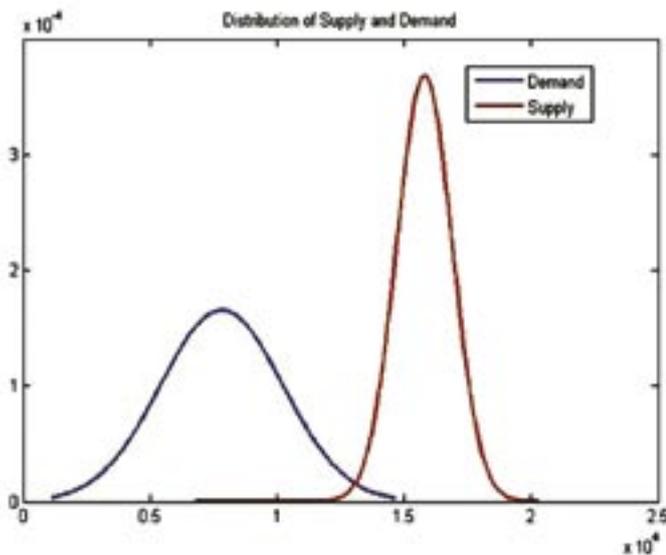


Figure 2: Capacity and demand function

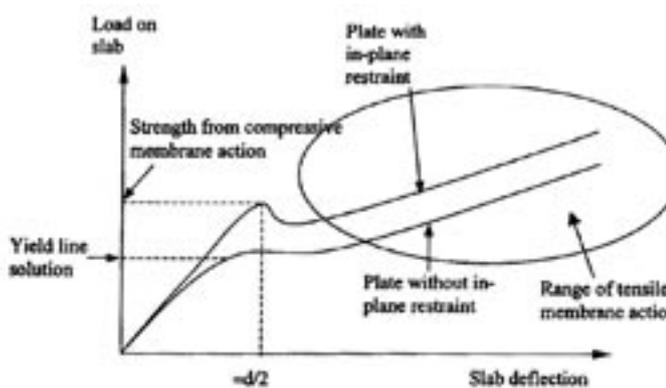


Figure 3: Load-deflection behaviour of concrete slabs [Cameron [2003]]

effects of strength loss caused by thermal degradation. A 'new understanding' has been developed based on research performed in many institutions such as the University of Edinburgh. The key message from this new understanding of the composite structure behaviour in fire is, that composite framed structures possess enormous reserves of strength through adopting large displacement configurations, and that thermally induced forces as well as displacements govern the response in fire. Degradation (deflections of steel yielding and buckling) can even be helpful in developing the large displacement needed for alternative load carrying modes.

Concrete slabs are designed to carry load through bending using small-deflection theory. In fact membrane forces will always exist and in general, they increase the amount of load that a slab can carry. Membrane enhancement in slabs takes two forms; compressive membrane action and tensile membrane action. Their development is dependent on the degree of restraint along the slab boundaries. The load-deflection behaviour of both a simple-supported and a laterally-restrained slab are shown in Figure 3.

Due to thermal expansion and thermal bowing the deflection in fire can be big without a big amount of stress in the slab. So the stable tensile membrane behaviour, mostly assimilated by the reinforcement, is a suitable load carrying mechanism in fire. As the degree of restraint provided by the compressive ring of simply supported slabs has never been quantified, this design method is only suitable to laterally restrained slabs. Furthermore the tensile membrane load capacity of laterally restrained slabs is much larger than of the simply supported slabs. Reinforced concrete slabs are normally continuous slabs, spanning over several fields. The rotational restraint at the supports is lost very early in case of fire. Because of this fact, continuous slabs are assumed to be lateral restrained and rotational unrestrained slabs over one field.

Following the considerations above an important aspect in the structural modelling under fire is the development of a method to determine the membrane capacity. The method proposed by Cameron (2003) has been used; it consists of three stages:

Thermal input: For the fire scenario being considered, the temperature distribution through the depth of the slab, $T(z)$ is calculated. According to this temperature distribution, the equivalent thermal expansion ΔT and equivalent thermal gradient T_z of the slab are calculated with a 1D finite element program.

Mechanical response: For the given temperature distribution on the deflection of the slab $w(x,y)$ and the associated stress and strain states $s(x,y)$ and $e(x,y)$ in the steel reinforcement are calculated.

Load capacity: An energy method is used to determine the ultimate membrane capacity.

The basic assumptions for this calculation method are:

- The slab is assumed to be rectangular in plan

- The slab is assumed to be restrained against lateral translation along all boundaries but free to rotate
- Anchorage to tensile membrane forces in the slab is available along the slab boundaries
- The temperature distribution in the slab varies only through the depth of the slab
- The material behaviour for the reinforcing steel is considered temperature dependent, but that of concrete is not.
- It is assumed that failure during the heating phase of the fire is ductile with no localisation of strain occurring in the reinforcement
- The fire limit state is assumed to have been reached when any part of the reinforcement achieves a mechanical strain equal to a limiting mechanical strain
- The deflected shape is governed entirely by the temperature distribution in the slab
- The tensile membrane capacity is derived solely from the reinforcement

4 RELIABILITY COMPUTATION AND APPRAISAL

Fire Models

As a first step for structural reliability computation a fire model is needed. Lots of fire models are presented in the literature. It must be differed between models fore local fires and fully engulfed compartment fires. For structural response the fully developed compartment fires (post flashover) are of interest. These fires can be based on the hypothesis that the temperature is uniform in the compartment.

The simplest models are the nominal fires, with a fixed time temperature relationship. One example is the fire described in BS-476 with only one input parameter, the fire duration. Nominal fires can also be found in EC 1 Part 1-2 and nearly in every local code.

Parametric fires on the contrary provide a simple means to take into account the most important physical phenomenon, influencing the development of a fire in a particular building. Like nominal fires, they consist of time temperature relationships, but these relationships contain some parameters deemed to represent particular aspects of reality. In almost every parametric fire which can be found in the literature, the parameters taken into account are:

- the compartment geometry
- the fire load within the compartment
- the openings within the walls and/or in the roof
- the different construction elements forming the boundaries

The advanced models are the Zone Models and the computational Fluid-Dynamic models. These models simulate numerically the fire development and the heat flux. The Two-Zone-Models are used for modelling local fires.

The One-Zone-Model is based on the fundamental hypothesis that the gas temperature is uniform in the compartment, which is proper for the post-flashover situation. The data have to be supplied with a higher degree of detail than for the parametric curves. The data which have to be provided to a zone model are:

- geometrical data (dimensions of the compartment, openings and partitions)
- material properties of the walls
- fire data, as RHR curve, pyrolysis rate, combustion, heat of fuel

An overview of the different models ranked with increasing complexity is given next.

	local fire	fully developed compartment fire
nominal temperature-time curves	EC 1, Part 1-2: standard temperature-time curve external fire curve hydrocarbon curve BS-476 - time-temperature-curve	
parametric fire models	EC 1, Part 1-2 Annex C - Fire	* EC 1, Part 1-2 Annex A - Fire * Modified EC 1, Part 1-2 Annex A - Fire, presented in NFSC (2001) * Fire model presented in JCSS (2001)
advanced fire models	Two Zone Models	One Zone Models
field models	Computer Fluid Dynamics Models	

Monte Carlo Simulation

For the reliability computation a Monte Carlo simulation has been used. Monte Carlo methods are a class of computational algorithms for simulating the behavior of various physical systems. They are distinguished from other simulation methods by being stochastic, i.e. nondeterministic, usually by using random numbers (or pseudo-random numbers) - as opposed to deterministic algorithms. Because of the repetition of algorithms and the large number of calculations involved, Monte Carlo is a method suited to calculation using a computer, utilizing many techniques of computer simulation.

For the Monte Carlo simulations the following analysis steps have been undertaken:

a) Several parametric studies have shown, that the time temperature relation has the major influence on the minimum capacity during the burning period. As distributions of the material properties have subordinate influence they were assumed to be the means. For this tool the parametric fire model presented in EC 1, Part 1-2 Annex A was chosen.

b) A program was written in MATLAB choosing randomly input variables according to the distributions of the fire scenarios. The program is calculating the time-capacity-relationship for every fire scenario with a Fortran program based on the tensile membrane action described above.

c) A stochastic analysis of the time-capacity-relationships of the randomly chosen fire scenarios has been implemented in order to derive the "probability-capacity" relation.

Safety targets(Reliability Appraisal)

As a basis the goals for the performance based design had to be specified by the client or the design regulation authorities. Diamantidis (2004) subdivides in his review of risk acceptance criteria into three different approaches:

Human Safety approach: Two types of risk are considered: Individual risk criteria. No individual involved in a particular activity can be exposed to an "unacceptable" risk. If an individual is found to be exposed to excessive risk, safety measures are adopted regardless of the cost-benefit effectiveness.

Social risk criteria. A certain activity must not produce high frequency occurrences of large-scale accidents (i.e. with particularly severe consequences). In other words, the "unacceptable" level of risk varies for different accident severities. This principle tries to capture a supposed socio-political aversion to large accidents and provides a regulatory basis in situations where the two other criteria do not call for intervention.

Optimisation approach: The possible investments in safety measures are analysed in terms of the expected benefits. Only solutions with benefits greater than costs are selected. Priority is then given to solutions having the greater "net value".

Normative Approach: Normative safety targets or limits are set by public legislation (for example in codes, design recommendations) and are based on calibration with present practice making frequent use of the postulate that a present practice is already acceptable from a safety point of view or on optimization of generalized benefits and cost.

When the expected loss of life or limb is important, the optimal reliability level becomes more controversial. A brief look at what happens in a fire will help to differ things. A fire will start in a part of a room, then, when not extinguished, a flashover may happen. After this, the fire begins, when not stopped by a proper separation, to spread through the flat and after this through the whole building. This may take some time, a normal fuel or ventilation controlled fire, not an explosion assumed. During this time, the inhabitants of the building can escape and the fire brigade can come into the building and try to extinguish the fire. The building and parts of the building should withstand the fire so long, that the inhabitants can escape. Also the fire fighters as individuals should not be exposed to an "unacceptable" risk entering the building.

In terms of a reliability-based approach, structural risk acceptance criteria correspond to a required minimum reliability herein defined as target reliability. The requirements for safety of a structure are consequently expressed in terms of the accepted minimum reliability index or the accepted maximum failure probability.

In NFSC, an approach is presented to extend the semi-probabilistic concept from EN 1990 Annex C to structural fire resistance. This approach will lead to a safety factor which is adapted on the fire load.

The target failure probability p_t of $7.23 \cdot 10^{-5}$ per building life ($1.3 \cdot 10^{-6}$ per year) is defined in EN 1990. The required safety in case of fire could be differentiated. Therefore the NFSC (2001) suggests the following levels:

- $p_t = 1.3 \cdot 10^{-4}$ for normal evacuation
- $p_t = 1.3 \cdot 10^{-5}$ for difficult evacuation (hospital, etc.)
- $p_t = 1.3 \cdot 10^{-6}$ for no possible evacuation (high rise building)

5 EXAMPLE

The distribution of the capacity for a reinforced concrete floor slab in a natural fire has been calculated with the presented tool. As an example the slab spanning over the office in the university building with was chosen. The slab is 10 m by 5 m and in x-direction are diameter 6 mm reinforcement bars every 75 mm and in y-direction 8 mm bars every 100 mm. The stochastic parameters of the randomly chosen fire input are shown in the following table:

	Distribution	Mean	Standard deviation
Floor area [m ²]	not distributed	55.12	
Total area [m ²]	not distributed	209.46	
Fuel factor [MJ/m ²]	Extreme value distributed	383.04	174.39
Opening factor α	$\alpha (1-R_n)$, R_n is normal distributed	0.00	0.50
Thermal inertia	normal distributed	920.53	116.80

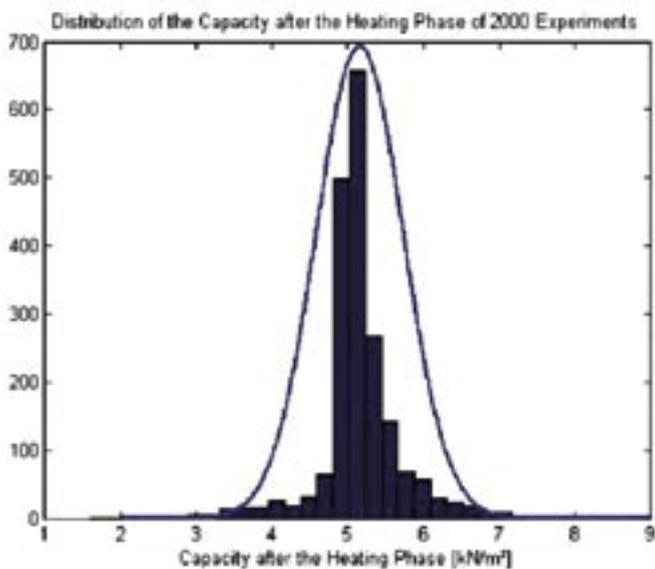


Figure 4: Distribution of the capacity of the floor slab after a natural fire

A plot of a distribution of the slab capacity after a fire is shown in figure 4. Figure 5 illustrates the distribution capacity and demand functions and the related safety margin expressing the structural reliability of the slab under fire load.

6 FINAL REMARKS

The combination of Monte Carlo Simulations with the calculation of the capacity after a fire is a first step towards a fully probabilistic model for fire analysis of buildings. This calculation method can be improved and expanded into many fields. Based on calculation results of sensitivity analyses it was detected that thicker slabs will not have enough deflection, so that tensile membrane action can be assumed as the only load carrying mechanism. From this aspect, the calculation method presented here, is rather conservative. A new version of the calculation program being developed at the University of Edinburgh shall also include bending as a load carrying mechanism. When the method will be

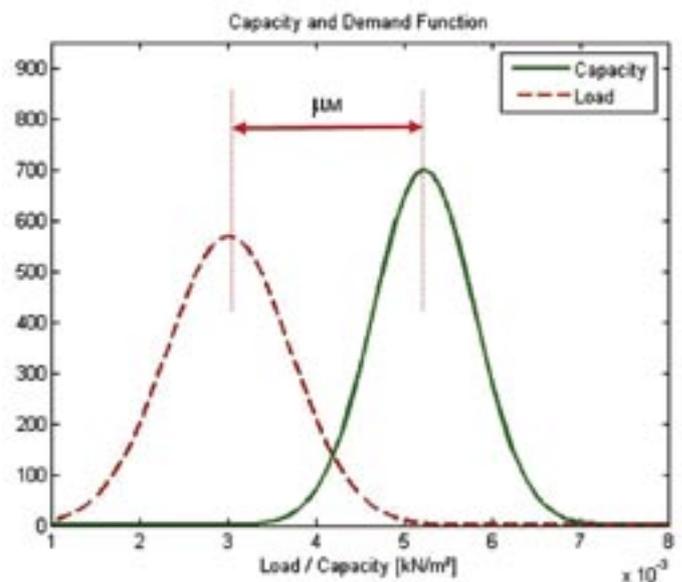


Figure 5: Load and capacity distribution with the safety margin

Prof. Dr.-Ing. Dimitrios Diamantidis
 Tel.: 0941 943-1203
 Fax 0941 943-1429
 Dimitris.diamantidis@bau.fh-regensburg.de

working well for slabs, a similar module shall be developed for columns. Both together, the module for the slabs and the module for the columns shall then be combined to a module for one storey level of a building. The final step shall be the fully probabilistic model of a building in fire.

LITERATURE

BS 476 (1989): Fire tests on building materials and structures, British Standard Organisation, 1989
 Cameron, N. J. K. (2003): The Behaviour and Design of Composite Floor Systems in Fire, University of Edinburgh, 2003
 Diamantidis, D. (2004): Risk Acceptance Criteria: A review, the Joint Committee on Structural Safety, 2004
 Drysdale, D. (2000): An Introduction to Fire Dynamics Second Edition, John Wiley & Sons, 2000
 Eurocode 0 (2002): Basis of structural design, 2002
 Eurocode 1 Part 1-2 (1991): Actions on structures , General actions , Actions on structures exposed to fire, 1991
 Eurocode 2 Part 1-1 (2004): Design of Concrete Structures - General rules and rules for buildings
 Eurocode 2 Part 1-2 (2004): Design of concrete Structures - General rules - Structural fire design, 2004
 JCSS (2001): Probabilistic Model Code

NFSC (2001): Natural Fire Safety Concept ECSC Research 7215 , PA/PB/PC , 042/057, ProfilARBED-Recherches, Luxembourg; CTICM, France; LABEIN, Spain; TNO, Netherlands; SAES, Germany, 2001”
 Pettersoon, O., Magnuson, S.E., and Thor, J. (1976): Fire engineering design of structures, Swedish Institute of Steel Construction, Publication 90, 1976
 Tianjin University of Technology (2002), Performance-Based Design of Steel Structures in Fire, Tianjin University of Technology, 2002
 Usmani, A (2002): Introduction to Engineering Systems Reliability, Asif S. Usmani, The University of Edinburgh, 2002
 Usmani, A. S. / Rotter J. M. (2001), Fundamental Principles of Structural Behaviour under Thermal Effects, University of Edinburgh, 2001

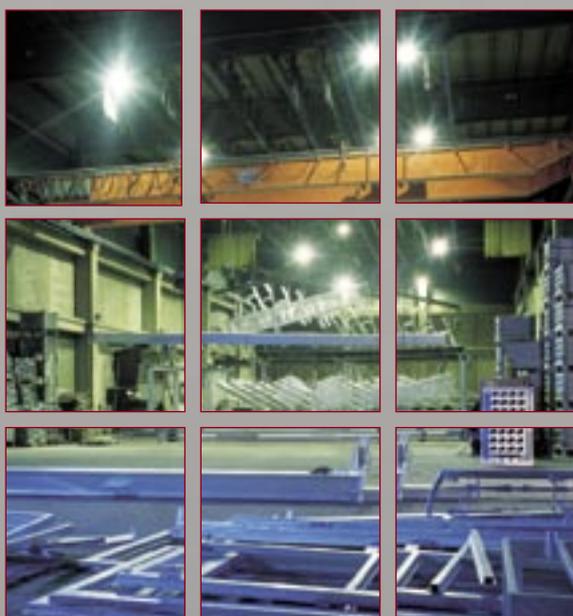
Bauartikel für mehr Sicherheit am Dach

Als Hersteller sicherheitsfördernder und werterhaltender Produkte rund ums Dach ist LEHMANN schon lange ein Begriff in der Branche. Der Anspruch: qualitativ hochwertige Produkte zu einem marktgerechten Preis. Dafür verarbeiten wir beste Vormaterialien bei konstant hohem Fertigungsstandard. Denn wir sind überzeugt, dass nur echte Spitzenqualität auf dem Markt bestehen wird.



Ebenfalls Top-Qualität

liefert unsere weit über die regionalen Grenzen hinaus bekannte **Feuerverzinkerei** - seit geraumer Zeit auch mit direkt anschließender **Beschichtung** - mit Beratung, Abhol-service und **Qualitätsverzinkung** nach DIN EN ISO 1461.



Feuerverzinken

plus Beschichtung auf höchstem Qualitätsniveau



LEHMANN

Otto Lehmann · GmbH Postfach 15 61 · 93070 Neutraubling
Telefon: 09401 786-0 · Telefax: 09401 786-47
Internet: www.otto-lehmann-gmbh.de · E-Mail: info@otto-lehmann-gmbh.de

THINK LOCAL, ACT GLOBAL – INTERNATIONALES MANAGEMENT IN THEORIE UND PRAXIS

In unserer globalisierten Wirtschaftswelt gewinnen die Themenbereiche internationales Management und interkulturelle Kommunikation stetig an Bedeutung – zahlreiche Bücher und Artikel sind hierzu in den letzten Jahren erschienen, vielfältige Aus- und Weiterbildungsangebote wurden für unterschiedliche Kundenkreise entwickelt, und gerade für Expatriates größerer Unternehmen gehören interkulturelle Kommunikationstrainings mittlerweile zum Standardprogramm. Auch scheinen manche Managementmethoden geradezu omnipräsent zu sein. Über viele Ländergrenzen hinweg und in unterschiedlichen Kulturen kommen beispielsweise die Just-in-Time-Methode (JIT) und das Total Quality Management (TQM) zur Anwendung.¹

Dennoch kommt es auf Managementebene immer wieder zu massiven interkulturellen Missverständnissen, die unter anderem bei internationalen Unternehmenszusammenschlüssen und -kooperationen zu kostspieligen Fehlentscheidungen oder -wicklungen führen. Ein gemeinsames Verständnis von strategischer und operativer Führung und Ausrichtung sowie von Organisation hat sich zum Beispiel bei BMW und Rover nie entwickelt. In diesem viel zitierten Fall wurde die Akquisition nach sechs Jahren schließlich für gescheitert erklärt.² Auch bleibt bei vielen Menschen ein generelles Unverständnis oder Unbehagen gegenüber Managementmethoden und -prinzipien, die in anderen Kulturkreisen entwickelt und dann als universell gültiges Prinzip übertragen werden. So stößt der in der angloamerikanischen Welt entwickelte Shareholder Value Gedanke in Deutschland immer wieder auf Skepsis oder Widerstand; die „Heuschrecken-Debatte“, die im Sommer 2005 über Wochen Talkshows und Titelseiten beherrschte, machte dies nur allzu deutlich.³

Im Folgenden sollen die engen Verbindungen und Wechselwirkungen zwischen kulturellem Kontext und Managementtheorie beziehungsweise -praxis aufgezeigt und anhand von ausgewählten Beispielen dargestellt werden. Anschließend wird untersucht, ob und inwieweit Methoden des Managements und der Betriebswirtschaft als universell geltend und somit als global übertragbar betrachtet werden können oder wo hier Grenzen beziehungsweise Barrieren bestehen. Dabei soll auch auf die praktischen Konsequenzen für das internationale Management eingegangen werden.

KULTUR UND MANAGEMENT – EINE DEFINITION DER GRUNDLEGENDEN BEGRIFFE

Der englische Verb „to manage“ hat eine Vielzahl unterschiedlicher Bedeutungen: die Bandbreite reicht von „führen, verwal-

ten, leiten“ über „bewerbstelligen, bewältigen, handhaben“ bis hin zu „ermöglichen“ und „es schaffen, durchkommen“.⁴ Entsprechend vielfältig und komplex sind auch die Aufgaben eines Managers: er (oder sie) soll führen und leiten, die anstehenden Aufgaben und Probleme anpacken und bewältigen und dadurch das Überleben des Unternehmens sichern. Nach Mintzberg umfasst das Rollenspektrum eines Managers zehn verschiedene Funktionen:⁵ die formale, zeremonielle Repräsentation, die Mitarbeiterführung, die Kontakt- und Beziehungspflege innerhalb und außerhalb der Organisation, die Beobachtung und Analyse des Umfelds, die Informationsverteilung innerhalb der Organisation, die Kommunikation der eigenen Standpunkte, die Bestandssicherung und die Weiterentwicklung der Organisation, die Störungs- und Konfliktregelung, die Zuordnung der Ressourcen und die Verhandlung von Vereinbarungen im Sinne der Organisation.⁶

Im deutschen Sprachraum wird synonym zum Begriff Management gerne ein breit angelegter Führungsbegriff verwendet, der auf eben dieses Rollenspektrum Bezug nimmt. Führung wird dann als die Gesamtheit aller Aktivitäten verstanden, die von Führungskräften einer Organisation erwartet und gefordert werden.⁷ Oftmals werden die komplexen Managementaufgaben auf funktional ausgerichtete Teilbereiche heruntergebrochen, die sich an den betriebswirtschaftlichen Funktionslehren⁸ orientieren. So spricht man unter anderem von Human Resource Management, Marketing Management oder Financial Management; diese Termi-

¹ Kennedy, C., Management Gurus, Wiesbaden, 1998, S. 60ff und S. 192ff.

² Siehe beispielsweise Kutschker, M. und Schmid, S., Internationales Management, München/Wien, 2002, S. 886f.

³ Lütge, G., Wer stoppt die Rendite-Jäger?, in: Die Zeit, Nr. 36 vom 1. September 2005, S. 30.

⁴ Messinger, H. und Rüdtenberg, W., Handwörterbuch Englisch, Berlin et al., 1977, S. 383.

⁵ Mintzberg, H., The Manager's Job: Folklore and Fact, Harvard Business Review, March – April 1990, Article Reprint 90210, S. 5ff.

⁶ Angesichts dieser sehr komplexen Funktionsbeschreibung nimmt es nicht Wunder, dass Henry Mintzberg weder Management als eine eindeutige Wissenschaft noch Manager als Berufsbezeichnung ansieht; vergleiche beispielsweise Mintzberg, H., 1990, S. 4 und 12.

⁷ Stumpf, S., Interkulturelles Führen und Managen, in: Thomas, A., Kinast, E.-U. und Schroll-Machl, S. (Hrsg.), Handbuch Interkulturelle Kommunikation und Kooperation, Band 1, Göttingen, 2003, S. 324.

⁸ Zur Gliederung der Betriebswirtschaftslehre nach betrieblichen Funktionen siehe beispielsweise Wöhe, G. und Döring, U., Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München, 2000, S. 20f.

nologie hat sich mittlerweile auch im deutschen Sprachraum etabliert. Die streng funktionale Trennung wird allerdings in der Managementliteratur immer wieder kritisiert.⁹

Mit der Beschreibung und Analyse von „Kultur“ setzen sich zahlreiche unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen auseinander. Infolgedessen ist die Zahl der Definitionen Legion; Kroeber und Kluckhohn haben schon im Jahre 1952 164 verschiedene gezählt.¹⁰ Für die vorliegende Arbeit soll der Ansatz von Kutschker und Schmid herangezogen werden, der im Hinblick auf die Anforderungen der Betriebswirtschafts- und Managementlehre als geeignet erscheint. Danach ist Kultur „die Gesamtheit der Grundannahmen, Werte, Normen, Einstellungen und Überzeugungen einer sozialen Einheit, die sich in einer Vielzahl von Verhaltensweisen und Artefakten ausdrückt und sich als Antwort auf die vielfältigen Anforderungen, die an diese soziale Einheit gestellt werden, im Laufe der Zeit herausgebildet hat.“¹¹

Kultur umfasst somit sowohl unsichtbare, immaterielle Elemente in der Concepta-Ebene als auch sichtbare, materielle Elemente in der Percepta-Ebene. Letztere ist erfahrbar und explizit, erstere ist implizit und normalerweise unbewusst. Anders angedrückt: Über die grundlegenden Werte, die unser Handeln bestimmen, denken wir im täglichen Leben nicht nach und wir hinterfragen sie auch nicht ständig. Wir akzeptieren sie vielmehr in den jeweiligen sozialen Einheiten als gegebene und sinnstiftende Orientierungs- und Ordnungsraster. Üblicherweise sind wir mit vielen verschiedenen sozialen Einheiten und damit auch unterschiedlichen Kulturen konfrontiert: von pannonischen, nationalen, regionalen und lokalen Kulturen über Geschlechter-, Alter- beziehungsweise Generationen- und sozialen Subkulturen¹² bis hin zu Professions-, Branchen- und Unternehmens- sowie Abteilungskulturen.¹³ In allen sozialen Einheiten wird Kultur überliefert und tradiert. Sie spiegelt also die Vergangenheit wieder und lässt sich deshalb oft mit einem Rückgriff auf die Geschichte erklären. Andererseits ist Kultur nicht statisch, sondern verändert sich im Laufe der Zeit, um sich wandelnden Anforderungen anzupassen. Umstritten ist allerdings, wie solche Veränderungsprozesse ablaufen.¹⁴ Die zahlreichen fehlgeschlagenen „Culture Change“ Programme im Managementbereich zeigen, dass Kulturveränderungen nur unter bestimmten Rahmenbedingungen möglich sind.¹⁵ Unter anderem muss bedacht werden, dass durch bereits vorhandene kulturelle Prägungen der Akzeptanz und dem „Erlernen“ einer veränderten Kultur gewisse Grenzen gesetzt sind und dass Menschen für derart komplexe Lernprozesse Zeit brauchen.¹⁶

Kulturen zeichnen sich durch Kulturstandards oder Kulturdimensionen aus. Dies sind die Orientierungsmuster und -merkmale einer Kultur, also die Arten des Wahrnehmens, Denkens, Wertens und Handelns, die von der Mehrzahl der Mitglieder dieser Kultur als normal, typisch und verbindlich betrachtet werden.¹⁷ Durch die Standards lassen sich Kulturen beschreiben und miteinander vergleichen, insbesondere im Hinblick auf kritische Interaktionssituationen, in denen die kulturellen Unterschiede besonders deutlich zu Tage treten.¹⁸ Grundsätzlich ist dies für alle oben genannten Kulturen möglich, allerdings liegt der Forschungsschwerpunkt in der Regel auf nationalen oder pannonischen Kulturen. Für diese haben verschiedene Autoren anhand theoretischer und empirischer Studien versucht, Kulturdimensionen zu identifizieren. Zu nennen sind hier vor allem die Ansätze von Kluckhohn und Strodtbeck, Hall, Thomas, Hofstede und Trompenaars.¹⁹ Obgleich Ausgangspunkte und Vorgehensweise der Autoren variieren, sind ihre Ergebnisse durchaus vergleichbar. Eine zentrale Rolle spielen die folgenden drei Bereiche: erstens die Beziehung der Menschen zur Umwelt beziehungsweise die Anpassung an das Umfeld, zweitens die Beziehung zu anderen Menschen beziehungsweise die

⁹ Eine sehr charmante, aber zugleich treffende Kritik sind die „functional caricatures“ bei Schneider, S. C. und Barsoux, J.-L., *Managing Across Cultures*, Harlow, 2003, S. 66.

¹⁰ Tayeb, M. H., *International Human Resource Management*, Oxford, 2005, S. 21.

¹¹ Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 658.

¹² Soziale Subkulturen lassen sich beispielsweise auf bestimmte Musikrichtungen, Sportarten oder andere Freizeitbeschäftigungen zurückführen.

¹³ Siehe hierzu Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 662ff sowie Schneider, S. C. und Barsoux, J.-L., 2003, S. 53ff.

¹⁴ Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 659.

¹⁵ Akademie für Führungskräfte der Wirtschaft, *Warum Veränderungsprojekte scheitern*, Überlingen, 1999, S. 3ff.

¹⁶ Akademie für Führungskräfte der Wirtschaft, 1999, S. 6 sowie Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 658ff.

¹⁷ Thomas, A., *Kultur und Kulturstandards*, in: Thomas, A., Kinast, E.-U. und Schroll-Machl, S. (Hrsg.), *Handbuch Interkulturelle Kommunikation und Kooperation*, Band 1, Göttingen, 2003, S. 25.

¹⁸ Thomas, A., 2003, S. 29.

¹⁹ Für eine Erläuterung dieser Ansätze siehe unter anderem Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 687ff.

Integration in die Gemeinschaft und drittens die Einstellungen zu Zeit, Raum und Kommunikation, die den Ablauf aller Prozesse maßgeblich prägen.²⁰

Hinsichtlich der Analyse von Unternehmenskulturen kommt vor allem die Organisationsforschung sowie die Kulturforschung der Managementlehre zum Tragen, die beispielsweise durch Autoren wie Schein, Deal und Kennedy, Peters and Waterman oder Rosenstiel vertreten wird.²¹ Geert Hofstede und Fons Trompenaars haben in ihren Arbeiten die Bereiche nationale Kultur und Organisationskultur eng miteinander verbunden und nehmen deshalb in der betriebswirtschaftlichen Literatur eine Sonderstellung ein.²²

INTERNATIONALES MANAGEMENT: THINK GLOBAL?

In der Literatur wird schon seit längerem die Frage diskutiert, wie sehr das (internationale) Management von kulturellen Einflüssen geprägt wird. Die Kulturisten gehen dabei von der Culture-Bound-These aus und argumentieren, dass Managementkonzepte und -techniken unweigerlich kulturabhängig sind. Die Universalisten vertreten hingegen die Meinung, Management sei „culture-free“, Managementtheorie und -praxis damit unabhängig von kulturspezifischen Einflüssen. Dies wird insbesondere für die „harten“ Elemente der Management- und Betriebswirtschaftslehre postuliert, also beispielsweise für die Investition und Finanzierung, die Produktion und Logistik oder das strategische und operative Controlling.²³

Nun scheint es auf den ersten Blick tatsächlich so, dass Management in Zeiten einer globalisierten Wirtschaft als globale Disziplin betrachtet werden kann:

Die Aus- und Weiterbildung ist stark durch den US-amerikanischen „Master of Business Administration“, den MBA, geprägt, der unabhängig vom nationalen Bildungsumfeld Anerkennung und Wertschätzung genießt und deshalb in Europa und Asien genauso angeboten und beworben wird wie in den USA.²⁴ Das didaktische Vorgehen wird dabei an den US-amerikanischen Vorbildern orientiert – zumindest soweit möglich beziehungsweise akzeptiert. Denn vergleicht man die Konzepte, Strukturen und Prozesse der verschiedenen MBA-Angebote genauer, entdeckt man doch erhebliche Unterschiede, unter anderem hinsichtlich der Auswahl und Betreuung der Studierenden, der Förderung und Integration von Projekt- und Teamarbeit sowie der Beurteilung von Studierenden beziehungsweise Evaluierung der Dozenten. Schließlich ist nahezu jedes²⁵ MBA-Angebot in die historisch gewachsene nationale Hochschul- und Bildungslandschaft

eingebunden und erfährt somit automatisch eine spezifische kulturelle Prägung. Eine vollständige Angleichung erscheint deshalb kaum möglich. Fraglich ist auch, ob sie wünschenswert wäre – denn Vielfältigkeit bedeutet normalerweise Bereicherung.

Die renommierten US-amerikanischen Business Schools üben freilich großen Einfluss auf die Lehrinhalte der Managementausbildung aus: Bei den sogenannten „weichen“ Elementen der Managementlehre, wie „strategy“, „leadership / governance“, „organizational behavior“ oder „human resources management“, sind sie traditionell führend, auch weil die „soft facts“ hier schon lange als wissenschaftlich seriöser Teilbereich der Betriebswirtschaft angesehen sind und entsprechende Aufmerksamkeit genießen.²⁶ So nimmt es nicht wunder, dass die meisten und die meistgelesenen Publikationen in diesen Bereichen aus dem US-amerikanischen Raum kommen und einige Autoren sogar zu „Management-Gurus“ werden – auch außerhalb des eigenen Landes.²⁷ Die USA werden deshalb nicht zu Unrecht gerne als der „größte Exporteur von Managementkonzepten“²⁸ bezeichnet.

Allerdings zeigt sich an vielen Beispielen, dass diese Managementkonzepte außerhalb der USA zwar zunächst wohlwollend, manchmal vielleicht sogar begeistert aufgenommen, dann aber doch sehr schnell abgewandelt und der eigenen kulturellen Prägung angepasst werden. Beispielhaft soll hier das Konzept des Shareholder Value und des 360-Grad-Feedbacks dargestellt werden:

²⁰ Eine ausführliche Darstellung der Gemeinsamkeiten findet sich bei Schneider, S. C. und Barsoux, J.-L., 2003, S. 34f.

²¹ Für eine Erläuterung dieser Ansätze siehe unter anderem Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 670ff.

²² Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 715ff und S. 724ff.

²³ Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 770f

²⁴ Ein Überblick über verschiedene MBA-Programme findet sich beispielsweise bei Giesen, B. und Balster, E., Das MBA-Studium, Köln, 2005 und Bickenstaffe, G., Which MBA?, Harlow, 2003.

²⁵ Ausnahmen bestätigen hier die Regel: In einigen Ländern finden sich Angebote von ausländischen Hochschulen oder privaten Anbietern, die mehr oder weniger unabhängig vom nationalen Ausbildungssystem sind. Der MBA, den die Fachhochschule Kempten und das Internationale Hochschulinstitut Lindau im Iran anbieten, ist hierfür ein Beispiel. Vergleiche dazu die Website www.mba-in-lindau.de.

²⁶ Schneider, S. C. und Barsoux, J.-L., 2003, S. 86.

²⁷ Kennedy, C., 1998, S. 10f.

²⁸ Kutschker, M. und Schmid, S., 2002, S. 772.

Der Ausgangspunkt des Shareholder Value Ansatzes bildet die grundsätzliche Überzeugung, dass „the primary responsibility of management is to maximize the shareholder's total return via dividends and increases in the market price of the company's shares“.²⁹ Das Unternehmen ist also allein und ausschließlich gegenüber seinen Eigentümern verantwortlich: Unternehmensziel ist die Steigerung des Wertes ihrer Beteiligungen.³⁰ Konsequenterweise werden die Eigenkapitalgeber die uneingeschränkte Kompetenz zur Unternehmensführung beanspruchen beziehungsweise durch ein entsprechendes Anreizsystem dafür sorgen, dass die Geschäftsführung allein in ihrem Interesse und in ihrem Sinne handeln wird.³¹ Im deutschsprachigen Raum hat dieser Ansatz der marktwertorientierten Unternehmensführung in vielen Führungsetagen, insbesondere bei großen Unternehmen, Anklang gefunden – legendär bleiben die Bekenntnisse zum Shareholder Value Prinzip von Jürgen Schrempf in seiner Funktion als Vorstand von DaimlerChrysler.

Von einer breiten Akzeptanz des Ansatzes in der Öffentlichkeit, bei Mitarbeitern und Arbeitnehmervertretern sowie im unteren und mittleren Management kann in Deutschland wie auch in anderen Ländern Kontinentaleuropas allerdings nicht die Rede sein – von verschiedenen Seiten wird betont, dass die Unternehmenspolitik nicht allein an den Interessen der Anteilseigner ausgerichtet sein darf, sondern auch die Interessen anderer Gruppen sowie soziale und ökologische Aspekte berücksichtigen sollte. Das Unternehmen wird also als sozioökonomisches System mit verschiedenen Anspruchsgruppen, auch Stakeholder genannt, angesehen, die alle ihren Beitrag leisten und deshalb sowohl an der Unternehmensführung als auch am Unternehmenserfolg partizipieren sollen.³² In Deutschland hat dieser Stakeholder Value Ansatz eine lange Tradition, die sich sowohl in der starken Rolle der (Haus-) Banken, vor allem beim überwiegend fremdkapitalfinanzierten Mittelstand,³³ als auch in der formalisierten arbeitsrechtlichen und unternehmerischen Mitbestimmung der Arbeitnehmer sowie in den zahlreichen Regelungen zur Stärkung der Arbeitnehmerrechte³⁴ manifestiert. Diese Charakteristika der deutschen Wirtschaft lassen sich kulturtheoretisch auf die Kulturstandards „internalisierte Kontrolle auf der Basis von Konsens“ sowie „Regelorientierung“ und „Unsicherheits- beziehungsweise Risikovermeidung“³⁵ zurückführen; konsequenterweise sehen weite Teile der Bevölkerung keine Veranlassung, hier grundlegende Änderungen vorzunehmen.

Angesichts dieser Ausgangslage ist es nicht verwunderlich, dass in vielen deutschen Unternehmen, die sich zum Shareholder Value Prinzip bekennen, dessen Umsetzung

im Tagesgeschäft auf der Strecke bleibt. So wird offiziell zwar auch die Personalpolitik am Shareholder Value Gedanken und damit am Leistungsgedanken ausgerichtet, sprich leistungsstarke Mitarbeiter sollen gezielt gefördert und dauerhaft leistungsschwache ebenso gezielt entlassen werden, in der Praxis dominiert jedoch nur allzu oft ein eher pragmatisches Vorgehen: Tatsächlich entlassen werden häufig diejenigen, bei denen weder rechtliche noch moralische Gründe entgegenstehen. Das kann dann auch einmal ein sehr vielversprechender junger Mitarbeiter sein, der sich aber noch in der Probezeit befindet und als Single keine drückenden familiären Verpflichtungen hat.³⁶ Üblicherweise wird in solchen Fällen von einem sozialverträglichen Personalabbau gesprochen.³⁷ Dass ein solches Vorgehen einer marktwertorientierten Unternehmensführung zuwiderläuft, ist offensichtlich. Angesichts der oben genannten deutschen Kulturstandards ist ein derartiges Verhalten freilich verständlich und nachvollziehbar.

Ähnlich verhält es sich mit dem 360-Grad-Feedback: Bei dieser Methode der Personalbeurteilung und -entwicklung werden Führungskräfte nicht nur von ihren Vorgesetzten, sondern darüber hinaus von ihren Mitarbeitern, von Kollegen auf gleicher Ebene sowie internen Kunden und Lieferanten beurteilt. Durch diese „Rundum-Beurteilung“ durch das gesamte

²⁹ Rappaport, A., *Creating Shareholder Value*, New York, 1997, S. 1.

³⁰ Waibl, E., *Praktische Wirtschaftsethik*, Innsbruck, 2001, S. 21.

³¹ Wöhe, G. und Döring, U., 2000, S. 97.

³² Vergleiche hierzu die zusammenfassende Wertung bei Wöhe, G. und Döring, U., 2000, S. 98f.

³³ Fear, J., *Banking on Germany?*, Harvard Business School, Case No. 9-703-028, 2003, S. 4f.

³⁴ Wöhe, G. und Döring, U., 2000, S. 112ff.

³⁵ Thomas, A., 2003, S. 26 und Schroll-Machl, S., *Doing Business with Germans*, Göttingen, 2003, S. 68ff und S. 91ff sowie Hofstede, G., *Cultures and Organizations*, New York, 1997, S. 113.

³⁶ Der Autorin liegen verschiedene Beispiele vor, die aus Gründen des Datenschutzes jedoch nicht genannt werden sollen. Besonders traurig (oder gar tragisch) ist, dass gleichzeitig wenig erfolgreiche Führungskräfte oftmals nicht sofort entlassen, sondern für eine gewisse Zeit innerhalb der Organisation auf die berüchtigten „Elefantenfriedhöfe“ verschoben werden, in der Regel bei gleichbleibendem Grundgehalt.

³⁷ So auch hinsichtlich des derzeitigen Personalabbaus bei den Siemens Geschäftsbereichen Com und SBS. Vergleiche hierzu: Ohne Verfasser, *Siemens einigt sich mit der IG Metall*, *Süddeutsche Zeitung*, Nr. 219 vom 22. September 2005, S. 19.

Umfeld soll der Führungskraft eine umfassende Rückmeldung darüber gegeben werden, wie andere ihn oder sie in den verschiedenen Rollen³⁸ sehen. Dies soll einerseits der Führungskraft ermöglichen, Fremd- und Selbstbild miteinander zu vergleichen und gegebenenfalls eigenständig Verhaltensänderung einleiten zu können, andererseits lassen sich für die Personalpolitik und -entwicklung wichtige Erkenntnisse über Defizite und Potentiale der Führungskraft gewinnen.

Die Ursprünge der „Full Circle Methode“ liegen in den USA, und dort wird sie seit den 80er Jahren auch bei vielen Unternehmen eingesetzt.³⁹ Eine solche Art der Beurteilung ist in den Vereinigten Staaten freilich nicht auf Unternehmen beschränkt, sondern findet auch in vielen anderen Lebensbereichen Anwendung: Sie hat beispielweise an US-amerikanischen Hochschulen als „peer evaluation“ der Studierenden untereinander sowie als „student evaluation“ des Lehrpersonals durch die Studierenden eine lange Tradition. So wissen alle Studierenden, dass bei Teamarbeiten ihre Endnote auch von der Beurteilung durch die anderen Gruppenmitglieder abhängt und dass deren Beurteilung sich am Engagement und an der erbrachten Leistung für das Team orientiert. Für Dozenten und Professoren ist es eine Selbstverständlichkeit, dass die Beurteilung der Lehre durch die Studierenden ein entscheidender Faktor für das Ansehen innerhalb der Fakultät, das Fortkommen an der Hochschule und letztlich auch die Bezahlung ist. Mehrere oder gar dauerhaft unterdurchschnittliche Bewertungen führen zwangsläufig zum Karriereknick, außergewöhnlich gute werden als Auszeichnung betrachtet und stolz kommuniziert, beispielsweise in Lebensläufen und Bewerbungen.⁴⁰ Die allgemeine Akzeptanz solcher Beurteilungsmethoden lässt sich auf die US-amerikanischen Kulturstandards „Streben nach sozialer Anerkennung“, „Wettbewerbsdenken“ und „Egalitarismus“⁴¹ zurückführen, die auch das ausgeprägte Bedürfnis nach Partizipation, die Ablehnung von autoritären Befehlen und Bevormundung sowie die informelle und ungezwungene Umgangsweise erklären. Die 360-Grad-Beurteilungen sind hierfür eine passende Management- und Führungstechnik. In Deutschland ist die Ausgangslage etwas anders: Auf Basis der Kulturstandards „Sachorientierung“, „Regelorientierung und internalisierte Kontrolle“ sowie „interpersonale Distanz-differenzierung“⁴² wird zunächst davon ausgegangen, dass jeder die an ihn herangetragenen Rollenerwartungen professionell zu erfüllen sucht und die Kommunikation in stark formalisierten und formalen Bahnen erfolgt. Dies bedeutet in den meisten Organisationen, dass streng „von oben nach unten“ beurteilt wird, und zwar auf möglichst sachliche und objektive Art und Weise.⁴³ Das Feedback soll sich darauf

konzentrieren, ob beziehungsweise inwieweit der Mitarbeiter die zugeteilten Aufgaben erfolgreich bewältigt hat, wobei rein subjektive Einschätzungen und Äußerungen über die Person und ihre Persönlichkeitsmerkmale außen vor bleiben sollen. Ein 360-Grad-Feedback bezieht jedoch auch diese Aspekte mit ein und stößt deshalb häufig auf erbitterten Widerstand, sowohl bei Feedbacknehmern und Feedbackgebern. Erstere wollen sich nicht von „unten nach oben“ oder von gleichgestellten Kollegen bewerten und möglicherweise kritisieren lassen müssen. Sie sprechen diesen Feedbackgebern die Kompetenz ab, ihre Leistung zu bewerten und fürchten Angriffe auf ihre Person. Letztere sorgen sich, offen ihre Meinung über die Führungskraft zu sagen und später dafür möglicherweise „bestraft“ zu werden. Die Hemmschwelle bleibt selbst dann hoch, wenn die Bewertung völlig anonym vorgenommen wird.⁴⁴ Alle Beteiligten haben letztlich Angst vor der Rundum-Bewertung und scheuen deshalb lieber davor zurück als die Methode auszuprobieren⁴⁵ – somit wird dann auch wieder dem deutschen Kulturstandard der Unsicherheitsvermeidung⁴⁶ Rechnung getragen.

An den Beispielen des Shareholder Value Prinzips und der 360-Grad-Beurteilung wird deutlich, dass sich Managementkonzepte und -techniken nur dann durchsetzen und realisieren lassen, wenn sie zu der nationalen oder regionalen Kultur passen. In Managementtheorie und -praxis ist deshalb von der Culture-Bound-These der Kulturisten auszugehen. Dies wird auch durch empirische Untersuchungen

³⁸ Hierunter können die oben erläuterten zehn Rollen nach Mintzberg verstanden werden.

³⁹ Prewitt, E., Should You Use 360° Feedback for Performance Reviews?, Harvard Management Update, February 1999, Article Reprint U9902C, S. 3.

⁴⁰ Als Studentin an der Illinois State University und als Dozentin an der Business School der University of Colorado habe ich diese Beurteilungen aus verschiedenen Perspektiven kennen gelernt und auch erlebt, wie ernst die Bewertungen genommen werden.

⁴¹ Stahl, G., Langeloh, C. und Köhlmann, T., Geschäftlich in den USA, Wien, 1999, S. 145ff, S. 58ff und S. 119ff.

⁴² Schroll-Machl, S., 2003, S. 46ff, S. 92ff und S. 135ff.

⁴³ Schroll-Machl, S., 2003, S. 150f.

⁴⁴ Hildebrandt-Woewinkel, S., Wie findet ihr mich?, Süddeutsche Zeitung, Nr. 209 vom 10./11. September 2005, S. V1/15.

⁴⁵ Diese Erfahrung musste ich selbst bei zwei großen deutschen Unternehmen machen.

⁴⁶ Hofstede, G., 1997, S. 113f.

belegt. So hat Kanter für die Harvard Business Review bei einer Befragung von 11.678 Führungskräften in 25 Ländern herausgefunden, dass „the idea of a corporate global village where a common culture of management unifies the practice of business around the world is more dream than reality“.⁴⁷ Oder wie Takeo Fujisawa, Cofounder der Honda Motor Company, es ausdrückt: „Japanese and American management practices ... differ in all important aspects.“⁴⁸ Führen und Managen bleibt also immer eingebettet in die nationalen beziehungsweise regionalen kulturellen Kontexte, und vor Generalisierungen und vorschnellen Übertragungen von Managementmodellen ist zu warnen.⁴⁹

INTERNATIONALE BETRIEBSWIRTSCHAFT: THINK GLOBAL?

Tatsächlich trifft die Culture-Bound-These nicht nur auf die „weichen“ Elemente der Managementlehre zu, sie bestätigt sich auch bei „harten“ Elementen der Betriebswirtschaftslehre. Hierfür sollen im Folgenden zwei Beispiele erläutert werden, zum einen die Finanzierung nach westlichen und islamischen Maßstäben, zum anderen die Rechnungslegung in Deutschland und den USA:

„Islamic Finance“, also die Finanzierung⁵⁰ im Einklang mit dem islamischen Recht,⁵¹ ist durch das Verbot des ribâ,⁵² also des Zinses, gekennzeichnet.⁵³ Damit unterscheidet sich Islamic Finance klar von unserer westlichen Finanzierungspraxis: Fremdkapitalfinanzierungen sind generell nicht erlaubt, um die Schuldner vor Wucher und Ausbeutung zu schützen. Stattdessen ist der Grundgedanke einer Finanzierung nach islamischen Verständnis stets die Gewinn- und Verlustbeteiligung: Für mittel- bis langfristige Finanzierung wird häufig die mus-hâraka (auch mosharaka) gewählt: Ähnlich einer Private Equity Transaktion wird das Kapital in Form von Eigenkapital zur Verfügung gestellt, und der Kapitalgeber erhält hierfür einen prozentual festgelegten Anteil am Gewinn. Seine Haftung ist auf die Einlage beschränkt. Weitreichende Kontrollrechte sind üblich, eine Mitsprache bei der Geschäftsführung ist selten, aber möglich. Somit soll sichergestellt werden, dass jeder Investor Risiko zu tragen hat und über die erwirtschaftete Rendite gerecht am Erfolg des Projekts beteiligt werden kann.⁵⁴

Für kurzfristige Finanzierungen ist die murâbaha (auch morabaha) üblich. Dabei werden zwei Kaufverträge miteinander verbunden: Ein Zwischenhändler, in der Regel eine Bank, kauft die Ware vom Verkäufer und verkauft sie mit einem offengelegten Aufschlag an den Käufer weiter. Dabei wird der Kaufpreis des ersten Kaufvertrags sofort fällig, der des zweiten

Kaufvertrags wird gestundet. So wird die Funktion einer kurzfristigen Finanzierung erfüllt.⁵⁵ Dieses Konstrukt wird in der westlichen Welt häufig als eine pure Umgehung des Zinsverbots betrachtet und als solche scharf kritisiert. Dabei wird jedoch übersehen, dass die beiden Kaufverträge nach islamischem Rechtsverständnis nicht miteinander verbunden werden dürfen, und die Bank das Risiko übernehmen muss, die Ware nicht weiterverkaufen zu können. In der Praxis wird jedoch oftmals versucht, dieses Risiko durch entsprechende Vertragsgestaltungen, insbesondere durch Vertragsstrafen, zu verringern.⁵⁶ Eine ähnliche Problematik ergibt sich bei der istisnâ, die üblicherweise zur Projekt- und Anlagenfinanzierung genutzt wird und auf zwei hintereinander geschalteten Werkverträgen basiert. So schließt der Besteller mit einer Bank einen Vertrag über die Errichtung einer bestimmten Anlage. Dabei wird die Bezahlung gestundet, oftmals bis zur Inbetriebnahme der Anlage. Die Bank wiederum schließt einen Vertrag mit dem Unter-

⁴⁷ Kanter, R. M., *Transcending Business Boundaries: 12,000 Managers View Change*, Harvard Business Review, May-June 1991, Article Reprint 91308, S. 4.

⁴⁸ Schneider, S. C. und Barsoux, J.-L., 2003, S. 81.

⁴⁹ Stumpf, S., 2003, S. 325 und S. 331.

⁵⁰ Im folgenden soll jeweils die Finanzierungs- und nicht die Investitionsseite betrachtet werden. Für Letztere gilt das Gesagte aber entsprechend.

⁵¹ Anzumerken ist, dass die Finanzierung in islamischen Ländern nicht immer und ausschließlich nach islamischen Recht erfolgt. Komplett islamisiert ist das Bankwesen nur im Iran, in Pakistan und im Sudan. In allen anderen Ländern finden sich auch Institute, die nach westlichem Muster arbeiten. Vergleiche dazu Qureshi, F. A. und Millet, M. M., *Introduction to Islamic Finance*, Harvard Business School, Note No. 9-200-002, 2000, S. 3.

⁵² Ribâ bedeutet wörtlich Mehrung, Zunahme, Überschuss, wird aber im Koran nicht genau definiert. Islamische Juristen verstehen darunter den Austausch nicht äquivalenter Leistungen und leiten daraus das Verbot des Zinses ab. Vergleiche Kalisch, M., *Islamische Wirtschaftsethik*, in: Nutzinger, H. G. (Hrsg.), *Christliche, jüdische und islamische Wirtschaftsethik*, Marburg, 2003, S. 112.

⁵³ Im Koran findet sich das Verbot des ribâ in Sure 2, Verse 279 und 280. Siehe auch Kalisch, M., 2003, S. 112f.

⁵⁴ Wegen, G. und Wichard, J. C., *Islamische Bankgeschäfte*, in: RIW, Heft 10, 1995, S. 828 und Qureshi, F. A. und Millet, M. M., 2000, S. 2.

⁵⁵ Wegen, G. und Wichard J. C., 1995, S. 828 und Qureshi, F. A. und Millet, M. M., 2000, S. 2.

⁵⁶ Wegen, G. und Wichard J. C., 1995, S. 828.

nehmen, das das Projekt durchführt, und vereinbart frühere Zahlungen, die sich beispielsweise am Baufortschritt orientieren.⁵⁷ Die Bank übernimmt somit wiederum unternehmerisches Risiko (und zwar häufig in beträchtlichem Maße) und wird hierfür entsprechend entlohnt. Damit ist auch bei der istisnā das oben genannte Grundprinzip der Risikoteilung erfüllt.

Betrachtet man Islamic Finance vor dem Hintergrund kultureller Gesichtspunkte fallen folgende Zusammenhänge auf: Islamische Länder zeichnen sich in der Regel durch eine kollektivistische Kultur aus,⁵⁸ die sich im Geschäftsleben durch die hohe Bedeutung einer intensiven, vertrauensvollen persönlichen Beziehung der involvierten Partner manifestiert.⁵⁹ Eine solche Beziehung entsteht durch als gerecht empfundene Reziprozität, also durch ständiges Geben und Nehmen, sowie durch das stete Bewahren des Gesichts und des Ehrgefühls.⁶⁰ Die islamischen Finanzierungstechniken ruhen auf diesen Prinzipien und lassen sich nur auf dieser Basis wertschätzen. Betrachtet man sie losgelöst vom kulturellen Kontext oder (noch schlimmer) mit unserer westlichen „Kulturbrille“, kann man ihnen nicht gerecht werden. Vielmehr wird man sie dann schnell als eine umständliche oder gar „unehrliche“ Umgehung des Zinsverbots bewerten. Eine solche Einschätzung wäre freilich fatal für ein interkulturelles Verstehen der betriebswirtschaftlichen Finanzierungspraktiken.

Kulturelle Unterschiede prägen auch die Rechnungslegung, ein weiteres „hartes“ Element der Betriebswirtschaftslehre. Rechnungslegungssysteme und -konzeptionen waren jahrzehntelang ein nationales Thema; ihre jeweiligen Grundsätze, Prinzipien und Vorschriften sind als eine länderspezifische Antwort auf länderspezifische Bedürfnisse zu verstehen.⁶¹ Deutlich wird dies, wenn man einige Charakteristika der deutschen Rechnungslegung mit der US-amerikanischen vergleicht. Vor dem Hintergrund der vorherrschenden Kapitalmarktfinanzierung stellt die US-amerikanische Rechnungslegung nach den US-GAAP⁶² die Eigentümer der Unternehmen in den Mittelpunkt. Den aktuellen und potentiellen Investoren sollen entscheidungsrelevante Informationen und eine wahrheitsgemäße Darstellung („fair presentation“) der Vermögens- und Ertragslage der Unternehmen vermittelt werden.⁶³ Auch das „statement of owners' equity“, das als Teil der Jahresabschlusses die Entwicklung der Eigenkapitalpositionen über mehrere Jahre hinweg und somit die Veränderung des Wertes der Eigentümeransprüche zeigt, macht die herausgehobene Rolle der Shareholder und die Orientierung am Shareholder Value Prinzip deutlich.⁶⁴ Grundidee der Rechnungslegung und Managementprinzip sind damit im Einklang.

In Deutschland finden wir dagegen eine ganz andere Sichtweise: Nachdem sich deutsche Unternehmen traditionell vor allem durch die Aufnahme von Fremdkapital finanzieren,⁶⁵ steht bei den deutschen Rechnungslegungsvorschriften der Gläubigerschutz im Vordergrund. Konsequenterweise zielt die Rechnungslegung weniger auf die „fair presentation“ des Unternehmens ab als auf das Vorsichtsprinzip mit seinem eher pessimistischen Bilanzansatz, der das Vermögen niedrig und die Schulden hoch bewertet⁶⁶ und somit dem deutschen Kulturstandard der Unsicherheitsvermeidung⁶⁷ Rechnung trägt. Dass sich diese gläubigerorientierte Betrachtungsweise im Rechnungswesen mit dem Managementansatz des Shareholder Value nur schwer in Einklang bringen lässt, ist offensichtlich.

Auch eine Umstellung des Rechnungswesens auf die US-GAAP⁶⁸ oder die International Accounting Standards (IAS), die stark an den US-amerikanischen Normen orientiert sind, aber als anerkannte internationale Standards in vielen Ländern angewendet werden,⁶⁹ ist nicht unproblematisch. Denn in der deutschen Rechnungslegung spiegelt sich der deutsche Kulturstandard der Regelorientierung⁷⁰ und die kontinental-europäische Tradition des kodifizierten Rechts wieder. Die Normen der Rechnungslegung sind gesetzlich festgeschrie-

⁵⁷ Qureshi, F. A. und Millet, M. M., 2000, S. 2.

⁵⁸ Hofstede, 1997, S. 53.

⁵⁹ Gesteland, R. R., *Global Business Behaviour*, Zürich, 1999, S. 181ff.

⁶⁰ Zaherinezhad, E., *Interkulturelle Kommunikation zwischen Europäern und Arabern*, Diplomarbeit an der Fachhochschule Regensburg, 2001, S. 49ff.

⁶¹ Haller, A., *Wesentliche Ziele und Merkmale US-amerikanischer Rechnungslegung*, in: Ballwieser, W. (Hrsg.), *US-amerikanische Rechnungslegung*, Stuttgart, 1998, S. 4.

⁶² *United States Generally Accepted Accounting Principles*.

⁶³ Haller, A., 1997, S. 13.

⁶⁴ Haller, A., 1997, S. 19.

⁶⁵ Vergleiche beispielsweise Fear, 2003, S. 20 und S. 26.

⁶⁶ Wöhe, G. und Döring, U., 2000, S. 898f.

⁶⁷ Hofstede, G., 1997, S. 113f.

⁶⁸ Deutsche Unternehmen, die an einer US-amerikanischen Börse gelistet werden möchten, müssen auf US-GAAP umstellen; eine andere Art der Rechnungslegung wird der US-amerikanischen Börsenaufsicht nicht akzeptiert. Siehe dazu Fröschle, G., Kroner, M. und Rolf, E., *Internationale Rechnungslegung: US-GAAP, HGB und IAS*, Bonn, 1999, S. 6.

⁶⁹ Ausführlich zu den International Accounting Standards IAS siehe unter anderem Wöhe, G. und Döring, U., 2000, S. 1009f.

⁷⁰ Thomas, A., 2003, S. 26.

ben, wobei das Handelsgesetzbuch (HGB) mit seinen allgemeinen und ergänzenden Rechnungslegungsvorschriften von besonderer Bedeutung ist.⁷¹ Der Gesetzgeber möchte hiermit einen systematischen Rahmen setzen, der auch auf andere Bereiche ausstrahlt, durch den Maßgeblichkeitsgrundsatz zum Beispiel auf die Bemessung der Ertragssteuern.⁷² Die US-GAAP hingegen werden vom Financial Accounting Standards Board (FASB), einem privatrechtlichen Rechnungslegungsgremium, erlassen und von der Securities and Exchange Commission (SEC), der Börsenaufsichtsbehörde, genehmigt. Alleiniges Ziel ist dabei, die Funktionsfähigkeit und Effizienz des Kapitalmarktes zu erhalten und die Aktionäre zu schützen.⁷³ Eine Ausstrahlung auf andere Bereiche, beispielsweise die Ertragsbesteuerung, ist nicht vorgesehen. Konsequenterweise sind auch nur börslich notierte Unternehmen zur Offenlegung und Prüfung ihrer Jahresabschlüsse nach US-GAAP verpflichtet.⁷⁴ Eine systematische Ausdehnung der Vorschriften auf alle Unternehmen würde zwei wichtigen US-amerikanischen Traditionen widersprechen: zum einen der des „common law“, das als Gewohnheitsrecht nur zum geringen Teil kodifiziert ist, zum anderen dem ur-amerikanischen Prinzip, den Einflussbereich des Staates möglichst klein zu halten und staatliche Eingriffe in die individuelle Handlungsfreiheit nur in begründeten Fällen zuzulassen.⁷⁵

Diese kulturelle Basis ist für viele Deutsche freilich nur schwer zu verstehen. Insofern ist es wenig verwunderlich, dass viele deutsche Betriebswirte und Experten mit leisem Kopfschütteln auf die strenge Kapitalmarktorientierung mitsamt der Trennung von Handels- und Steuerbilanz reagieren. Nachzuvollziehen sind auch das Befremden und die Sorge darüber, dass die US-amerikanischen Vorschriften nicht per Gesetz, sondern allein durch normensetzende Institutionen festgelegt und somit (möglicherweise) auch einmal etwas schneller geändert werden können.⁷⁶

THINK LOCAL, IF YOU ACT GLOBAL...

Die Beispiele haben gezeigt, dass Management- und Betriebswirtschaftslehre nicht „culture free“ sind. Vielmehr prägen die nationalen und regionalen Kulturen das Verständnis und die Ausgestaltung von Management, Führung und den meisten betriebswirtschaftlichen Funktionen in ganz entscheidender Weise. Insofern kann es auch nicht nur „die eine“ Interpretation und Definition geben. Vielmehr kommen in den verschiedenen Kulturen unterschiedliche Ideen, Konzepte und Techniken zur Anwendung, die gleichberechtigt nebeneinander stehen und jeweils in ihrem kulturellen Kontext betrachtet oder gewürdigt werden sollten. Dies gilt auch in Zeiten der Globalisierung: Die Konvergenzthese, die von

einer Angleichung der Kulturen ausgeht, bestätigt sich nur in Teilbereichen, nicht aber bei einer Gesamtbetrachtung der Management- und Betriebswirtschaftslehre.⁷⁷

Dies bedingt zweierlei: Der Betrachter muss sich zum einen seines eigenen kulturellen Hintergrunds bewusst sein und diesen kritisch reflektieren können, zum anderen muss er die fremdkulturellen Werte und Normen kennen und sie als Rahmenbedingungen akzeptieren.⁷⁸ So ist beispielsweise eine unvoreingenommene Würdigung des Islamic Banking nur möglich, wenn dies nicht nach den typischen Bewertungsmaßstäben der westlichen beziehungsweise deutschen Kultur geschieht. Auch eine bloße Übertragung von Managementkonzepten schlägt fehl, wenn dabei notwendige Anpassungen an die kulturellen Einflussfaktoren nicht vorgenommen werden. Dies gilt selbst dann, wenn es sich um eine hochgelobte Managementmethode einer renommierten Business School oder eines hochbezahlten „Management Gurus“⁷⁹ handelt – denn auch diese ist in einen kulturellen Kontext eingebettet. Ebenso sind internationale Fusionen und Übernahmen zum Scheitern verurteilt, wenn der stärkere Partner seine Ideen und Konzepte ohne Rücksicht auf die kulturellen Prägungen des schwächeren durchzusetzen sucht.⁸⁰

Angesichts dieser Aussagen stellt sich die Frage, wie weit kulturelle Toleranz und Akzeptanz im internationalen Management und in der internationalen Betriebswirtschaft

⁷¹ Wöhe, G. und Döring, U., 2000, S. 899ff.

⁷² Wöhe, G. und Döring, U., 2000, S. 1009.

⁷³ Haller, A., 1997, S. 6.

⁷⁴ Fröschle, G., Kroner, M. und Rolf, E., 1999, S.4

⁷⁵ Haller, A., 1997, S. 4f und Stahl, G., Langeloh, C. und Kühlmann, T., 1999, S. 48f.

⁷⁶ Siehe hierzu beispielsweise Schildbach, T., Der Konzernabschluss nach HGB, IAS und US-GAAP, München, 2001, S. 442.

⁷⁷ Eine ausführliche Erörterung der Konvergenzthese findet sich bei Schneider, S. C. und Barsoux, J.-L., 2003, S. 3ff.

⁷⁸ Thomas, A., Das Eigene, das Fremde, das Interkulturelle, in: Thomas, A., Kinast, E.-U. und Schroll-Machl, S. (Hrsg.), Handbuch Interkulturelle Kommunikation und Kooperation, Band 1, Göttingen, 2003 (2003a), S. 49ff.

⁷⁹ Carol Kennedy spricht dann von einem Management-Guru, wenn dessen „Rezepte als Schlüssel zum Erfolg in der Praxis gekauft werden“. (Kennedy, C., 1998, S. 10)

⁸⁰ Koch, V., Successful Cross Border M&As – Cultural and Human Integration, Diplomarbeit an der Fachhochschule Regensburg, 2004, S. 76 und Thomas, A., 2003a, S. 57.

gehen sollte. Anders formuliert: Können zwei voneinander abweichende Interpretationen oder Ansätze wie zum Beispiel Shareholder und Stakeholder Value gleichermaßen richtig und gültig sein? Und welchen Standpunkt beziehungsweise welche Standpunkte soll oder muss der internationale Manager bei seinen Tätigkeiten in verschiedenen Ländern oder Regionen einnehmen und vertreten? Im Prinzip handelt es sich hierbei um Fragen des ethischen Relativismus und damit um ein zentrales Problem der (Wirtschafts-)Ethik, für das es keine allgemeingültige Lösung gibt.⁸¹ Denn aus der Konfrontation unterschiedlicher Kulturen und damit Moralvorstellungen entsteht automatisch eine Wertekollision, die nicht eindeutig aufzulösen ist.⁸² Statt dessen kann nur die Empfehlung gegeben werden, Toleranz und Akzeptanz nicht gleichzusetzen mit Gleichgültigkeit oder einer „anything goes“-Philosophie, die eigene Überzeugungen und eigene Traditionen völlig preisgibt.⁸³ Vielmehr sollten im Sinne eines eingeschränkten Relativismus sowohl der eigenen als auch der fremdkulturellen Hintergrund kritisch beleuchtet werden, um zu prüfen, ob und inwieweit Managementkonzepte und -methoden übertragen werden können. Dabei ist freilich auch zu fragen, wie einerseits Konzepte beziehungsweise Methoden angepasst werden sollten, um erfolgreich angewendet werden zu können, und ob andererseits hierfür die eigene Kultur verändert werden muss. Eine Veränderung der eigenen (Wirtschafts-) Kultur wird freilich nur dann akzeptiert werden, wenn dies als notwendige oder positive Weiterentwicklung der kulturellen Identität empfunden wird.

Das eingangs erwähnte Qualitätsmanagement ist ein hervorragendes Beispiel dafür, wie erfolgreich eine Idee oder ein Konzept sein kann, wenn es auf diese Weise „internationalisiert“ oder gar „globalisiert“ wird.⁸⁴ Der US-Amerikaner Joseph M. Juran, Autor des „Quality Control Handbook“⁸⁵ und einer der „Väter“ des Qualitätsmanagements, beschreibt die begeisterte Übernahme und Adaption der Qualitätsphilosophie in Japan so:⁸⁶ „The Japanese were no strangers to the concept of quality in manufacturing ... The shock of losing the war had opened their minds to the need for

change so they were willing to listen to Western experts ... I suggested that they try to find ways to institutionalize programs within their companies that would yield continuous quality improvements. That is exactly what they did. Around these programs, the Japanese build a quality revolution ... In 1966 – incredible as it seemed in the West – the Japanese were headed for world quality leadership.“ Durch die fruchtbare Synthese von kulturellem Hintergrund, gewollter Kulturveränderung und neuer Managementmethode konnte in Japan also ein Wettbewerbsvorteil entwickelt werden, von dem einige japanische Unternehmen noch heute profitieren – und den sie in den 80er und 90er Jahren sehr erfolgreich als Managementtechnik „Made in Japan“ in die westliche Welt „rück-exportiert“ haben.

LITERATURVERZEICHNIS

- Akademie für Führungskräfte der Wirtschaft, Warum Veränderungsprojekte scheitern, 1999
- Bickenstaffe, G., Which MBA?, Harlow, 2003
- Fear, J., Banking on Germany?, Harvard Business School, Case No. 9-703-028, 2003
- Fröschle, G., Kroner, M. und Rolf, E., Internationale Rechnungslegung: US-GAAP, HGB und IAS, Bonn, 1999
- Gesteland, R. R., Global Business Behaviour, Zürich, 1999
- Giesen, B. und Balster, E., Das MBA-Studium, Köln, 2005
- Haller, A., Wesentliche Ziele und Merkmale US-amerikanischer Rechnungslegung, in: Ballwieser, W. (Hrsg.), US-amerikanische Rechnungslegung, Stuttgart, 1998, S. 1 - 27
- Hildebrandt-WoECKel, S., Wie findet ihr mich?, Süddeutsche Zeitung, Nr. 209 vom 10./11. September 2005, S. V1/15
- Hofstede, G., Cultures and Organizations, New York, 1997
- Juran, J. M., Quality Control Handbook, New York, 1951
- Juran, J.M., Made in U.S.A.: A Renaissance in Quality, in: Harvard Business Review, July - August 1993, Article Reprint 93404
- Kalisch, M., Islamische Wirtschaftsethik, in: Nutzinger, H. G. (Hrsg.), Christliche, jüdische und islamische Wirtschaftsethik, Marburg, 2003, S. 105 - 129
- Kanter, R. M., Transcending Business Boundaries: 12,000 Managers View Change, Harvard Business Review, May-June 1991, Article Reprint 91308
- Kaptein, M. und Wempe, J., The Balanced Company, Oxford, 2002
- Kennedy, C., Management Gurus, Wiesbaden, 1998
- Koch, V., Successful Cross Border M&As - Cultural and Human Integration, Diplomarbeit an der Fachhochschule Regensburg, 2004

⁸¹ Waibl, E., 2001, S. 109.

⁸² Kaptein, M. und Wempe, J., The Balanced Company, Oxford, 2002, S. 43.

⁸³ Waibl, E., 2001, S. 113.

⁸⁴ Kennedy, C., 1998, S. 60ff und 103ff.

⁸⁵ Juran, J. M., Quality Control Handbook, New York, 1951.

⁸⁶ Alle Zitate aus: Juran, J.M., Made in U.S.A.: A Renaissance in Quality, in: Harvard Business Review, July - August 1993, Article Reprint 93404.

Prof. Dr. Claudia Woerz-Hackenberg

Tel.: 0941 943-1396

Fax 0941 943-1425

claudia.woerz@bwl.fh-regensburg.de

25

- Kutschker, M. und Schmid., Internationales Management, München/Wien, 2002
- Lütge, G., Wer stoppt die Rendite-Jäger?, in: Die Zeit, Nr. 36 vom 1. September 2005, S. 30
- Messinger, H. und Rüdtenberg, W., Handwörterbuch Englisch, Berlin et al., 1977
- Mintzberg, H., The Manager's Job: Folklore and Fact, Harvard Business Review, March - April 1990, Article Reprint 90210
- Ohne Verfasser, Siemens einigt sich mit der IG Metall, Süddeutsche Zeitung, Nr. 219 vom 22. September 2005, S. 19
- Prewitt, E., Should You Use 360° Feedback for Performance Reviews?, Harvard Management Update, February 1999, Article Reprint U9902C
- Schneider, S. C. und Barsoux, J.-L., Managing Across Cultures, Harlow, 2003
- Stahl, G., Langeloh, C. und Kühlmann, T., Geschäftlich in den USA, Wien, 1999
- Stumpf, S., Interkulturelles Führen und Managen, in: Thomas, A., Kinast, E.-U., Schroll-Machl, S. (Hrsg.), Handbuch Interkulturelle Kommunikation und Kooperation, Band 1, Göttingen, 2003, S. S. 324 - 339
- Qureshi, F. A. und Millet, M. M., Introduction to Islamic Finance, Harvard Business School, Note No. 9-200-002, 2000
- Rappaport, A., Creating Shareholder Value, New York, 1997
- Schildbach, T., Der Konzernabschluss nach HGB, IAS und US-GAAP, München, 2001
- Schroll-Machl, S., Doing Business with Germans, Göttingen, 2003
- Tayeb, M. H., International Human Resource Management, Oxford, 2005
- Thomas, A., Kultur und Kulturstandards, in: Thomas, A., Kinast, E.-U. und Schroll-Machl, S. (Hrsg.), Handbuch Interkulturelle Kommunikation und Kooperation, Band 1, Göttingen, 2003, S. 19 - 31
- Thomas, A., Das Eigene, das Fremde, das Interkulturelle, in: Thomas, A., Kinast, E.-U. und Schroll-Machl, S. (Hrsg.), Handbuch Interkulturelle Kommunikation und Kooperation, Band 1, Göttingen, 2003 (2003a), S. 44 - 59
- Waibl, E., Praktische Wirtschaftsethik, Innsbruck, 2001
- Wegen, G. und Wichard, J. C., Islamische Bankgeschäfte, in: RIW, Heft 10, 1995, S. 826 - 830
- Wöhe, G., und Döring, U., Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München, 2000
- Zaherinezhad, E., Interkulturelle Kommunikation zwischen Europäern und Arabern, Diplomarbeit an der Fachhochschule Regensburg, 2001

RENATE HARTWIG, HANSJÖRG HASER, ALEXANDER HEINRICH,
ULRIKE OELLERS (EHEMALIGE STUDIERENDE EBS)
BETREUENDE HOCHSCHULEHRERIN: PROF. DR. CLAUDIA WOERZ-HACKENBERG

ESSAY: „BANKING DER ZUKUNFT – DIE ENTWICKLUNG DES RETAILBANKING IM SPANNUNGSFELD VON KUNDENWÜNSCHEN UND RENTABILITÄTSANFORDERUNGEN“

Die deutsche Bankenlandschaft befindet sich in einem Prozess tief greifender Veränderungen. Die Besonderheiten des Bankensystems Deutschlands (u.a. 3-Säulen-Modell, hohe Bankstellendichte) und die dadurch zumindest teilweise hervorgerufene geringe Profitabilität deutscher Banken im internationalen Vergleich, der Markteintritt neuer Wettbewerber (z.B. Non- und Nearbanks, ausländische Kreditinstitute) und der Wandel des Bankenmarkts vom Verkäufer- zum Käufermarkt (u.a. bessere Informiertheit der Kunden, leichteres Wechseln der Bank) stellen die im Retailbanking tätigen Institute vor große Herausforderungen. Dennoch gibt es verschiedene Beispiele dafür, dass Retailbanking auch in Deutschland erfolgreich und damit profitabel betrieben werden kann. Für die Mehrheit der deutschen Kreditinstitute sind hierzu jedoch eine grundsätzliche Neuorientierung und strategische Neuausrichtung erforderlich, die sämtliche Unternehmensbereiche umfassen müssen.

Für ein erfolgreiches Bestehen im Wettbewerb muss sich ein Kreditinstitut durch innovative Produkte, die den aktuellen Kundenbedürfnissen gerecht werden, von den Mitbewerbern abheben und gleichzeitig aber durch striktes Kostenmanagement und schlanke Prozesse für ausreichende Profitabilität sorgen. Um dies zu erreichen, sind eine Reihe von Maßnahmen erforderlich, die nachfolgend näher erläutert werden.

Zur Steigerung von Effizienz und Produktivität im Bereich der Leistungserstellung müssen die Banken bei gleich bleibender Servicequalität ihre Fertigungstiefe durch Spezialisierung und Konzentration auf Kernkompetenzen erheblich verringern. Dies kann beispielsweise durch das Outsourcing von Geschäftsprozessen erreicht werden. Im Zuge des Aufbrechens der Wertschöpfungskette entstehen dabei in zunehmendem Masse Spezialisten für Produktion, Transaktion und Vertrieb, sei es durch Spezialisierung ganzer Banken oder durch Ausgliederung einzelner Geschäftsbereiche. Im Rahmen der Produktion sind Effizienzverbesserungen darüber hinaus durch die Implementierung einer Komponentenfertigung und durch das Eingehen von Kooperationen vorstellbar.

Im Vertriebsbereich muss ein integriertes System verschiedener Vertriebskanäle im Sinne eines Multi-Channel-Vertriebs realisiert werden. Aufgrund der unverändert großen Bedeutung von Vertrauen und direkter Ansprache bei Finanzdienstleistungen kommt der flächendeckenden Präsenz in Form eines Filialnetzes nach wie vor eine hervorgehobene Bedeutung zu, es muss ein Standortmuster gepflegt werden.

Darüber hinaus sollten neben den Vertriebskanälen Internet-, Telefon- und Mobile Banking auch mobile Kundenberater eingesetzt werden.

Im Sinne einer kostenoptimalen Gestaltung des Filialnetzes ist jedoch eine Differenzierung nach kundenorientierten Bedarfsebenen erforderlich. In Ballungsräumen werden Kompetenzcenter geschaffen, während das Angebot in der Fläche auf Standardleistungen zu beschränken ist. Die Verringerung der Wertschöpfungstiefe sowie die Optimierung und Zentralisierung administrativer Prozesse und Zentralbereiche ermöglicht darüber hinaus eine Reduzierung der erforderlichen Geschäftsfläche.

Insbesondere in den Kompetenzcentern müssen Kundenidentifikation und -bindung, Besuchshäufigkeit und Verweildauer erhöht werden. Im Sinne eines „One-stop-Shop“ sollte über bloße Bankdienstleistungen hinaus ein Zusatznutzen für den Kunden geschaffen werden. Denkbar sind Leistungen aus dem Finanzbereich (z.B. Fördergeldberatung, Bausparen und Versicherungen) im Sinne einer Allfinanzstrategie, aber auch flankierende, frequenzbringende Convenience-Angebote (z.B. Coffee Shop).

Weitere Möglichkeiten der Kostenoptimierung im Vertriebsbereich bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung bzw. Schaffung einer flächendeckenden Präsenz stellen die Konzepte des Banksupermarkts sowie des Franchising dar. Beim Banksupermarkt teilen sich mehrere Banken ein Filialnetz zum Angebot von Standarddienstleistungen, während für eine umfangreiche Beratung weiterhin bankindividuelle Filialen zuständig sind. Beim Franchising-Konzept liegt der Hauptvorteil in der motivierenden Wirkung von Selbständigkeit und erfolgsabhängigem Einkommen des Franchisenehmers und damit einer besseren Serviceorientierung und größerem Umsatz.

Der Vertrieb über mobile Kundenberater bietet insbesondere die Möglichkeit, den verminderten Kundenkontakt als Folge des Vormarsches von Internet- und Telefonbanking zu kompensieren. Ein wesentlicher Vorteil für den Kunden liegt dabei in der Verfügbarkeit auch außerhalb der üblichen Filialöffnungszeiten. Aus Sicht der Bank ist der mobile Berater ein Instrument zur Kundenbindung und insbesondere auch zur Realisierung von Cross-Selling-Potentialen. Schließlich lässt im Telekommunikationsbereich insbesondere das „Mobile Banking“ – Bankdienstleistungen über das Mobiltelefon – erhebliche Zuwachsraten und damit Bedeutungsgewinn als Vertriebsmittel erwarten.

Prof. Dr. Claudia Woerz-Hackenberg
Tel.: 0941 943-1396
Fax 0941 943-1425
claudia.woerz@bwl.fh-regensburg.de

Weiterer wesentlicher Bestimmungsfaktor für erfolgreiches Retailbanking ist ein integriertes Customer Relationship Management (CRM), d.h. Aufbau und Unterhaltung profitabler Kundenbeziehungen durch ganzheitliche und differenzierte Marketing-, Vertriebs- und Service-Konzepte. Da mit steigender Dauer der Kundenbeziehung der Gewinn zunimmt und die Akquise neuer Kunden mit erheblichem Aufwand verbunden ist, kommt der Kundenbindung im Rahmen eines CRM besondere Bedeutung zu. Ein effizientes Beschwerdemanagement und die Organisation von Kundenclubs differenziert nach Kundensegmenten sind dabei als Instrumente der Kundenbindung zu nennen.

Beispiele innovativer Produkte für das Retailbanking in Deutschland sind beispielsweise ein automatisiertes Cash Management sowie spezielle Produkte für die Bedürfnisse der unter 25-Jährigen. Bei einem automatisierten Cash-Management erfolgt in Abhängigkeit von der Über- bzw. Unterschreitung festgelegter Schwellenwerte eine automatische Umbuchung zwischen dem Girokonto und den Sparkonten eines Kunden mit dem Ziel der Maximierung seiner Zinserträge. Im Zusammenhang mit dem Segment der unter 25-Jährigen geht es insbesondere darum, Studenten und damit potentielle Besserverdienende durch attraktive Produkte frühzeitig an die Bank zu binden. Als Benchmark kann hier die britische Bank NatWest genannt werden, die beispielsweise Karriere-Coaching und die Unterstützung bei der Wohnungssuche als zusätzliche Leistungen anbietet.

Auch der Kundenselektion zur Identifizierung mittel- und langfristig profitabler Kunden, bestehend aus den Schritten Kundensegmentierung und Kundenbewertung, kommt im Rahmen des CRM besondere Bedeutung zu. Vor allem Informationen wie das Transaktionsvolumen eines Kunden, seine Bankverbindungen sowie soziodemographische Kriterien (z.B. Alter, Einkommen) sind erforderlich, um auf die Rentabilität des Kunden zu schließen sowie Cross- und Up-Selling Potentiale zu erschließen. Zum Zweck der Kundengewinnung wirkt ein CRM unterstützend für die klassischen Marketinginstrumente.

Abschließend kann festgestellt werden, dass durch eine Reihe von Maßnahmen im Rahmen eines integrierten, sämtliche Unternehmensbereiche erfassenden Umstrukturierungskonzeptes die Transformation deutscher Kreditinstitutes zu erfolgreichen Retailbanking-Anbietern möglich ist, die sowohl Kundenwünschen gerecht werden als auch Rentabilitätsanforderungen erfüllen.

Dem Essay liegt ein 50-seitiger Fachartikel zugrunde. Der Beitrag wurde in gekürzter Form in „Wulf von Schimmelmann und Günter Franke (Hrsg.), Retailbanking, Frankfurter Allgemeine Buch, 2005“ veröffentlicht. Der Abdruck erfolgt mit Genehmigung.

EVALUATIONSSTUDIE: DER BEITRAG VON UNTERNEHMENSPLANSPIELSEMINAREN ZUR FÖRDERUNG DER GRÜNDUNGSKOMPETENZEN UND -MOTIVATION BEI STUDIERENDEN

1 AUSGANGSPUNKT

Ein neues Unternehmen erfolgreich auf den Weg zu bringen ist eine sehr komplexe Aufgabe und verlangt von den Gründern eine große Bandbreite an Kompetenzen und Wissen: vom fachlich-methodischem Wissen über soziale Kompetenz bis hin zu einer ausgeprägten unternehmerischen Handlungskompetenz.

Gründungsplanspiele bzw. Gründungsplanspielseminare sind mittlerweile ein sehr beliebtes Instrument in der Gründungsausbildung. Ihnen wird im Vergleich zu den traditionellen Lehrmethoden zugeschrieben, ein ganzes Bündel dieser gründungsrelevanten Fähigkeiten und Kompetenzen zu fördern (Auchter 2001; Klandt 1998). Indes fehlen bisher in Deutschland methodisch anspruchsvolle Evaluationsstudien, die die den Gründungsplanspielseminaren zugeschriebenen Eigenschaften empirisch absichern. Hier setzt die diesem Beitrag zugrunde liegende Arbeit an.

Grundlage der Evaluation sind die Gründungsplanspiele der TOPSIM-Startup! Reihe der Firma TertiaEdusoft, die charakteristische Gründungsepisoden in verschiedenen Branchen simulieren.

Die Evaluation basiert auf den Ergebnissen der Durchführung von Planspielseminaren im Rahmen des BMBF Förderprogramms EXIST-Transfer in der Förderregion GROW. Sie umfasst in Ostbayern sechs Hochschulen, in denen, neben anderen Maßnahmen, Gründungsplanspielseminare auf der Basis der Simulation TOPSIM-Startup durchgeführt wurden (grow.org). Die Fachhochschule Regensburg leitete diesen Projektteil und führte im Wesentlichen die Seminare vor Ort durch. Die Studie wurde in Kooperation mit Dr. Kriz, Professor am Department Management and Research Methods, Fachhochschule Vorarlberg, Österreich, durchgeführt.

2 ZIELE DER UNTERSUCHUNG

Mit dem Evaluationsvorhaben soll abgeklärt werden, inwieweit das Planspiel bzw. die Planspielseminare den Anspruch einlösen können, einen Beitrag zur Gründungsausbildung zu leisten. Es ist der Frage nachzugehen: Ist das Planspiel ein effizientes Instrument zur Vermittlung von Gründungskompetenzen und -orientierung?

Daraus lassen sich u.a. folgende Evaluationsaspekte ableiten:

- Inwieweit führt die Planspielerfahrung z.B. zu einer Veränderung von gründungsrelevanten Kompetenzen in Abhängigkeit vom Seminartyp, Studiengang, Studienfortschritt, etc.?

- Inwieweit führt die Planspielerfahrung zu einer Veränderung der Gründungsmotivation?
- Welche Seminarkonzepte u. -konfigurationen sind besonders geeignet, Gründungskompetenzen u. -orientierungen zu verbessern?
- Welche Zielgruppen haben das höchste Qualifizierungspotential?
- Wie hoch ist die Akzeptanz der Planspielmethode?

3 THEORETISCHER HINTERGRUND/ EVALUATIONSKONZEPT

In der Gründungsforschung ist in den letzten Jahren das unternehmerische Verhalten als Erfolgsfaktor intensiv diskutiert worden (z.B. Frank, Korunka & Lueger, 2002). Verbreitet ist die Auffassung, dass unternehmerische Aktivitäten u.a. auf spezifische Kompetenz- und Motivationsbündel zurückzuführen sind, die wiederum von Persönlichkeitsmerkmalen beeinflusst werden (Gemünden, 2003). Basierend auf diesen Erkenntnissen werden folgende Kompetenz- u. Orientierungsmuster im Zusammenhang mit den Planspielseminaren untersucht: Fach- u. Methodenkompetenz; soziale Kompetenz, unternehmerische Kompetenz, unternehmerische Grunddisposition, sowie Gründungsneigung u. -motivation.

Traditionell sind die meisten Ansätze der Planspielevaluation summativ, dh. in erster Linie outputorientiert. Sie konzentrieren sich darauf, die Wirkungen der Teilnahme am Planspiel und dabei primär den Lernerfolg festzustellen (Faria, 2001).

Jedoch ist diese traditionelle Herangehensweise als zu eng anzusehen, da rein output-orientierte Evaluationen nicht ausreichend in der Lage sind aufzuklären, warum und wie es zu den erzielten Lernergebnissen einer Maßnahme kommt (Hense 2004).

Um diesem Anliegen gerecht zu werden, wurde daher hier der Ansatz der sog. „theoriebasierten Evaluation“ zur Anwendung gebracht (Chen, 1990). Stärke des theoriebasierten Ansatzes ist seine Prämisse, dass die Evaluation von Lernumgebungen, wie z. B. auch dem Planspiel, von einem „logischen Modell“ ausgehen sollte. Ein solches logisches Modell besteht aus verschiedenen Variablen, die den drei Komponenten: Vorbedingungen (input), Prozess (actions) und Wirkungen (output bzw. outcome) der Maßnahme zugeordnet werden können und eine Analyse der gegenseitigen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen der Variablen ermöglichen. Damit liefert ein logisches Modell einen Rahmen für die Interpretation dessen, was im Planspiel geschieht. Darüber hinaus wird erwartet, dass Lerneffekte nicht nur aufgezeigt werden können, sondern dass auch jene

Elemente identifiziert werden, die für ihr Zustandekommen oder ihr Ausbleiben verantwortlich sind. So können wichtige Ansatzpunkte für Verbesserungen des Planspiels gewonnen werden.

Die Darstellung im Anhang zeigt das logische Modell der Evaluation des Gründungsplanspiels „Startup!“.

4 METHODE

4.1 Erhebungsinstrumente

Bei der Erstellung des Evaluationskonzeptes und des logischen Modells wurde auf einige Erkenntnisse anderer Forschungsprojekte zurückgegriffen, wie die Evaluation eines Planspiels an Wirtschaftsschulen („Simgame“) in sechs europäischen Nationen (Kriz & Hense, 2004) und einer ersten, rein output-orientierten Teilevaluation der Gründungsplanspielseminare an fünf Hochschulen (Auchter & Keding, 2004). Befragt wurden dabei rund 130 Studierende. Zusätzlich wurden alle im logischen Modell dargestellten Faktoren operationalisiert, gemessen und aufgrund der abgeleiteten theoriebasierten Hypothesen in ihrem Zusammenwirken analysiert. Es wurden insgesamt drei Fragebögen zur Messung und Erhebung der Input-, Prozess- und Outcomevariablen konstruiert. Die selbst entwickelten und teilweise auch aus der Gründungsforschung in modifizierter Fassung entnommenen Fragebogenitems sind dabei vorwiegend in Form von Aussagen konzipiert.

4.2 Ablauf der Studie

Die Daten der Studie wurde im Sommersemester 2004 und im Wintersemester 2004/05 gewonnen. An 5 Fachhochschulen nahmen insgesamt 606 Personen an der Untersuchung teil. Es wurden dazu insgesamt 31 Planspielseminare durchgeführt. Befragt wurden die Teilnehmer zu Beginn, während und nach dem Seminar.

5 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

5.1 Gesamtstichprobe

Die Teilnehmer zeigten bei der der Befragung vor dem Planspielseminar ein hohes Gründungsinteresse, aber auch einen großen Mangel an Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten, eine Gründung durchzuführen.

Die Ergebnisse bezüglich der Gründungsneigung und Gründungskompetenzeinschätzung nach dem Planspielseminar allerdings ergeben folgendes Bild: Das Interesse an einer Unternehmensgründung (über die gesamte Stichprobe) nahm signifikant ab. Das Gefühl, auf die Problematiken der

Unternehmensgründung vorbereitet zu sein nahm signifikant zu. Die virtuelle Gründungserfahrung hat bei den Teilnehmern einen differenzierteren Eindruck hinsichtlich der Herausforderungen einer Unternehmensgründung hinterlassen.

Zur Veränderung der Fach- u. Methodenkompetenz: Hinsichtlich des BWL-Wissens und der Qualität der Businessplanerstellung ergab sich eine signifikante, deutliche Verbesserung von durchschnittlich etwa einem Notengrad. Auch die Selbsteinschätzung bzgl. des Fach- u. Methodenkompetenzzuwachses war hoch.

Festgestellt werden konnten auch signifikante Verbesserung der sozialen Kompetenz (wie Teamorientierung, Konfliktlösungsverhalten, Feedbackorientierung etc.) sowie die Fähigkeit, eigene Stärken und Schwächen zu erkennen.

Die Akzeptanz des Planspiels ist positiv zu werten: Nur 12,7% der Teilnehmer mochten nach Startup keine weiteren Planspiele mehr im Studium durchführen.

5.2 Ausgewählte Analysen von Teilstichproben:

Geschlecht

Frauen hatten im Vergleich zu Männern:

- eine signifikant stärkere Abnahme des Gründungsinteresses (bei Männern blieb es gleich, die Abnahme in der Gesamtstichprobe ist somit insbesondere auf die Frauen zurückzuführen)
- ein signifikant besseres BWL-Wissen vor und nach dem Planspiel sowie eine bessere Qualität von Businessplänen vor und nach dem Planspiel. Aber: die Verbesserung ist bei den Männern beim BWL-Wissen signifikant stärker
- eine geringere Gründerneigung als bei den Männern
- eine geringere Risikoneigung
- eine stärkere Überforderung im Planspiel
- eine geringere Übernahme einer Führungsrolle im Planspiel
- eine geringere Motivation und Rollenübernahme

Studienabschnitt (Grund- vs. Hauptstudium)

Studierende im Grundstudium hatten im Vergleich zu den Befragten im Hauptstudium:

- eine signifikant stärkere Zunahme des Interesses an einer Unternehmensgründung (das Interesse der Hauptstudiumsstudenten nahm im Gegensatz hierzu sogar ab),
- einen signifikant stärkeren Zuwachs an Zutrauen in eine Gründung und fühlten sich besser vorbereitet auf eine Gründung
- schlechteres BWL-Wissen; die Qualität des Businessplans war sowohl vor als auch nach dem Planspiel schlechter, sie profitierten aber etwas stärker, d.h. zeigten eine signifikant stärkere Verbesserung des Wissens als die Hauptstudiumsstudenten,

- eine positivere Voreinstellung zum Planspiel und eine höhere Akzeptanz des Planspiels,
- deutlich höhere Mittelwerte bei der Skala „Motivation und Roletaking“.

Studienfach (Technik vs. Wirtschaft)

Studenten der Technik zeigten im Vergleich mit den Wirtschaftsstudenten:

- eine signifikant stärkere Zunahme des Zutrauens bzgl. einer Unternehmensgründung,
- einen signifikant stärkeren Zuwachs auf der Skala Gründerneigung. Die signifikant stärkere Gründerneigung der Wirtschaftsstudenten vor dem Planspiel im Vergleich mit den Technikstudenten lässt sich nach dem Planspiel nicht mehr nachweisen,
- erwartungsgemäß sowohl vor als auch nach dem Planspiel schlechtere BWL-Kenntnisse und auch eine schlechter Qualität der Businesspläne. Allerdings profitieren die Technikstudenten signifikant mehr, d.h. bei ihnen ist die Verbesserung signifikant stärker ausgeprägt,
- eine signifikant höhere Akzeptanz des Planspiels im Hauptstudium, wobei die weitaus höhere Akzeptanz der Wirtschaftsstudenten im Grundstudium im Hauptstudium unter das Niveau der Techniker fiel.

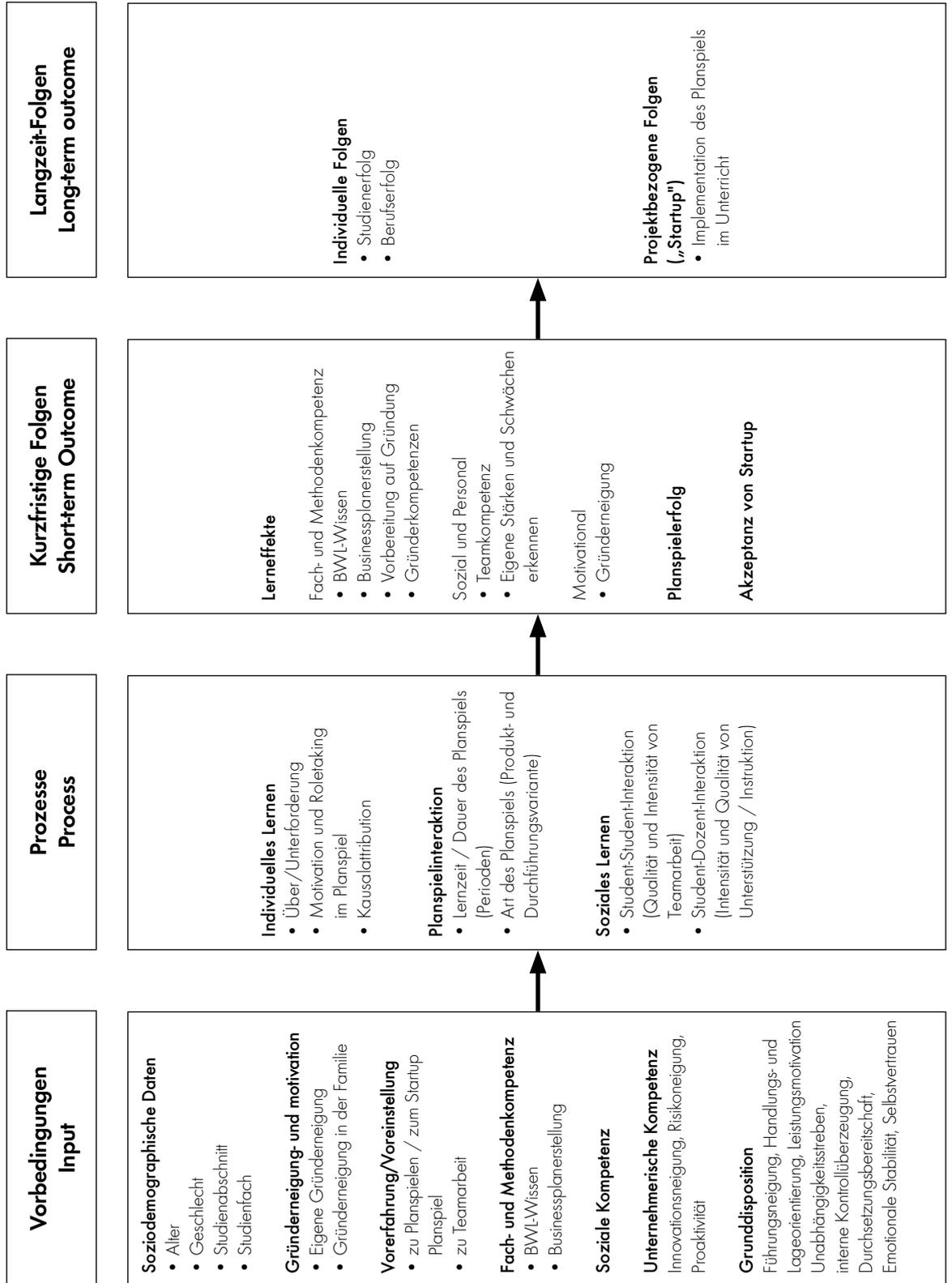
Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch die Planspiel-seminare ein signifikanter Zuwachs an Fach- und Methodenkenntnissen und sozialer Kompetenz bei den Teilnehmern zu verzeichnen ist. Allerdings zeigt die Analyse der Teilstichproben, dass die positiven Wirkungen der Planspiel-seminare sehr stark von dem Zusammentreffen bestimmter Inputvariablen (wie z.B. Studienrichtung, -abschnitt) und Prozessvariablen (wie Planspielart, Durchführungsart) abhängig sind.

LITERATUR

- Auchter, E., (2001) Die Vermittlung von Gründungskompetenzen durch Unternehmensplanspiele, in: Die Neue Hochschule, 12, Heft 6
- Auchter, E. & Keding, M., (2004) The Benefits of Simulations in Entrepreneurship Education: Presentation of a Start-Up in: Simulation Approach and First Evaluation Results. W.C. Kriz, Th. Eberle, (Hrsg.), Bridging the Gap: Transforming Knowledge into Action through Gaming & Simulation. München, S. 385-394
- Chen, H. T., & Rossi, P. H., (1983) Evaluating with sense. The theory-driven approach, in: Evaluation Review, 7, S. 283-302
- Faria, A. J., (2001) The changing nature of business simulation/gaming research: A brief history, in: Simulation & Gaming, 32, S. 97-110.
- Frank, H., Korunka, Ch., Lueger, M.,(2002) Entrepreneurial Spirit, Unternehmerische Orientierung und Gründungsneigung von Studierenden, Wien.
- Gemünden H.-G.,(2003) Personale Einflussfaktoren von Unternehmensgründungen, in: Achleitner, A.-K., Klandt, H., Koch, L.T., Voigt, K.-I., Jahrbuch Entrepreneurship 2003/04, Berlin, S.93-120
- Hense, J., (2004) Theory-oriented evaluation of gaming simulations - the case of Simgame, in: W.C. Kriz, & Th. Eberle, (Eds.), Bridging the Gap: Transforming Knowledge into Action through Gaming & Simulation München: Sagsaga, S.339-351
- Klandt, H.,(1998) Entrepreneurship spielend lernen, in: Faltin, G., Ripsas, S., Zimmer J., Entrepreneurship, München, S.197-216
- Kriz, W.C. & Hense, J., (2004) Evaluation of the EU-Project "Simgame" in business education, in: W.C. Kriz, & Th. Eberle. Bridging the Gap: Transforming Knowledge into Action through Gaming & Simulation, München, S. 352-363
- Kriz, W.C., Hense, J.,. (2005). Evaluation und Qualitätssicherung von Planspielen, in: U. Blötz & Bundesinstitut für Berufsbildung, BIBB Bonn (Hrsg.), Planspiele in der beruflichen Bildung (Hauptartikel im Fachbuch; 4. erweiterte Auflage), Bielefeld

Prof. Dr. Eberhard Aucher
 Tel.: 0941 943-1397
 Fax 0941 943-1425
 eberhard.aucher@bwl.fh-regensburg.de

Logisches Modell zur Evaluation von Startup





Innovationen für Menschen

www.siemens.de/medical



M-20164-2-8

Proven Outcomes. Sichtbare Ergebnisse in der Bildgebung. Innovative Verfahren in der bildgebenden Diagnostik ermöglichen häufig ein schnelleres und genaueres therapeutisches Vorgehen. Dabei wird der Patient möglichst wenig belastet und der gesamte Therapieverlauf effizient gestaltet. So können möglichst viele Menschen am medizinischen Fortschritt partizipieren.

Siemens Medical Solutions ist weltweit einer der größten Anbieter im Gesundheitswesen, beschäftigt rund 31.000 Mitarbeiter und ist in 120 Ländern präsent.

Wir freuen uns auf Ihre Online-Bewerbung:
www.siemens.de/career

Ansprechpartner: Johann Völkl, Tel. 0 96 42/18-264

Siemens **Medical Solutions** that help

SIEMENS
medical

VERSCHLÜSSELUNG LEICHT GEMACHT

Digitale Datenübertragung ist heute aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Moderne Kommunikationssysteme erleichtern die Arbeit und machen diese ungleich effektiver. Mit den immer flexibler und leistungsfähiger werdenden modernen Kommunikationssystemen und deren intensiver werdender Einsatz steigen jedoch auch die damit verbundenen Risiken. Datenverschlüsselung kann helfen diese Risiken zu minimieren.

Ein nicht zu unterschätzendes Risiko moderner Kommunikation stellt das Abhören oder gar Manipulieren übertragener Daten dar. Bei ungeschützten Datenübertragungssystemen stellt es oftmals keine große technische Herausforderung dar, die übermittelten Nachrichten mitzuhören. So können sensible Daten, wie beispielsweise personenbezogene Daten, Passwörter oder andere sicherheitsrelevante Daten in falsche Hände gelangen, wodurch erheblicher Schaden angerichtet werden kann.

Es ist deshalb oft sinnvoll die Kommunikation entsprechend abzusichern. Eine Möglichkeit dies zu bewerkstelligen ist der Einsatz von Verschlüsselungstechnologie, um sensible Daten vor den Augen und Ohren Unbefugter zu schützen. Durch Datenverschlüsselung an geeigneter Stelle können bestehende Übertragungssysteme ohne gravierende Änderungen weiter genutzt werden und dennoch ist sicher gestellt, dass die übermittelten Nachrichten nur von berechtigten Personen gelesen werden können. Ein Abhören oder Manipulieren ist dabei - bei korrekter Implementierung - nahezu unmöglich, bzw. nur durch außerordentlich hohen Aufwand zu bewerkstelligen.

An der FH-Regensburg wurde in Zusammenarbeit mit der Firma InSys Microelectronics GmbH aus Regensburg im Rahmen einer Diplomarbeit ein sog. Kryptomodul zur Verschlüsselung eines seriellen Datenstromes entwickelt, das nun Gegenstand dieses Aufsatzes sein wird. Mit Hilfe dieses Kryptomoduls kann ein serieller Datenstrom, wie er beispielsweise bei der Datenübertragung via Modem auftritt, verschlüsselt werden. Der Anwender benötigt zum Betrieb des Kryptomoduls keine spezifischen Kenntnisse auf dem Gebiet der Kryptologie.

WARUM VERSCHLÜSSELN?

Wer Daten verschlüsselt, verfolgt damit bisweilen unterschiedliche Ziele. Geheimhaltung kann eines von ihnen sein. Werden Daten verschlüsselt, so bleiben sie so lange geheim, bis jemand die Daten wieder entschlüsselt, vorausgesetzt derjenige ist dazu in der Lage. Neben der Geheimhaltung kann der Anwender von Datenverschlüsselung auch beabsichtigen, sich damit zu Authentifizieren. Verschlüsselt er

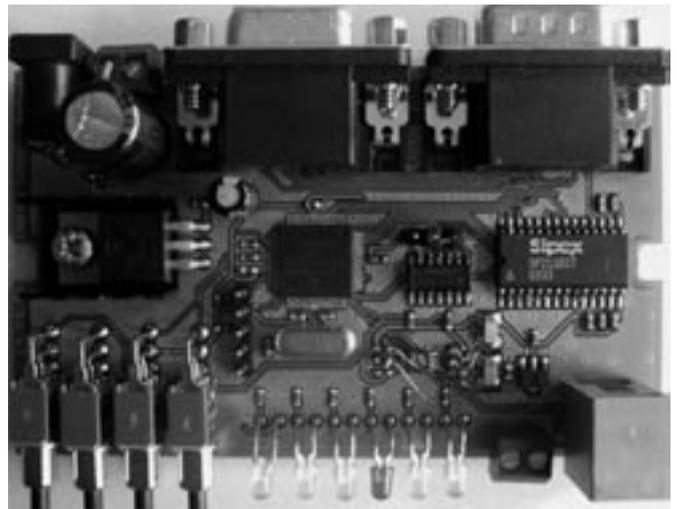


Bild 1: Das Kryptomodul

Daten mit seinem eigenen privaten Schlüssel, so unterschreibt er damit quasi die verschlüsselten Daten und weist sich somit demjenigen Empfänger aus, der die Daten mit dem zugehörigen öffentlichen Schlüssel wieder entschlüsselt. Zudem kann durch Verschlüsselung die Integrität der verschlüsselten Nachricht sichergestellt werden. Verfälschte Nachrichten können nach der Manipulation nicht mehr korrekt oder überhaupt nicht mehr entschlüsselt werden, oder die Manipulation kann leicht aufgedeckt werden. Somit kann sichergestellt werden, dass korrekt entschlüsselte Nachrichten unverfälscht übertragen wurden.

VERWIRRUNG UND DURCHMISCHUNG

Bei der Verschlüsselung, die auch Chiffrierung genannt wird, wird der zu verschlüsselnde Klartext (plaintext P) durch Anwendung eines sog. Verschlüsselungsalgorithmus E in den verschlüsselten Geheimtext (ciphertext C) übergeführt. Dazu notwendig ist ein sogenannter Schlüssel K, der gewissermaßen als Parameter mit in die Verschlüsselung mit einfließt: $E_K(P) = C$. Moderne Verschlüsselungsalgorithmen bedienen sich nach wie vor zweier grundlegender Methoden um Daten durch Verschlüsselung unkenntlich zu machen: Substitution und Transposition. Substitution bedeutet, dass Zeichen eines zu verschlüsselnden Klartextes durch andere Zeichen ersetzt werden. Transposition bedeutet, dass die Zeichen des Klartextes miteinander vertauscht werden. Durch die kombinierte Anwendung von Substitution und Transposition werden die laut Shannon, dem „Vater der Informationstheorie“, beiden Grundprinzipien der Chiffrierung Konfusion und Diffusion

(Verwirrung und Durchmischung) realisiert. Diese beiden grundlegenden Methoden fanden bereits im Altertum bei den Griechen und Römern ihre Anwendung und wurden seitdem stetig weiterentwickelt. Auch moderne kryptographische Algorithmen lassen sich auf diese beiden Prinzipien reduzieren, auch wenn sie heutzutage ungleich ausgefeilter eingesetzt werden.

SYMMETRIE UND ASYMMETRIE, BLÖCKE UND STRÖME

Es gibt symmetrische und asymmetrische Verschlüsselungsalgorithmen. Symmetrie bedeutet in diesem Fall, dass beim Ver- und Entschlüsseln einer Nachricht jeweils der gleiche Schlüssel zum Einsatz kommt. Asymmetrie bedeutet, dass der Schlüssel, der zum Entschlüsseln verwendet wird und in diesem Zusammenhang oft auch „öffentlicher Schlüssel“ genannt wird, sich vom Verschlüsselungs-Schlüssel („privater“ oder „geheimer Schlüssel“) unterscheidet. Asymmetrische Verfahren bieten verschiedene Vorteile gegenüber symmetrischen Verfahren, sie sind jedoch mit einigem Aufwand hinsichtlich der Schlüsselverwaltung verbunden. Ausserdem sind sie rechenaufwändiger als symmetrische Verfahren. Da beim vorliegenden Kryptomodul die Verschlüsselung des übertragenen Datenstromes möglichst in Echtzeit zu erfolgen hat, wurde dafür der vergleichsweise effektive symmetrische Algorithmus AES ausgewählt.

Algorithmen können weiterhin in die Kategorien Stromalgorithmen und Blockalgorithmen eingeteilt werden. Stromalgorithmen bearbeiten den Klartext bitweise oder byteweise, also quasi als Zeichenstrom, die Blockalgorithmen bearbeiten den Klartext bit- bzw. bytegruppenweise, also Blockweise. AES ist ein Blockalgorithmus.

FORTGESCHRITTENE VERSCHÜSSELUNG

2002 wurde der von den Belgiern Joan Daemen und Vincent Rijmen entwickelte Verschlüsselungsalgorithmus „Rijndael“ vom US-amerikanischen Institute of Standards and Technology zum „Advanced Encryption Standard“, kurz AES erhoben. AES bildet somit den Nachfolger des über lange Jahre erfolgreichen Standards DES („Data Encryption Standard“). In der „Federal Information Processing Standards (FIPS) Publication 197“ des NIST heisst es:

„The Advanced Encryption Standard (AES) specifies a FIPS-approved cryptographic algorithm that can encrypt (encipher) and decrypt (decipher) information. Encryption converts data to an unintelligible form called ciphertext;

decrypting the ciphertext converts the data back into its original form, called plaintext.

The AES algorithm is capable of using cryptographic keys of 128, 192, and 256 bits to encrypt data in blocks of 128 bits.“

Grob zusammengefasst läuft AES bei der Verschlüsselung folgendermaßen ab:

Die 128 Bit eines Blocks werden byteweise zusammengefasst (16 Bytes) und in eine 4 x 4 Matrix geschrieben.

$$\begin{bmatrix} S_0 & S_4 & S_8 & S_{12} \\ S_1 & S_5 & S_9 & S_{13} \\ S_2 & S_6 & S_{10} & S_{14} \\ S_3 & S_7 & S_{11} & S_{15} \end{bmatrix}$$

Diese Matrix heisst State. Alle nachfolgend beschriebenen Teiltransformationen werden auf den State angewendet. AES durchläuft beim Verschlüsseln eines Blocks 10 sog. „Runden“.

Eine Runde ist eine komplexe Funktion die durch Kombination von Addition/Multiplikation, XOR-Verknüpfung und Vertauschung entsteht. Eine Runde setzt sich aus folgenden verschiedenen Teiltransformationen zusammen:

- o SubBytes Bytes ersetzen
- o ShiftRows Zeilen zyklisch rotieren
- o MixCollumns Spalten vertauschen
- o KeyExpansion Schlüsselerweiterung
- o AddRoundkey Rundenschlüssel hinzufügen

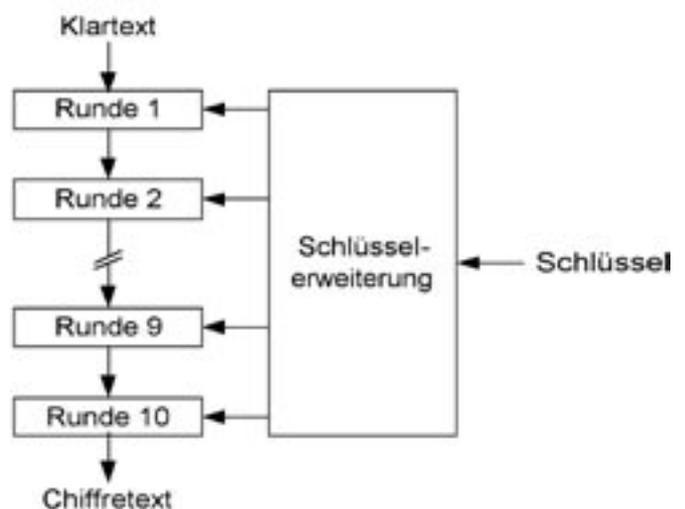


Bild 2: Ablauf der Verschlüsselung in Runden

In der erste Runde erfolgt zu Beginn zusätzlich eine AddRoundkey-Transformation und in der letzten Runde wird die MixCollumns-Transformation ausgelassen. Der zu verschlüsselnde Klartext ist die Eingabe der ersten Rundenfunktion. Das Ergebnis der Anwendung der Rundenfunktion dient als Eingabe der darauffolgenden Rundenfunktion. Das Ergebnis der letzten Rundenfunktion ist der Geheimtext.

Im Folgenden soll auf die einzelnen Teiltransformationen eingegangen werden.

SUBBYTES

Das hintereinander Ausführen zweier definierter mathematischer Transformationen liefert folgende Substitutionstabelle, auch S-Box genannt:

		Y															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
X	0	63	7c	77	7b	f2	6b	6f	e5	30	01	67	2b	fe	d7	Ab	76
	1	ca	82	e9	7d	fa	59	47	f0	ad	d4	a2	af	9c	a4	72	c0
	2	b7	fd	93	26	36	3f	F7	ec	34	a5	e5	f1	71	d8	31	15
	3	04	e7	23	e3	18	96	05	9a	07	12	80	e2	eb	27	b2	75
	4	09	83	2c	1a	1b	6e	5a	a0	52	3b	d6	b3	29	e3	2f	84
	5	53	d1	00	cd	20	fc	B1	5b	6a	cb	Be	39	4a	4c	58	Cf
	6	d0	ef	aa	fb	43	4d	33	85	45	f9	02	7f	50	3c	9f	a8
	7	51	a3	40	8f	92	9d	38	f5	bc	b6	Da	21	10	ff	f3	d2
	8	cd	0e	13	ec	5f	97	44	17	C4	a7	7e	3d	64	5d	19	73
	9	60	81	4f	De	22	2a	90	88	46	ee	b8	14	de	5e	0b	Db
	A	e0	32	3 ^o	0a	49	06	24	5c	C2	d3	Ac	62	91	95	e4	79
	B	e7	e8	37	6d	8d	d5	4e	a9	6c	56	f4	ea	65	7a	ae	08
	C	ba	78	25	2e	1c	a6	B4	c6	e8	dd	74	1f	4b	bd	8b	8 ^o
	D	70	3e	b5	66	48	03	F6	0e	61	35	57	b9	86	e1	1d	9e
	E	e1	f8	98	11	69	d9	8e	94	9b	1e	87	e9	ce	55	28	Df
	F	8c	a1	89	0d	bf	e6	42	68	41	99	2d	0f	b0	54	Bb	16

Jedes Byte, auf das die SubBytes-Transformation angewendet wird, wird durch ein ihm durch die S-Box zugewiesenes Byte ersetzt (Substitution).

Beispiel: SubBytes(42) = 2C

SHIFTROWS

Die Zeilen des States werden zyklisch nach links rotiert (Transposition). Die erste Zeile wird nicht, die zweite Zeile wird um eine Position, die dritte Zeile um 2 Positionen und die vierte Zeile um 3 Positionen nach links rotiert:

$$\begin{bmatrix} s_0 & s_4 & s_8 & s_{12} \\ s_1 & s_5 & s_9 & s_{13} \\ s_2 & s_6 & s_{10} & s_{14} \\ s_3 & s_7 & s_{11} & s_{15} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} s_0 & s_4 & s_8 & s_{12} \\ s_5 & s_9 & s_{13} & s_1 \\ s_{10} & s_{14} & s_2 & s_6 \\ s_{15} & s_3 & s_7 & s_{11} \end{bmatrix}$$

MIXCOLUMNS

Die MixCollumns-Transformation ordnet jeder Spalte des States eine neue Spalte zu:

$$\begin{bmatrix} s_0 & s_4 & s_8 & s_{12} \\ s_1 & s_5 & s_9 & s_{13} \\ s_2 & s_6 & s_{10} & s_{14} \\ s_3 & s_7 & s_{11} & s_{15} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} s'_0 & s'_4 & s'_8 & s'_{12} \\ s'_1 & s'_5 & s'_9 & s'_{13} \\ s'_2 & s'_6 & s'_{10} & s'_{14} \\ s'_3 & s'_7 & s'_{11} & s'_{15} \end{bmatrix}$$

wobei für jede Spalte folgende Zuordnungsvorschrift gilt:

$$\begin{bmatrix} s'_0 \\ s'_1 \\ s'_2 \\ s'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 02 & 03 & 01 & 01 \\ 01 & 02 & 03 & 01 \\ 01 & 01 & 02 & 03 \\ 03 & 01 & 01 & 02 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix}$$

Die mit • gekennzeichnete Operation entspricht nicht der Multiplikation wie man sie gemeinhin kennt, sondern einer Polynommultiplikation mit anschließender Modulo-Operation. An dieser Stelle kann leider nicht genauer darauf eingegangen werden.

ADDDROUNDKEY

Jedes Byte des States wird mit dem korrespondierenden Byte des Rundenschlüssels XOR-verknüpft.

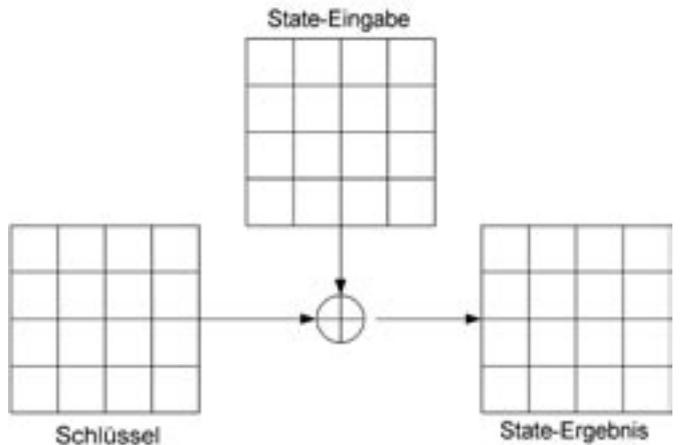


Bild 3: XOR-Verknüpfung der Eingabe mit Schlüssel

KEYEXPANSION

In jeder neuen Runde wird aus dem Rundenschlüssel der vorhergehenden Runde ein neuer Rundenschlüssel erzeugt.

Dabei werden die 16 Byte eines Schlüssels zu vier Schlüsselwörtern zu je vier Bytes zusammengefasst. Aus den vier Schlüsselwörtern w_0 bis w_3 werden dann in folgender Weise die Schlüsselwörter w'_0 bis w'_3 des neuen Rundenschlüssels gebildet:

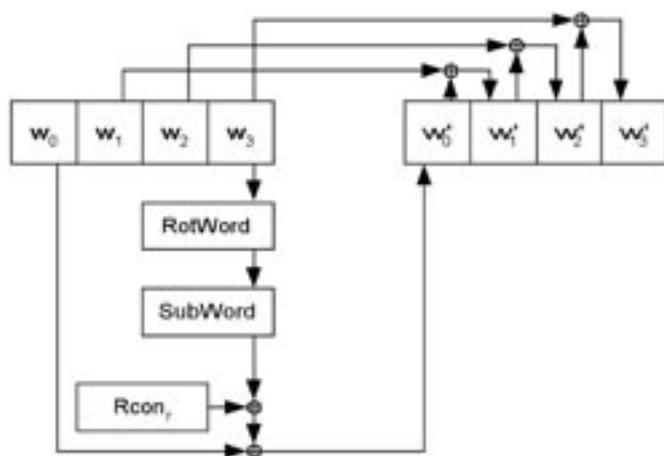


Bild 4: Bilden der Rundenschlüssel

Durch die Transformation **RotWord** wird das Schlüsselwort zyklisch um eine Position nach links rotiert. **SubWord** ersetzt die einzelnen Bytes des Schlüsselwortes unter Anwendung der zuvor besprochenen S-Box. **Rcon_i** ist die Rundenkonstante der jeweiligen Runde. Die Rundenkonstanten lauten: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 27, 54.

Entschlüsselung

Da jede zuvor besprochene Teiltransformation umkehrbar ist, ist die Entschlüsselung eines verschlüsselten Blocks dadurch zu bewerkstelligen, dass die inversen Teiltransformationen in umgekehrter Reihenfolge auf den zu entschlüsselnden Text angewendet werden. Die Rundenschlüssel müssen auch in der jeweiligen umgekehrten Reihenfolge mit einbezogen werden.

Betriebsarten

Der Blockalgorithmus legt nur fest wie ein einzelner Klartextblock in einen Chiffretextblock verschlüsselt wird. Übersteigt die Länge des zu verschlüsselnden Textes die Blocklänge des angewendeten Algorithmus, so muss man sich überlegen, wie man den Algorithmus auf den Text anwendet. Die Art und Weise wie man einen Algorithmus anwendet nennt man Betriebsmodus.

Es gibt vier Standardmodi, die abgekürzt ECB, CBC, CFB und OFB heißen. Der einfachste der vier Modi ist der ECB-

Modus. ECB steht für „Electronic Code Book“. Beim ECB-Modus wird der Text in Blöcke aufgeteilt, deren Länge der Blocklänge des Blockalgorithmus entspricht. Die einzelnen Klartextblöcke werden dann nacheinander in die zugehörigen Chiffretextblöcke verschlüsselt. Diese Chiffretextblöcke bilden dann aneinander gereiht den gesamten Chiffretext. D. h. die einzelnen Blöcke des Klartextes werden unabhängig voneinander verschlüsselt.

Da dieser Modus einige Nachteile birgt, wurde für das Kryptomodul ein anderer, nämlich der CFB-Modus gewählt. CFB steht für „Cipher Feedback“. Mit Hilfe des CFB-Modus kann ein Blockalgorithmus als sog. Selbstsynchronisierende Stromchiffrierung implementiert werden. Der CFB-Modus erzeugt dabei unter der internen Verwendung des Blockalgorithmus einen pseudozufälligen Strom von Schlüsselbytes, der von den vorhergehenden Chiffretextbits abhängt. Diese Schlüsselbytes werden dann Byte für Byte mit dem Klartext XOR-verknüpft. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass die eben erwähnten Schlüsselbytes nichts, oder nur indirekt, mit dem Schlüssel zu tun haben, der direkt bei der AES-Verschlüsselung zum Einsatz kommt.

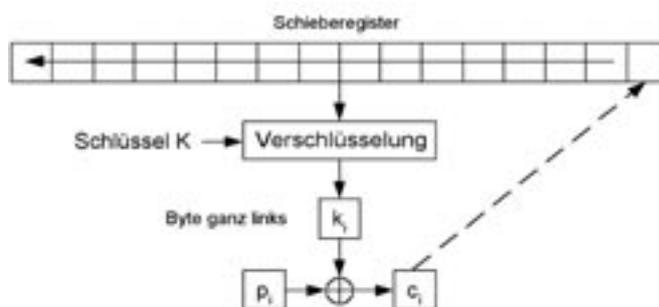


Bild 5: Selbstsynchronisierende Stromchiffrierung

Schlüsselerzeugung

Kerckhoffs Maxime besagt: „Die Sicherheit eines Kryptosystems darf nicht von der Geheimhaltung des Algorithmus, sondern ausschließlich von der Geheimhaltung des Schlüssels abhängen.“ Setzt man diese Aussage als gegeben voraus, und betrachtet man nun die Verschlüsselung von per Modem übertragenen Daten, so ist es sinnvoll für jede Übertragungssitzung einen eigens dafür generierten „Sessionkey“ zu verwenden, der nur für die aktuelle Übertragung Gültigkeit besitzt. Es ist offensichtlich ebenfalls sinnvoll diesen Sessionkey möglichst unvorhersagbar, also zufällig zu generieren. Zu diesem Zweck besitzen kryptographische Systeme meistens einen Zufallsgenerator. Im Kryptomodul wurde ebenfalls ein Zufallsgenerator implementiert, genauer gesagt ein sog.

Pseudozufallsgenerator. Die beiden bekannten Kryptologen Bruce Schneier und Reinhard Wobst empfehlen die Schlüsselerzeugung nach dem ANSI-Standard X9.17. Diese läuft folgendermaßen ab:

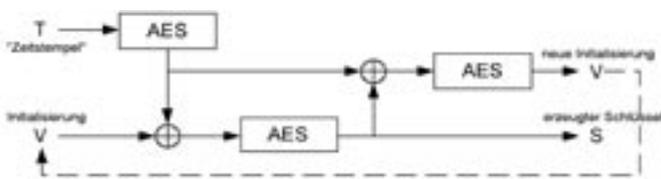


Bild 6: Schlüsselerzeugung nach dem ANSI-Standard X9.17

Ein für jeden Zeitpunkt der Schlüsselgenerierung unikatere Wert, hier als Zeitstempel bezeichnet, wird mit dem im System verwendeten Verschlüsselungsalgorithmus, hier AES, verschlüsselt. Das Ergebnis der Verschlüsselung wird mit einem Initialisierungsvektor XOR-verknüpft. Das Resultat hiervon wird wiederum AES-verschlüsselt. Das Ergebnis dieser zweiten Verschlüsselung stellt den generierten Schlüssel dar. Um für die nächste Schlüsselgenerierung wieder einen neuen Initialisierungswert zur Verfügung zu haben, wird das Ergebnis der zweiten Verschlüsselung mit dem Ergebnis der ersten Verschlüsselung XOR-verknüpft und nochmals AES-verschlüsselt.

Schlüsseltausch

Bevor zwei Kommunikationspartner unter Verwendung eines symmetrischen Kryptographieverfahrens sicher miteinander kommunizieren können müssen beide im Besitz des gleichen Schlüssels sein. Wird dieser Schlüssel erst kurz vor Beginn der verschlüsselten Übertragung gewählt (Sitzungsschlüssel), so muss dieser zwischen Sender und Empfänger der Nachricht ausgetauscht werden. Dieser Austausch muss natürlich auf sicherem Weg erfolgen, z. B. indem er verschlüsselt übertragen wird. Idealerweise kommt bei diesem Schlüsseltausch ein asymmetrisches Verfahren zum Einsatz, wobei ein Kommunikationsteilnehmer den Sitzungsschlüssel erst generiert und dann mit dem öffentlichen Schlüssel seines Gegenübers verschlüsselt verschickt. Der andere Kommunikationsteilnehmer kann mit seinem privaten Schlüssel den Sitzungsschlüssel entschlüsseln. Steht kein asymmetrisches Verfahren zu Verfügung, so wie das bei unserem Kryptomodul der Fall ist, muss eine andere Methode angewendet werden. So kann der Sitzungsschlüssel mit einem geheimen Schlüssel (Masterkey) chiffriert werden, der exklusiv für diesen Zweck gedacht ist und der beiden Teilnehmern bekannt ist. Der Sender verschlüsselt den Sitzungsschlüssel mit dem Masterkey und schickt das Ergebnis an den Empfänger.

Dieser entschlüsselt die empfangene Nachricht mit dem ihm ebenfalls vorliegenden Masterkey und ist somit im Besitz des Sitzungsschlüssels. Beide können dann im Folgenden die auszutauschenden Nachrichten mit dem Sitzungsschlüssel chiffrieren. Wichtig dabei ist, dass der Sitzungsschlüssel dabei offene Nachrichtenkanäle nur als Chiffretext passiert hat und im Klartext nur den beiden Kommunikationsteilnehmern vorliegt.

Authentifizierung

Ein Verfahren zur Authentifizierung, wie es z. B. bei Chipkarten zum Einsatz kommt, heisst „Challenge-Response-Verfahren“.

Dabei schickt der Kommunikationsteilnehmer A, der seinen Kommunikationspartner B authentifizieren möchte eine zufällige Zahl Ra und stellt diesem damit sozusagen eine Frage (Challenge). Der Empfänger B dieser Zahl verschlüsselt diese Zahl mit dem Schlüssel k, den nur die beiden kennen und schickt das Ergebnis der Verschlüsselung zurück an den Sender A. Er liefert damit die Antwort (Response) auf die Frage. Der Sender A der ursprünglichen Zahl verschlüsselt seinerseits die ursprüngliche Zahl mit Hilfe des Schlüssels k und vergleicht

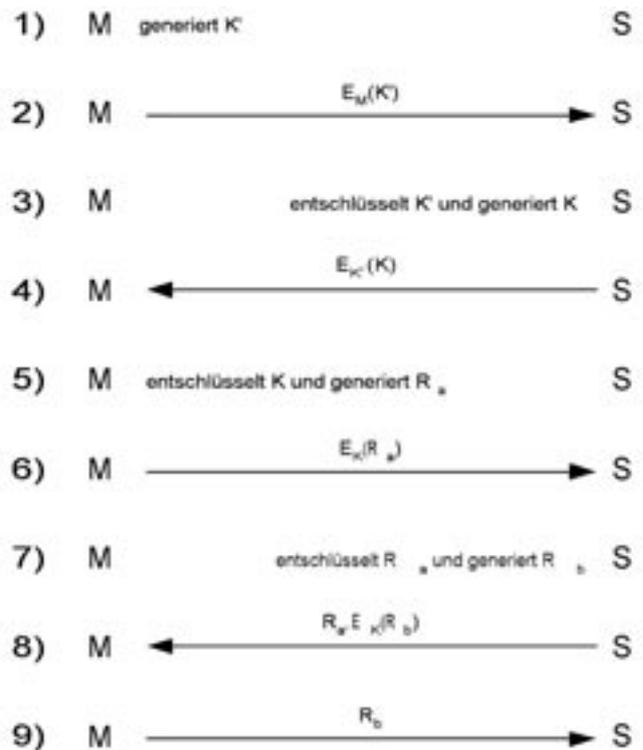


Bild 7: Schlüsseltausch zwischen Master und Slave

sein Verschlüsselungsergebnis mit dem das er vom Empfänger B erhalten hat. Stimmen beide Verschlüsselungsergebnisse überein, so ist sein Kommunikationspartner authentifiziert. A weiß nun, dass B im Besitz des richtigen Schlüssels k ist. Will der Empfänger den Sender authentifizieren geht er seinerseits genauso vor. A kann B auch die bereits mit k verschlüsselte Zahl schicken und von ihm die entschlüsselte Zahl zurückerwarten. Das Ergebnis bleibt das Gleiche.

Kombiniert man die beiden oben beschriebenen Verfahren für den Schlüsselaustausch und zur Authentifizierung so erhält man ein Verfahren, wie es beim Kryptomodul zum Einsatz kommt, und das sich wie in Bild 7 veranschaulichen lässt (M ist dabei das Master-Kryptomodul, das den Schlüsselaustausch initiiert und S das Slave-Kryptomodul).

Sicherheit geht vor

Zusätzlich zu den obig besprochenen kryptographischen Sicherheitsmerkmalen wurden beim Kryptomodul noch folgende zusätzliche Sicherheitsfunktionen implementiert:

- Blockierung der Datenübertragung bei fehlerhaftem Schlüsselaustausch oder fehlerhafter Authentifizierung

- Die Änderung des zur verschlüsselten Übertragung des generierten Sessionkeys benötigten Masterkeys ist nur bei korrekter Eingabe einer 4-stelligen PIN möglich. Für die Eingabe der einzelnen Stellen der PIN stehen prinzipiell alle ASCII-Zeichen (128 verschiedene) zu Verfügung. Bei Falscheingabe der PIN erfolgt eine Verzögerung um eine Sekunde. Ein Ausprobieren (Brute-Force) aller 268,4 Millionen (128^4) Möglichkeiten nimmt ca. 8,5 Jahre in Anspruch.

DAS KRYPTOMODUL IN DER ANWENDUNG

Mit Hilfe des Kryptomoduls kann ein serieller Datenstrom verschlüsselt werden. Ein vorhandener bidirektionaler serieller Datenkanal wird aufgetrennt und jeweils zwei Module werden integriert. Der Einsatz zweier Kryptomodule erlaubt es zum einen, einen seriellen Datenkanal über RS-232 zu verschlüsseln, beispielsweise für die verschlüsselte Datenübertragung von PC zu PC über die COM-Schnittstellen oder die verschlüsselte Datenfernübertragung von PC zu PC über Modem. Zum anderen lassen sich die Kryptomodule dazu verwenden um die Kommunikation der INSYS-Schließsysteme

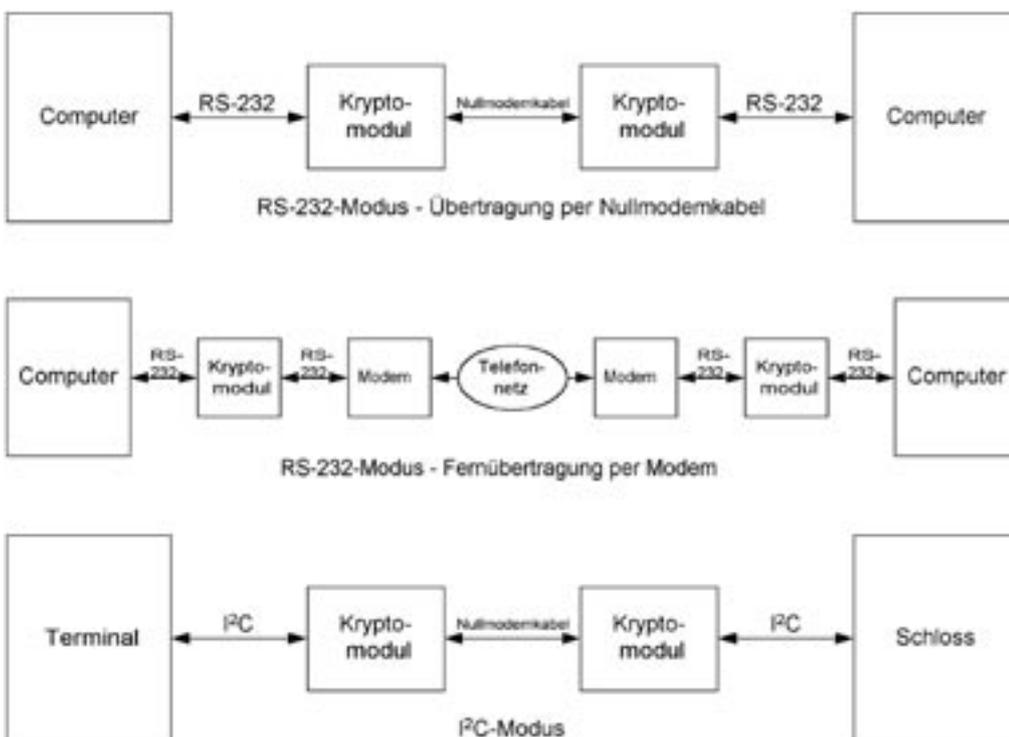


Bild 8: Verschiedene Betriebsarten des Kryptomoduls in Übertragungsstrecken

Prof. Georg Scharfenberg

Tel.: 0941 943-1113

Fax 0941 943-1124

georg.scharfenberg@e-technik.fh-regensburg.de

stefan.haller@landshut.org

me TwinLock 7220 und EloStar 7215, die über I²C-Bus läuft, zu sichern.

Für die Kommunikation über RS-232 stehen dabei die Baudraten 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 und 115200 zur Verfügung, die bequem per Konfiguration über eine serielle COM-Schnittstelle eingestellt werden können.

Der Benutzer steuert alle Funktionen des Kryptomoduls über wenige Konfigurationsoptionen und Bedienelemente, wobei in der Minimalvariante während des Betriebs kein Eingreifen des Benutzers notwendig ist. Im Regelbetrieb arbeitet das Kryptomodul völlig transparent und ohne Zutun des Anwenders. Die zum Betrieb notwendigen Parameter stellt der Benutzer über ein serielles Terminal, z. B. einem Terminalprogramm auf seinem PC ein.

Hinweis:

Die Bilder 3, 5 und 7 wurden aus Bruce Schneiers „Angewandte Kryptographie“ abgeleitet.

Die Bilder 2 und 6 wurden aus Reinhard Wobsts „Abenteuer Kryptologie“ abgeleitet.

Bild 4 wurde aus <http://rzwwwneu.fh-wuerzburg.de/fh/fb/all/personal/interper/wschnell/aes.pdf> abgeleitet.

Dipl.-Ing. Stefan Haller, Absolvent der FH Regensburg (2004); Georg Scharfenberg Prof. im Fachbereich Elektro- und Informationstechnik

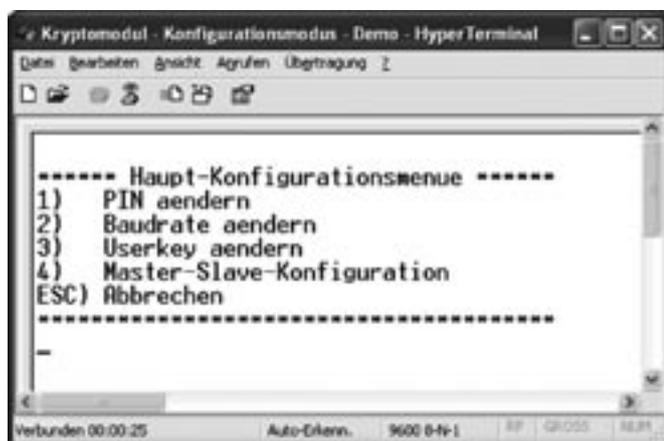


Bild 9: Parametereinstellung am PC-Terminal

Das entwickelte Kryptomodul stellt also eine kostengünstige und einfach anzuwendende Möglichkeit zur Verschlüsselung eines seriellen Datenstroms dar, die ausserdem aufgrund des implementierten modernen Algorithmus AES über Jahre hinaus sicher sein dürfte.

Strom aus der Dose.



Spannung ist bei uns der Regelfall, Hochspannungstechnik unser Metier. Mit unseren Produkten und Dienstleistungen tragen wir weltweit zur zuverlässigen Energieversorgung bei.

Spannung aus Regensburg.



www.reinhausen.com

Maschinenfabrik Reinhausen GmbH
Falkensteinstr. 8, 93059 Regensburg, Tel. 0941/40 90-0



Partnerschaft und Kompetenz

... Basis für maßgeschneiderte Hydrauliksysteme

Kleine Hydrauliksysteme

für Patientenlagerung, mikrohydraulische Systemlösungen
und Fahrzeugtechnik

- Komponenten
- Systeme
- Engineering


HOERBIGER
because performance counts

HOERBIGER Micro Fluid GmbH · Borsigstraße 11 · 93092 Barbing
Tel. +49 (0)9401 785 - 0 · Fax +49 (0)9401 785 - 50
e-mail info-hmf@hoerbiger.com · www.hoerbiger.com

Bayerischer Unternehmensverband
Metall und Elektro e.V.

BayME

**Ein starker Verband.
Ein Ziel.
Viele Möglichkeiten.**

Im BayME, dem größten Arbeitgeberverband Bayerns, sind bereits mehr als **1.400 Betriebe der Metall- und Elektro-Industrie sowie verwandter oder verbundener Wirtschaftszweige (z.B. IT)** mit weit über 430.000 Mitarbeitern organisiert.

Als Dienstleistungsverband mit **sechs Geschäftsstellen** bieten wir **vor Ort** bedarfsgerechte Leistungen und Interessensvertretung. Dies zu einem äußerst attraktiven Mitgliedsbeitrag und **ohne Bindung an Flächentarifverträge**.

Zu unserem unternehmerorientierten Service gehören u.a.

- professionelle Beratung im Vorfeld und gerichtliche Vertretung im Bereich des Arbeits- und Sozialrechts
- kollektive Arbeitsbeziehungen, insbesondere Haustarife und Betriebsvereinbarungen
- Arbeitswissenschaft (z.B. Arbeitszeit- und Entlohnungsmodelle), Arbeitsorganisation und Arbeitsschutz
- Veranstaltungen/Arbeitskreise für **alle** Führungsebenen
- Erfahrungsaustausch und Vorträge
- Meinungsbündelung und Mitsprache (z.B. Bundesagentur für Arbeit, Rententrägern und Gerichten)
- Presse- und Öffentlichkeitsarbeit sowie aktuelle Informationsdienste

Leistungen aus dem weiteren Unternehmensumfeld werden durch unsere Tochter- und Partnerorganisationen wahrgenommen.

BayME - Bayerischer Unternehmensverband Metall und Elektro e.V.

Geschäftsstelle Niederbayern/Oberpfalz
Hemauerstraße 6, 93047 Regensburg - Telefon 0941-595 73-0

www.bayme.de

Um den Erfolg langfristig zu sichern, suchen wir zur Unterstützung

Ingenieure & Techniker (m/w)

Schwerpunkt Konstruktion und Vertrieb

für moderne High-Tech Verpackungsanlagen
für die pharmazeutische und kosmetische Industrie.

Tätigkeitsgebiet

Konstruktion

- In dieser Position können Sie eigenverantwortlich Projekte unserer Kunden bearbeiten und tragen durch Ihre Beteiligung an Forschung und Entwicklung zur Steigerung der Innovation im Unternehmen bei.
- Wir bieten eine interessante und abwechslungsreiche Tätigkeit auf einem hochinnovativen Gebiet der Technik mit individuellem Freiraum.
- Es erwartet Sie ein engagiertes Team, das sich durch Teamfähigkeit, Selbstständigkeit und Einsatzbereitschaft auszeichnet.

Vertrieb

- In dieser Position bearbeiten Sie als Verantwortliche/r technische Projekte entsprechend den Spezifikationen unserer Kunden von der Anfrage bis hin zur Inbetriebnahme unserer Anlagen.
- Ihr Arbeitsbereich umfasst die Beratung und Betreuung internationaler Kunden als auch Akquisition, Präsentation sowie Angebots- und Auftragsbearbeitung.

Ihr Profil

Konstruktion

- Abgeschlossenes Maschinenbaustudium (Schwerpunkt Konstruktion) oder eine vergleichbare Ausbildung
- Gute CAD-Kenntnisse (AutoDesk: AutoCad und Inventor)
- Berufserfahrung als Konstrukteur, idealerweise im Bereich Verpackungsmaschinen
- Team- und Kommunikationsfähigkeit

Vertrieb

- Erfahrung in der Projektarbeit insbesondere vertriebliche Aufgaben.
- Verhandlungsgeschick und Bereitschaft zu Auslandsreisen
- Verhandlungssicheres Englisch
- Eigenverantwortliche, selbstständige und interkulturelle Arbeitsweise
- Planungs- und Organisationsgeschick
- Berufserfahrung im Verkauf von Sondermaschinen sind von Vorteil

Unser Angebot für Sie

Neben einer interessanten Tätigkeit an einem attraktiven Arbeitsplatz bieten wir Ihnen vielfältige soziale Leistungen sowie eine leistungsorientierte Vergütung mit Prämienzahlung und Gewinnbeteiligung.

Ihre Bewerbung

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann zögern Sie nicht! Senden Sie Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen an groninger in Crailsheim oder bewerben Sie sich online. Wir freuen uns auf Sie!

@ www.groninger.de

SOLUTIONS ARE OUR WORLD - WORLDWIDE

groninger & co. gmbh · Hofäckerstr. 9 · 74564 Crailsheim · GERMANY
Tel.: +49 (0)7951/495-0 · Fax: +49 (0)7951/495-138 · e-mail: office@groninger.de
groninger GmbH & Co. KG · Birkenbergstr. 1 · 91625 Schnelldorf · GERMANY
Tel.: +49 (0)7950/800-0 · Fax: +49 (0)7950/800-123 · e-mail: office@groninger.de
groninger USA L.L.C. · 180 Mount Airy Road · Basking Ridge NJ 07920 · USA
Tel.: +1 908/204 9000 · Fax: +1 908/204 9999 · e-mail: info@groningerusa.com



Erfolg beginnt bei Nanometern.

MICRO-EPSILON ist bekannt als innovatives Unternehmen für das Messen geometrischer Größen. Weg- und Positionssensoren, Komplettsysteme, Software für das visuelle Programmieren und Bildverarbeitungs-Systeme bilden die vier Säulen der Produktpalette. Renommierte Kunden weltweit verlassen sich auf die wegweisenden Lösungen von MICRO-EPSILON.

Sensoren



Systeme



Software



Lösungen



MICRO-EPSILON Messtechnik GmbH & Co KG

Königbacher Strasse 15 · 94496 Ortenburg

Telefon +49/8542/168-0 · Fax +49/8542/168 90

info@micro-epsilon.de · www.micro-epsilon.de

KONFOKALES CHROMATISCHES ABSTANDSMESSSYSTEM MIT HILFE VON GRIN-LINSEN

ABSTRACT

Durch den Einsatz von Gradientenindexlinsen (kurz GRIN-Linsen) sollen die Sensoren der Firma Micro Epsilon für die konfokale chromatische Abstandsmessung miniaturisiert werden. Verschiedene Messungen an den ersten Prototypen zeigen die grundsätzliche Eignung der GRIN-Linsen für diesen Zweck. So konnten neben Vergleichsmessungen mit bestehenden Sensoren, die optische Linsen nutzen, auch einige exemplarische Fehler auf Oberflächen erkannt werden, die auch im späteren Messsystem erkannt werden sollen.

1 EINLEITUNG

An der Mechatronics Research Unit (MRU) wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes mit der Firma Micro Epsilon zwei Diplomarbeiten durchgeführt. Die beiden Arbeiten wurden von Herrn William Bouassa Alandji [1] und von Herrn Michael Schumm [2] durchgeführt. Das Forschungsprojekt sollte unter der Verwendung von GRIN-Linsen die bestehenden Sensoren der Firma Micro Epsilon miniaturisieren. Ziel dieser beiden Diplomarbeiten war der Aufbau eines Messplatzes, der über einen XYZ-Tisch verfügen sollte, und die Durchführung mehrerer Messungen an den neu entwickelten Sensoren zur konfokalen chromatischen Abstandsmessung. Bei den durchzuführenden Messungen wurden als erstes die verschiedenen Geometrien der Sensoren vermessen, um für die anschließende Messung auf der fehlerbehafteten Oberflächen die beste Sensorgeometrie zu bestimmen.

2 THEORIE ÜBER DIE KONFOKALE CHROMATISCHE ABSTANDSMESSUNG

Die Sensoren der Reihe IFS2401 [3] arbeiten nach dem Prinzip der konfokalen chromatischen Abstandsmessung. In Abbildung 1 ist das Funktionsprinzip dargestellt. Über die Anordnung der Linsen und des Strahlteilers (halb durchlässiger Spiegel) wird das Licht von der Weißlichtquelle auf die Oberfläche projiziert. Nur das Licht von der in der Fokusebene liegenden Oberfläche wird reflektiert und gelangt durch die Lochblende in die Auswerteeinheit. Durch die chromatische Aberration der Linse wird das von der Weißlichtquelle stammende Licht in unterschiedlichen Entfernungen scharf fokussiert. Durch die chromatische Auswertung des reflektierten Lichtes kann nun die Entfernung der Oberfläche vom Sensor gemessen werden.

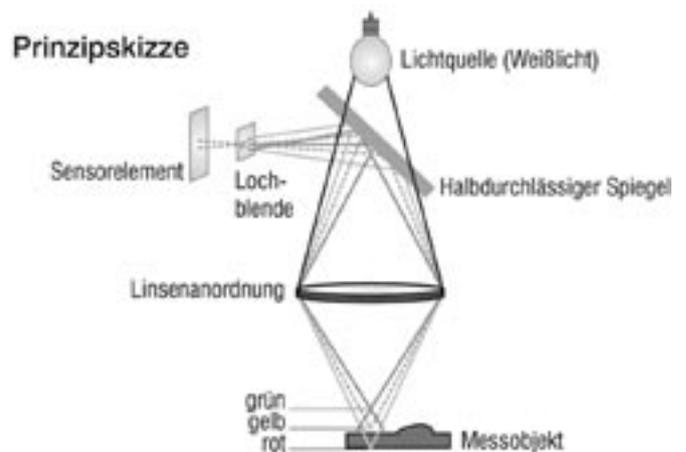


Abbildung 1: Prinzipskizze der konfokalen chromatischen Abstandsmessung [3]

3 THEORIE ÜBER DIE GRIN-LINSEN

Die für den Aufbau der Sensoren verwendeten GRIN-Linsen stammen von der Firma GRINTECH. Die wichtigsten Eigenschaften der verwendeten GRIN-Linsen sind hier in Kürze aufgeführt. Bei GRIN-Linsen wird die Führung des Lichtes in der Optik nicht durch den abrupten Übergang der Brechungsindizes erreicht. Stattdessen ist der Brechungsindex eine Funktion des Radius und erlaubt so die kontinuierliche Führung des Lichtes. Für die verwendeten Linsen folgt der Brechungsindex folgender Formel[4]:

$$n(r) = n_0 \cdot \operatorname{sech}(g \cdot r); \quad g : \text{linsenspezifische Konstante} \quad \{1\}$$

Durch diesen Brechungsindexverlauf hat der Verlauf des Lichtes durch die Optik einen räumlich periodischen Verlauf (siehe Abbildung 2). Die räumliche Periodizität wird als Pitch bezeichnet und lässt sich wie folgt berechnen[4]:

$$P = \frac{2\pi}{g} \quad \{2\}$$

Die für den Aufbau der Sensoren wichtigen Größen der Brennweite f und des Arbeitsabstandes s lassen sich mit Hilfe der folgenden Gleichungen berechnen[4].

$$f = \frac{1}{n_0 \cdot g \cdot \sin(g \cdot z_L)} \quad \{3\}$$

$$s = \frac{1}{n_0 \cdot g \cdot \tan(g \cdot z_L)} \quad \{4\}$$

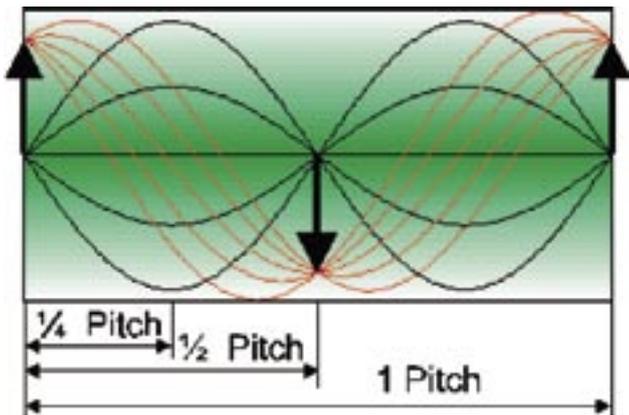


Abbildung 2: Pitchlänge in GRIN-Linsen [4]



Abbildung 4: Verwendeter XYZ-Tisch

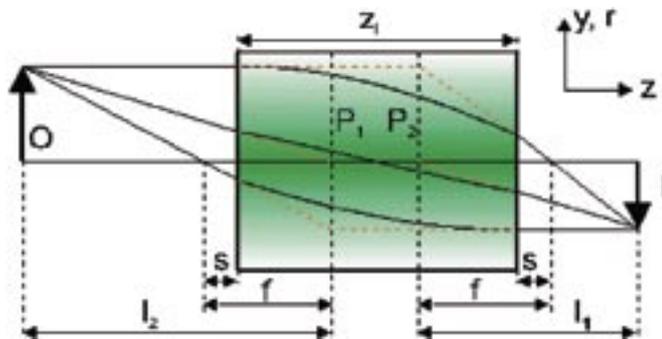


Abbildung 3: GRIN-Linse [4]

Auf den näheren Aufbau der Sensoren wird hier nicht weiter eingegangen.

4 AUFBAU DES MESSPLATZES

Die Ansteuerung des für die Messungen verwendeten XYZ-Tisches wurde mit Hilfe der Kemo-Module M106[5] und M108[6] realisiert (siehe Abbildungen 4 und 5). Das Kemo-Modul M106 dient zur Ansteuerung 4-poligen bipolaren Schrittmotoren mit einer Betriebsspannung von 3 - 17V und einem Strom von 2A über die parallel Schnittstelle. Das Modul M108 ist eine Vierfachweiche mit der 4 Module M106 angeschlossen werden können. Durch Verwendung eines der bereits oben erwähnten Sensoren der Firma Micro Epsilon wurde die Genauigkeit der einzelne Achsen vermessen. Für die mittleren Schrittweiten der einzelne Achsen ergaben sich folgende Werte.

Achse	X	Y	Z
Schrittweite(in μm)	4,24	10,00	2,67

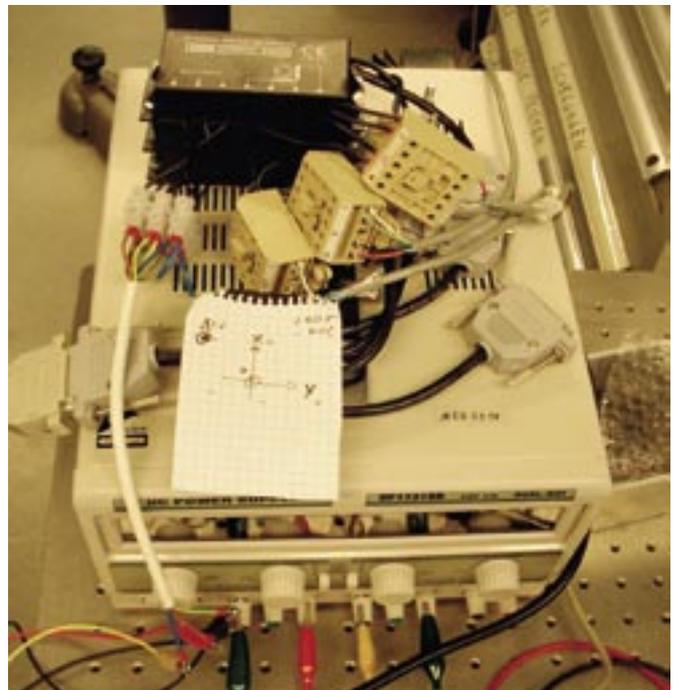


Abbildung 5: Aufbau der verwendeten Kemo-Module

5 DURCHGEFÜHRTE MESSUNGEN

Hier wird auf zwei der durchgeführten Messungen näher eingegangen. Erstens die Bestimmung der Kalibrierkurven für die einzelnen Sensorgeometrien und als zweites die Messungen auf einer fehlerbehafteten Metalloberfläche.

Für die Bestimmung der Kalibrierkurven wurden die Sensoren solange von der zu messenden Oberfläche entfernt, bis die Auswerteeinheit ein Signal anzeigte. Von diesem Punkt aus wurden die Messdaten der CCD-Zeile in gleichen Abständen aufgenommen, solange bis kein Nutzsignal mehr zu erkennen war. Die Auswertung dieser Daten erfolgte mit Hilfe einer Ausgleichskurve, welche mit Hilfe des weiter unten beschriebenen Algorithmus bestimmt wurde.

Die fehlerbehaftete Oberfläche wurde zum Vergleich der Daten zuerst ohne Fehler vermessen. Anschließend wurden einige charakteristische Fehler aufgebracht und die Oberfläche noch einmal vermessen. Durch Auswertung der Daten und Vergleich mit den zuvor ermittelten Kalibrierkurven wurden die Größen der Fehler bestimmt.

6 THEORIE ÜBER LEVENBERG-MARQUARDT-ALGORITHMUS

Die Daten der CCD-Zeile haben den Verlauf einer Gauß-Verteilung. Deshalb war es nötig für die einzelnen Datensätze eine Ausgleichskurve zu bestimmen, die folgender Funktion folgt:

$$f(x) = y_0 + \frac{A}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad \{5\}$$

Da es sich hier um einen nichtlinearen Kurvenfit handelt, wurde zur Berechnung der Ausgleichskurven auf das Programm Origin der Firma Microcal in der Version 7.5 zurückgegriffen. Dieses berechnet die Ausgleichkurven mit Hilfe des Levenberg-Marquardt-Algorithmus [7].

Der Algorithmus eignet sich um nichtlineare Least Square Fits zu lösen. Bei diesen Fits ist man bestrebt die quadratische Summe der Abweichungen der Messwerte von der Ausgleichskurve durch Variation der Koeffizienten der Funktion zu minimieren. Dies lässt sich wie folgt mathematisch ausdrücken:

$$S(\underline{p}) = \sum_{i=0}^n [c_i(\underline{p})]^2 \quad \text{mit} \quad c_i(\underline{p}) = y_i - f(x_i | \underline{p}) \quad \{6\}$$

Wobei die y_i die gemessenen Werte und $f(x_i | \underline{p})$ die Werte der gefitten Kurve darstellen. Der Vektor \underline{p} stellt die zu bestimmenden Koeffizienten dar. Er wird über einen iterativen Prozess bestimmt, indem er nach jedem Durchgang wie folgt neu berechnet wird:

$$\underline{p} = \underline{p} + \underline{q} \quad \{7\}$$

Der Vektor \underline{q} wird durch Lösen des Gleichungssystems:

$$(\underline{J}^T \underline{J} + \lambda \underline{I}) \underline{q} = -\underline{J}^T \underline{c} \quad \{8\}$$

bestimmt. Die Matrix \underline{J} ist die so genannte Jacobian-Matrix und berechnet sich wie folgt:

$$\underline{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial c_1}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial c_1}{\partial p_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial c_n}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial c_n}{\partial p_m} \end{bmatrix}$$

Der Parameter λ ist hierbei der Vorteil des Algorithmus gegenüber anderen verwandten Algorithmen, da er durch diesen sowohl sehr genaue Fitergebnisse erzielen kann als auch mit schlechten Startwerten zu einem Ergebnis kommt.

7 MESSERGEBNISSE

Hier werden nur einige der Messdaten exemplarisch ausgewertet. So zeigt Abbildung 6 eine von der CCD-Zeile aufgenommene Messreihe und den dazu berechneten Fit. In Abbildung 7 ist ein Ausschnitt aus der Messung auf der fehlerbehafteten Oberfläche zu sehen.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Die in der MRU durchgeführten Messungen ergaben, dass sich die GRIN-Linsen grundsätzlich zur Miniaturisierung der Sensoren eignen. Eine ideale Geometrie konnte im Rahmen

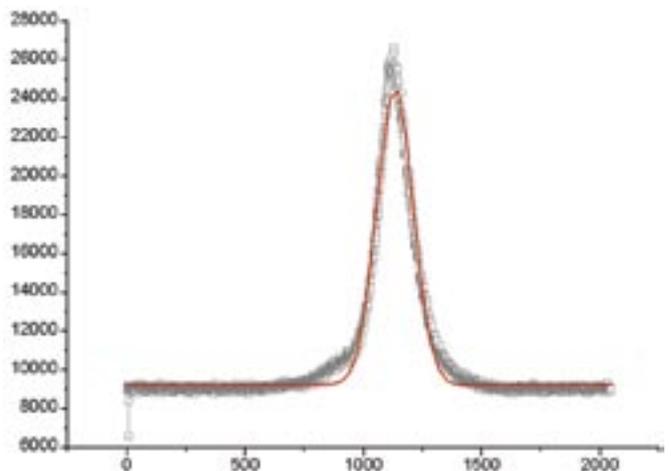


Abbildung 6: Messdaten und Fit

Prof. Dr. Gareth J. Monkman
 Tel.: 0941 943-1108
 Fax 0941 943-1424
 gareth.monkman@e-technik.fh-regensburg.de

dieser Arbeit noch nicht gefunden werden, es werden hier jedoch neue vielversprechende Ansätze verfolgt, die sowohl die Probleme der Auswertungsallgorithmen (Anfälligkeit auf Hintergrundsignale, hoher Rechenaufwand) wie auch eine größere Variabilität in Arbeitsbereich und Arbeitsabstand zulassen. Damit folgt die Entwicklung des Sensorsystems dem allgemeinen Druck der fortschreitenden Miniaturisierung.

ZITIERTE LITERATUR:

- [1] Bouassa Alandji W., Entwicklung eines Messplatzes für Berührungsloses Konfokales Messabstandsprinzip, Diplomarbeit FH Regensburg, 2005
- [2] Schumm M., Aufbau und Test eines Messplatzes zur konfokalen chromatischen Abstandsmessung, Diplomarbeit FH Regensburg, 2005
- [3] Micro Epsilon, Datenblatt des Sensors optoNCTD 2400, http://www.micro-epsilon.de/staticcontent/PDF/Prod_DE/Datenblatt_-_optoNCDT_2400_-_de.pdf
- [4] Messerschmidt B., Gradientenoptik, http://www.grin-tech.de/d_main_grin.htm
- [5] Kemo, Datenblatt des Kemo-Moduls M106, <http://www.kemo-electronic.com/pdf/m106/m106.pdf>
- [6] Kemo, Datenblatt des Kemo-Moduls M108, <http://www.kemo-electronic.com/pdf/m108/m108.pdf>
- [7] Wikipedia, Levenberg-Marquardt-Algorithm, http://en.wikipedia.org/wiki/Levenberg-Marquardt_algorithm

WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Messerschmidt B., Gradientenoptik - Innovative Mikrooptiken für Laserdiodenstrahlformung und Sensorik, Laser Technik Journal No. 3, 2005
- Messerschmidt B., Gradientenoptik - eine innovative Mikrooptik für die Optoelektronik und die medizinische Bildenerfassung, Photonik No. 6, 2003
- Kittel J., Schnieder L., Buess G., Messerschmidt B., Possner T., Endoscope-compatible confocal microscope using a gradient index-lens system, Opt. Commun. v.188, 2001

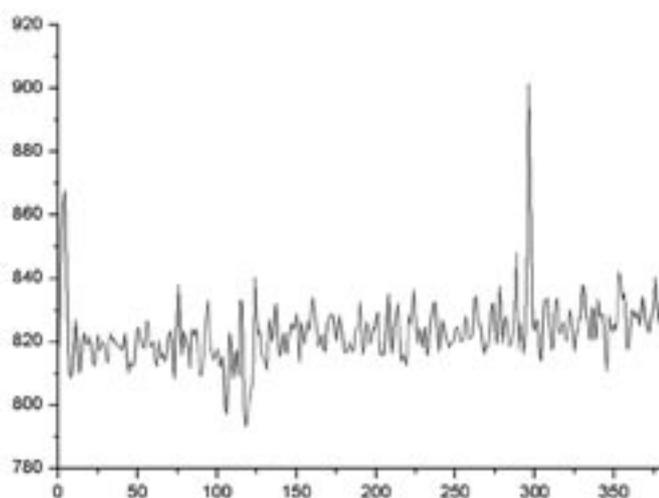


Abbildung 7: Fehler auf Oberfläche (Kratzer)

SIMULATIONS-SYSTEM FÜR DAS R/3-SYSTEM (SIM-R/3) DER SAP AG

EINLEITUNG

Stand der Technik in der industriellen Praxis ist die Regelung von Unternehmensprozessen durch Enterprise Resource Planning Systeme (ERP-Systemen) wie beispielsweise dem R/3-System der SAP AG. Bei der Implementierung von ERP-Systemen sind auch Verfahren, beispielsweise zur Losgrößenplanung, auszuwählen und geeignet zu parametrisieren. Da kein Verfahren für jeden Unternehmensprozess die besten Ergebnisse liefert, ist eine unternehmensprozessspezifische Einstellung unvermeidlich. Leider existieren auch keine gesicherten Erkenntnisse über günstige Einstellungen für die in der industriellen Praxis typischen Klassen von Unternehmensprozessen. Unterschiedliche Einstellungen müssten also an dem realen Unternehmensprozess über einen längeren Zeitraum getestet werden, was aus Zeitgründen nicht möglich ist. Ergänzend hierzu sei erwähnt, dass in [Bere05] sogar die Auffassung vertreten wird, dass ein einmal automatisierter Prozess - sofern es sich nicht um physische Prozesse, sondern um Software handelt - oft nie wieder in Frage gestellt bzw. weiter optimiert wird. Ein Ausweg bietet die Simulation eines Unternehmensprozesses, der dabei durch ein ERP-System geregelt wird. Mit dem im Labor für Informationstechnik und Produktionslogistik (IIP) an der Fachhochschule Regensburg als Pilot implementierten Simulations-System für das R/3-System (SIM-R/3) der SAP AG ist dies möglich.

1 EINORDNUNG UND ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Wie die Bemühungen von Organisationen wie die Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) der Gesellschaft für Informatik und dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) - über Richtlinien - sowie die große Anzahl einschlägiger Publikationen zur Simulation zeigen, ist die Simulation ein wichtiges Analyseinstrument für die Planung und den Betrieb von Produktions- und Logistiksystemen; s. z.B. [RaHe01] und [Wenz00]. Bei der Realisierung einer „digitalen Fabrik“ sollen Fertigungsanlagen am Bildschirm durchgetestet und optimiert werden, um die volle Anlagenkapazität zu erschließen und rechtzeitig Fehlerquellen zu entdecken, die ansonsten im Fabrikalltag zu sehr hohen Kosten führen. Grundlage jedes Simulationsexperiments ist ein Modell des zu untersuchenden Systems - beispielsweise eines Lagers oder einer Fertigungslinie. Dabei werden die Bearbeitungen (an Arbeitstationen) und Bewegungen (durch Transportsysteme) von Lagergütern bzw. von Werkstücken realitätsnah nachgebildet. Über Lasttests können realistische logistische Kennzahlen prognostiziert werden, Engpässe oder

etwaige Konflikte wie Kollisionen können aufgezeigt werden - auch eine Visualisierung der Abläufe ist möglich. Entscheidende Anforderung an das Modell ist, dass es sich ähnlich wie das Originalsystem im Hinblick auf Zielkriterien wie Servicelevelgrade, Auslastung, etc. verhält. Deswegen werden auch in der industriellen Praxis solche Simulationsergebnisse als realistisch eingestuft und sind als Grundlage für z.T. weitreichende Investitionsentscheidungen weitestgehend akzeptiert. Üblicherweise werden die realen Abläufe durch Warteschlangennetze nachgebildet. Die Regelungsentscheidungen erfolgen dann durch einfache Prioritätsregeln wie „First-In-First-Out (FIFO)“. Ein solches Vorgehen ist für die Dimensionierung bzw. zur Layoutplanung von Produktionsanlagen sicher ausreichend. Bei der Verbesserung von Prozessen sind die Verfahren zur Entscheidungsfindung selbst Gegenstand von Simulationsuntersuchungen.

Die Literatur zu quantitativen Planungsverfahren für die Produktionslogistik weist eine hohe Sensibilität der Lösungsgüte gegenüber selbst leichten Änderungen der Informationen nach. Bei French ([Fren86]) wird dies als Einfluss unbekannter Alternativen bezeichnet und durch das folgende Beispiel illustriert:

“Suppose that a man walks into a restaurant and sees from the menu that there are only two possible main courses, rump steak or roast chicken. He decides to have the chicken. The waiter arrives and announces that there is also Today’s Special, Dover sole with a white wine and herb sauce. Immediately the man changes his mind and chooses the steak.”

Bei Planungsproblemen zeigt sich häufig, dass ein in einer deterministischen Planungssituation optimales Verfahren in einem Konzept der rollenden Planung mit einem zeitlich sich verschiebenden Planungsfenster keine optimale Lösung liefert; z.B. beim Einsatz vom Wagner-Within-Verfahren zur Einprodukt-Losgrößenplanung [Temp02], oder auch beim Einsatz des Johnson-Algorithmus zur Fertigungssteuerung [Herr96]. Der beobachtete Effekt liegt an dem begrenzten Horizont des zugrunde liegenden Modells und an der expliziten Annahme über die Schnittstellen zur zeitlichen Umwelt. Deswegen kann ein exaktes Verfahren nicht a priori als das Verfahren angesehen werden, das auch unter praxisnahen Einsatzbedingungen zu den besten Ergebnissen führt; es seien wiederum die Erweiterung des Wagner-Within-Verfahrens ([Temp02] und [Stad00]) bzw. des Johnson-Algorithmus ([Herr96]) im Fall der Fertigungssteuerung als Beispiele angeführt. Durch andere Arbeiten (z.B. [NyWi02] oder [Gud02]) lässt sich diese Aussage verallgemeinern: Eine singuläre Betrachtung

einzelner Parameter ist oftmals nicht Erfolg versprechend, da Parameter sich gegenseitig aufheben können und Parameter, die in Laborsituationen große Auswirkungen haben, in einem Gesamtprozess nur marginale Bedeutung besitzen. Deswegen bietet es sich an, die Auswirkungen solcher Veränderungen in einem Gesamtprozess – i.e. vom Auftragseingang bis zur Auslieferung – zu analysieren.

In SIM-R/3 wird ein realitätsnahes Modell eines produktionslogistischen Prozesses in einem Simulationswerkzeug abgebildet. Auf dem Softwaremarkt werden mehrere Simulationssysteme angeboten [NoWe91]. Am häufigsten wird das System eM-Plant der Firma UGS (Tecnomatix) eingesetzt, weswegen es für SIM-R/3 ausgewählt worden ist. Im Zusammenhang mit Prozessen sei erwähnt, dass das Werkzeug ARIS der IDS Scheer AG ein Simulationsmodul enthält. Darüber hinaus kann ARIS an eM-Plant angebunden werden, wozu ein ARIS-Modell ins eM-Plant-System übertragen wird und dort simuliert werden kann. Durch die Anbindung von eM-Plant an das R/3-System der SAP AG wird dieser Prozess – genauso wie im Unternehmen – durch ein R/3-System geregelt. Dadurch hat SIM-R/3 einen Schwerpunkt auf Unternehmensprozesse, die durch SAP R/3 geregelt werden.

Eine Geschwindigkeitssteuerung im Simulationswerkzeug eM-Plant erlaubt eine im Vergleich zur physischen Zeit sehr geringe Simulationszeit; so dürfte die Simulation produktionslogistischer Prozesse über viele Jahre (der sogenannte Simulationshorizont, der z.B. in Arbeitsschichten gemessen werden kann) nur wenige Stunden Systemrechenzeit in Anspruch nehmen. Für aussagekräftige Ergebnisse ist die Länge des Simulationshorizonts entscheidend. Werden die Kennzahlen Schicht für Schicht über die bisherige Simulationszeit (also kontinuierlich) neu berechnet, so zeigt sich, dass die Schwankungen in diesen Kennzahlen mit zunehmender Simulationszeit abnehmen. Statistisch signifikante Ergebnisse liegen also dann vor, wenn die Kennzahlen stationär sind (i.e. bei längerer Simulation bleiben die Kennzahlen unverändert). Eine so definierte Simulationszeit muss natürlich invariant gegenüber Parameteränderungen sein. In [EHM94] erwies sich ein Simulationshorizont von 1000 Schichten als repräsentativ.

SAP R/3 (Dispositions-) Parameter wurden ebenfalls in [DMHH03] über eine Simulation untersucht. Dort wurde ein nicht näher beschriebenes, selbst entwickeltes Simulationssystem eingesetzt. Diese Arbeit zeigt die Anbindung an ein kommerziell verfügbares Simulationswerkzeug. Ein erster Prototyp wurde in circa 6 Mannmonaten realisiert.

Die gewählte Architektur SIM-R/3 ist so flexibel, dass auch andere ERP-Systeme an das eM-Plant-System angebunden werden können; auch die Ersetzung von eM-Plant ist möglich, aber nach der aktuellen Planung nicht vorgesehen. Eine solche beabsichtigte Erweiterung erlaubt auch einen Benchmark zwischen ERP-Systemen und führt zu dem geplanten Simulations-, Test- und Benchmarking-System für ERP-Systeme (SIM-ERP). Damit können Investitionsentscheidungen in ERP-Software abgesichert werden.

Die aktuelle Literatur (s. z.B. [Temp02]) über quantitative Planungsverfahren zeigen, dass substantielle Ergebnisverbesserungen nur durch die Ausnutzung der speziellen Struktur der Planungsprobleme erreichbar sind. Dies impliziert eine Abhängigkeit von der konkreten Unternehmensstruktur. Deswegen sollten solche Algorithmen individuell für ein Unternehmen entwickelt werden und können nicht als Teil von Standardsoftware angeboten werden. Mit SIM-R/3 (und später SIM-ERP) können solche Algorithmen getestet und insbesondere Ihre Verbesserung (beachte die oben beschriebene Beobachtung zum Wagner-Within-Algorithmus) können gegenüber Lösungen in Standardsoftware quantifiziert werden.

Im Folgenden wird zunächst die Regelung eines Prozesses durch ein SAP R/3-System beschrieben. Daraus wird eine Arbeitsweise von SIM-R/3 abgeleitet. Auf dieser Grundlage folgt die Beschreibung der Systemarchitektur. Im Ausblick werden die geplanten weiteren Arbeiten dargestellt.

2 REGELUNG VON PROZESSEN DURCH DAS SAP R/3-SYSTEM

In einem Produktionsunternehmen folgt die Regelung der Produktion auf Maschinen- bzw. Anlagenebene (den „Arbeitsstationen“) durch ein Enterprise Resource Planning System (ERP-System). Bei einer weitgehenden IT-Unterstützung gibt ein ERP – System über ein Bedienerterminal einem Werker den als nächstes zu bearbeitenden Teilauftrag vor (s. 1 in Abbildung 1). Ein Teilauftrag besteht aus einem oder mehreren Vorgängen eines Produktionsauftrags und wird nun von einem Werker bearbeitet (s. 2 in Abbildung 1). Nach einem Bearbeitungsende wird der Teilauftrag über ein Bedienerterminal von einem Werker zurückgemeldet, wobei die produzierte Gutmenge und der entstandene Ausschuss stets anzugeben sind (s. 3 in Abbildung 1). Zusätzlich werden weitere Daten verlangt, aus denen charakteristische Daten berechnet werden (s. 4 in Abbildung 1). Wichtige Beispiele

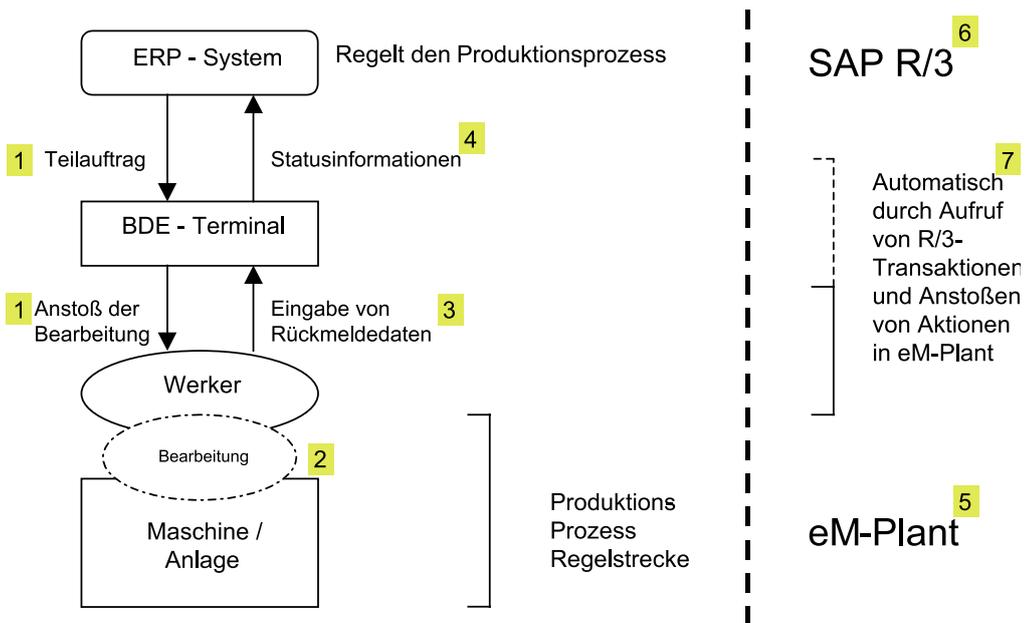


Abbildung 1: Regelung der Produktion auf Maschinen- / Anlagenebene durch ein ERP-System wie SAP R/3

hierfür sind auftragsbezogene Daten wie Start und Ende eines Arbeitsgangs, maschinenbezogene Daten wie Störzeiten nach Dauer und Ursache, werkzeugbezogene Daten, lagerbezogene Daten wie Zu- und Abgänge, mitarbeiterbezogene Daten usw.. Eine detaillierte Auflistung befindet sich in [Sche97]. Der Prozess ist seiner Natur nach als zyklisch zu verstehen.

In SIM-R/3 wird der eigentliche Produktionsprozess, die Regelstrecke, durch das Simulationswerkzeug eM-Plant realisiert (s. 5 in Abbildung 1). Als ERP-System kam das R/3 System der SAP AG zum Einsatz (s. 6 in Abbildung 1). Die Rolle von Werkern wird ebenfalls durch das eM-Plant-System übernommen. Dazu stößt SIM-R/3 für einen (als nächstes zu bearbeitenden) Teilauftrag entsprechende Aktionen im eM-Plant-System an und umgekehrt bewirken Ergebnisse im eM-Plant-System (wie beispielsweise das Bearbeitungsende eines Arbeitsgangs) einen Aufruf von geeigneten R/3-Transaktionen (s. 7 in der Abbildung). Damit erlaubt SIM-R/3 die Regelung produktionslogistischer Prozesse durch ein R/3-System über einen langen Zeitraum. Das gleiche Vorgehen wurde auf einen Gesamtprozesses - i.e. vom Auftragseingang bis zur Auslieferung - übertragen. Dies ermöglicht statistisch signifikante empirische Untersuchungen über die Auswirkungen von R/3-Parametern (wie Dispositionsparameter, Losgrößenverfahren oder Verfügbarkeitsverfahren) auf Leistungskennzahlen (wie Termineinhaltung) eines Gesamtprozesses.

3 SYSTEMARCHITEKTUR VON SIM-R/3

Für die oben beschriebene kooperative Verarbeitung zwischen dem SAP R/3 System und dem eM-Plant-System müssen beide Informationen austauschen. Für ein reibungsloses Zusammenspiel und einen reibungslosen Informationsaustausch bedarf es einer Koordination der einzelnen Softwarekomponenten. Für die Kommunikation und Koordination existieren verschiedene Ansätze (s. [Beng00]). Die einfachste Interaktion ist eine Nachrichtenübertragung. Danach würde ein Ereignis im eM-Plant-System zum Start einer R/3 Transaktion als Nachricht an das R/3-System gesendet. Umgekehrt würden Ergebnisse der Ausführung einer R/3 Transaktion als Nachricht zurück zum eM-Plant-System gesendet. Für eine solche Kommunikation zwischen dem SAP R/3-System und dem eM-Plant-System sind Nachrichtenübertragungssysteme erforderlich. Der de facto-Standard für Netzwerkanwendungen auf TCP/IP-Netzen sind sogenannte TCP/IP-Sockets. Es handelt sich um auf einem Betriebssystem liegende Nachrichtenübertragungssysteme. Sie basieren auf dem Internet-Protokoll, erlauben einen einfachen auf „send“ und „receive“ basierenden Nachrichtenaustausch und werden von jedem Betriebssystem angeboten. Neben dieser Lösung für die Rechnerkommunikation ist es erforderlich, dass die Softwaresysteme eM-Plant und SAP R/3 diese Nachrichten verstehen. Im Fall von eM-Plant wurde die vom Hersteller zur Verfügung gestellte Socket-Schnittstelle eingesetzt. Da das SAP

Prof. Dr.-Ing. Frank Herrmann
 Dipl.-Wirtsch.-Inf. (FH) Michael Kreutz
 Tel.: 0941 943-1307
 Fax 0941 943-1426
 frank.herrmann@informatik.fh-regensburg.de

Deswegen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass das hier vorgestellte Simulationssystem zur Regelung eines Produktionsprozesses mit SAP R/3 (SIM-R/3) einen wichtigen Beitrag für eine Kosten-Nutzen-Analyse und Parametrisierung unterschiedlicher produktionslogistischer Strategien für einen konkreten Produktionsprozess leisten kann. Experimente werden nun mit komplexen Produktionsprozessen durchgeführt, um die Potentiale und relevanten produktionslogistischen Parameter detailliert zu erforschen.

5 LITERATUR:

- [Beng00] G. Bengel: Grundkurs verteilter Systeme. Vieweg, Altrip, Deutschland, 2000
- [Bere05] D. Berensmann: IT matters - but who cares? Informatik Spektrum, Volume 28, Number 4, August 2005
- [DMHH03] J. Dittrich, P. Mertens, M. Hau und A. Hufgard: Dispositionsparameter von SAP R/3. Vieweg, Nürnberg, Deutschland, 2003
- [Fren86] S. French: Decision Theory - an Introduction to the Mathematics of Rationality. Ellis Horwood, Chichester, United Kingdom, 1986.
- [Gud02] T. Gudehus: Dynamische Disposition. Springer, Hamburg, Deutschland, 2002
- [EHM94] S. Engell, F. Herrmann, M. Moser: Priority rules and predictive control algorithms for on-line scheduling of FMS. In S. Joshi and J. Smith: Computer Control of Flexible Manufacturing Systems. Chapman&Hall, London, United Kingdom, 1994.
- [Herr96] F. Herrmann: Modifizierte Verzweige- und Begrenze-Verfahren zur Belegungsplanung in der Produktion. Dissertation, Shaker, Karlsruhe, Deutschland, 1996
- [NoWe91] B. Noche, S. Wenzel: Marktspiegel Simulationstechnik Produktion und Logistik
- [NyWi02] P. Nyhuis und H.-P. Wiendahl: Logistische Kennlinien. Springer, Hannover, München, Deutschland, 2002
- [RaHe01] M. Rabe und B. Hellingrath: Handlungsanleitung Simulation in Produktion und Logistik. SCS International, Berlin/Dortmund, 2001
- [Stad00] H. Stadler: Improved rolling schedules for the dynamic single-level lot-sizing problem. Management Science 46, 318 - 326
- [Sche97] A. W. Scheer: Wirtschaftsinformatik. Springer, Saarbrücken, Deutschland, 1997
- [Temp02] H. Tempelmeier: Materiallogistik. Springer, Köln, Deutschland, 2002
- [Wenz00] S. Wenzel: Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. SCS International, Dortmund, 2000

ANBINDUNG VON HALBLEITER FERTIGUNGSAUTOMATEN AN DIE SAP NETWEAVER PLATTFORM

Der vorliegende Beitrag geht der Frage nach, ob und wie die Ansteuerung von Halbleiter Fertigungsautomaten mit der SAP NetWeaver Plattform realisierbar ist. Dazu wird die derzeitige Rolle von ERP Systemen in der Halbleiterfertigung und mögliche zukünftige Entwicklungen diskutiert. In der Folge wird ein neuartiger Einsatz der SAP NetWeaver Plattform zur Ansteuerung von Halbleiter Fertigungsautomaten vorgeschlagen und die Evaluierung sowie Erstellung eines Prototyps, wie sie im Rahmen einer Diplomarbeit stattfand beschrieben.

ERP SYSTEME IN DER HALBLEITERFERTIGUNG: DER STAND DER TECHNIK

Das ERP (Enterprise Resource Planning) System stellt eine von insgesamt drei Ebenen eines CIM (Computer Integrated Manufacturing) Systems in einer Halbleiterfabrik dar. Bei den anderen beiden handelt es sich um das Produktionssteuerungssystem (MES) und die Fertigungsautomatisierung

(FA). Mit Bild 1 soll der Ablauf von der Bestellung bis zur Lieferung im Falle einer Auftragsfertigung schematisch erläutert werden.

Wenn eine Bestellung vom Kunden, etwa über die B2B Schnittstelle des ERP eingeht und es sich um ein neues Produkt handelt, wird die Produktspezifikation in einen Arbeitsplan und zugehörige Fertigungsanweisungen umgesetzt. Bis das Produkt in diesem Sinne in MES definiert ist, werden Fertigungsaufträge geblockt. Bei einem bekannten Produkt kann direkt ein Fertigungsauftrag vom ERP an MES ergehen. Mit einem Fertigungsauftrag wird die Losgründung im MES ausgelöst und das dazu notwendige Material in die Fertigung eingeschleust. Ein Planungsmodul im ERP bestimmt die Zuteilung des Materials zu den Fertigungsanlagen nach Optimierungszielen wie Einhaltung von Lieferterminen, Erhöhung der Auslastung oder Verringerung der Durchlaufzeit. Die Planung basiert auf der Verfügbarkeit der Fertigungsautomaten, den anstehenden Wartungsarbeiten, aktivierten und freigegebenen Rezepten

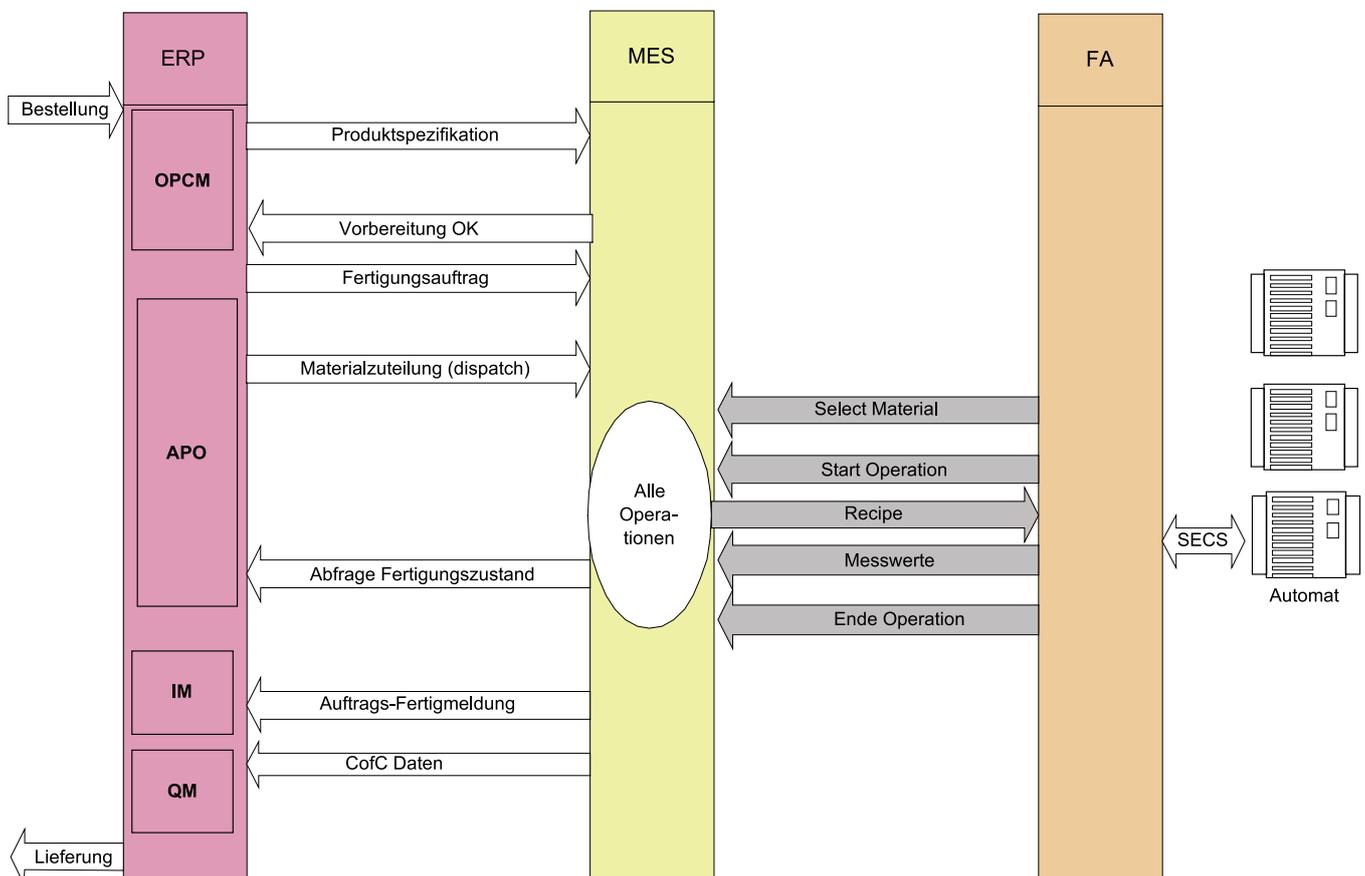


Bild 1: Fertigungsablauf in einer Halbleiterfabrik, stark vereinfacht

und den für die einzelnen Lose aktuell notwendigen Arbeitsschritten (Operationen). Deswegen wird als Planungsgrundlage der Fertigungsfortschritt vor jedem Planungslauf von MES und FA abgefragt. FA kommuniziert dabei nicht direkt mit ERP, sondern nur mit MES.

Ein Arbeitsschritt bedeutet die Ausführung eines Rezeptes an einem Los (oder auch mehreren) auf einer Anlage. Er umfasst die Auswahl des zu bearbeitenden Loses (entsprechend der Vorgabe des Planungsmoduls), die Initialisierung des Automaten gemäß der Fertigungsvorschrift mit dem notwendigen Rezept, der Anmeldung des Loses im Arbeitsschritt im MES, der Prozessierung auf der Anlage (inkl. Transport und Be- und Entladen), der notwendigen Betriebsdatenerfassung und Überwachung und schließlich der Abmeldung des Loses vom Arbeitsschritt im MES. Je nach dem Automatisierungsgrad der Fertigung übernimmt dabei FA die Ausführung eines Arbeitsschrittes ganz oder teilweise. Die Kommunikation von FA mit den Fertigungsautomaten erfolgt über ein standardisiertes Protokoll (SECS). Mit diesem Protokoll werden auch Informationen asynchron von den Automaten gemeldet, die auf unterschiedlichen Ebenen zu verarbeiten sind. Während der Bearbeitung können z.B. Messdaten anfallen, die an MES gemeldet werden müssen. Die fertigen Produkte werden, wenn alle Operationen durchlaufen sind, von MES an

das Inventory Management (IM) Modul zurückgemeldet. Die Produkte können dann zum Versand bereitgestellt werden. Optional werden verdichtete Fertigungsdaten für den Kunden hochgeladen.

Das 3 Ebenen Modell, bei dem MES vor allem die Arbeitspläne verwaltet, den aktuellen Fertigungszustand führt bzw. kontrolliert und die Fertigungssteuerung (entsprechend den Planungsergebnissen) übernimmt, war bislang sinnvoll, weil nur im MES die Fertigungs-relevanten Daten in der dazu nötigen Detaillierung modelliert und vorgehalten werden und FA diese Daten in nahezu Echtzeit benötigt bzw. aktualisieren will. ERP Systeme, insbesondere R/3, haben bisher weder den notwendigen Detaillierungs- und Spezialisierungsgrad geboten noch einen eventgetriebenen „Realzeit“ - Betrieb erlaubt und waren dafür auch nicht vorgesehen. Als Systemarchitektur und Komponentenmodell ergab sich damit das in Bild 2 wiedergegebene Schema. Die Kommunikation mit dem Equipment wird durch den sog. Equipment - Server (EQS) abgewickelt, der neben dem SECS Treiber die für das Equipment spezifische Konfiguration enthält. Die Fertigungs - Automatisierung eines Arbeitsschrittes wird von dem sog. Equipment - Controller (EQC) mit integrierter Workflow Engine (ebenfalls Equipment spezifisch) abgewickelt.

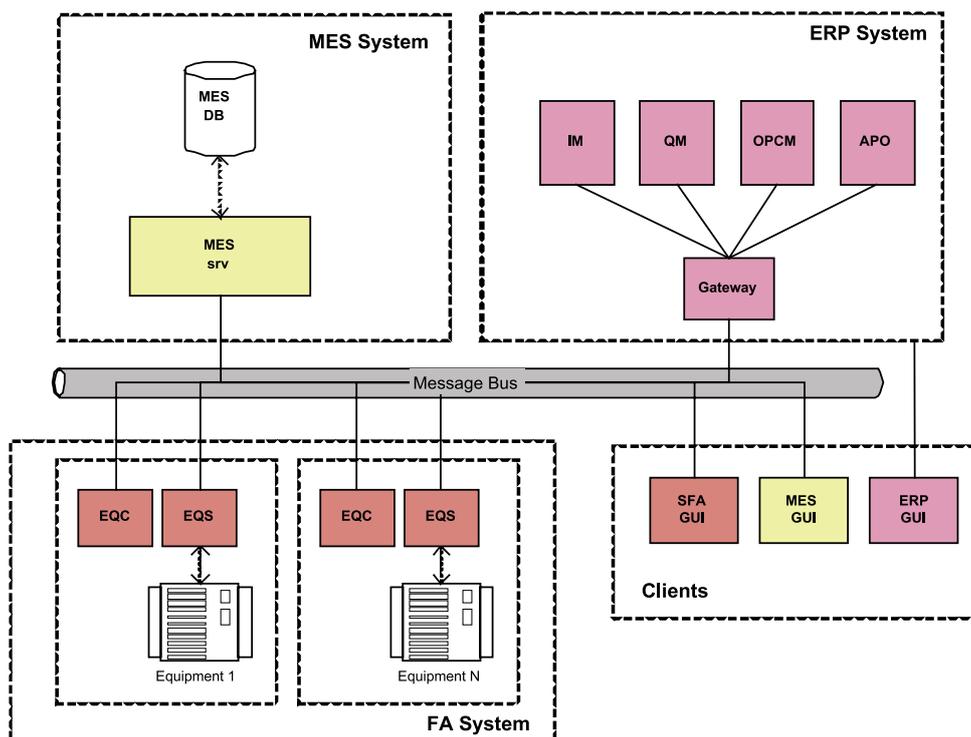


Bild 2: Halbleiter IT Architektur, vereinfachtes Beispiel

DAS MODELL HAT PROBLEME

Just in time?

Erforderlich für den Erfolg der Produktionsplanung durch ERP ist, den Planungslauf in möglichst kurzen Intervallen auszuführen und vor jedem Planungslauf ein korrektes Bild des Fertigungszustands in das Planungsmodul einzuspeisen. Es ist also wünschenswert, den Automatenzustand, die Losposition im Arbeitsplan und alle anderen Faktoren so zeitnah wie möglich an das Planungsmodul zu melden.

Datenbanken redundant

MES und ERP speichern die Daten redundant. Dies ist nicht wegen dem verschwendeten Speicherplatz verwerflich, sondern weil die Systeme ständig aufwändig synchronisiert werden müssen.

Heterogene Systeme

Unterschiedliche Plattformen wie Windows, div. Unix-Derivate und VMS kommen zum Einsatz. Bei den Programmiersprachen ist C, C++, COBOL, Java, VB, SmallTalk, C# gebräuchlich. Der Teilung in funktionale Bereiche folgte oft eine organisatorische Aufteilung mit komplexen Schnittstellen. Wenn nicht für jedes Equipment ein eigenes GUI existiert, so doch wenigstens verschiedene für die unterschiedlichen Ebenen (FA, MES, ERP), wie in der Zeichnung angedeutet.

EINE RADIKALE VISION

Eine Integration von möglichst vielen Aufgaben in SAP R/3 würden diese Probleme signifikant verringern. Durch den stabilen und leistungsfähigen J2EE Application Server der SAP AG einerseits und den umfangreichen Einsatz von Java Technologie im Hause Systema andererseits, sind unserer Ansicht nach alle Voraussetzungen erfüllt, um diese Idee umsetzen zu können. Konkret wurde in dieser Arbeit die Equipment - Kopplungen (EQS, SECS - Treiber) auf eine SAP NetWeaver Plattform zu portieren evaluiert. Die dadurch zu erwartenden Vorteile sind:

- Homogene Laufzeit-Umgebung und Infrastruktur (Nutzung ERP Technologie wie J2EE, Webservices, JMS, etc. für die FA) und damit einhergehende Reduktion und / oder Vereinfachung von Schnittstellen
- Vermeiden redundanter Datenhaltung
- Standardisierte Mittel zur Entwicklung und Konfiguration sowie zum Betrieb und Monitoring
- Mögliche Nutzung der „Business Process Engine“ als Workflow System zur Automatisierung von Arbeitsschritten inkl. Versionierung und „Business Process Monitoring“

MÖGLICHKEITEN ZUR PORTIERUNG DER SECS SCHNITTSTELLE AUF DIE J2EE PLATTFORM

Fernziel ist die Portierung/Implementierung des Systema Java Equipment Servers (EQS) mit erweiterter Funktionalität auf der SAP NetWeaver Plattform. Eine notwendige Grundlage für eine solche Implementierung, ist die Möglichkeit der Equipment Kommunikation sowohl Inbound als auch Outbound. Dazu gibt es im J2EE Umfeld theoretisch eine Reihe von Möglichkeiten.

Java Ressource Adapter für J2EE Application Server

Die J2EE Connector Architecture (JCA) definiert eine Standard Architektur für die Verbindung der J2EE Plattform zu heterogenen EISs. Sie ist derzeit in zwei Versionen spezifiziert, die sich erheblich unterscheiden. Aktuell im SAP NetWeaver'04 implementiert ist die Version 1.0. Diese definiert gemäß ihrer Spezifikation.

- Eine Anzahl von Standardkontrakten zwischen Anwendungsserver und EIS. Diese beziehen sich auf die Integration des Verbindungsmanagements, der Transaktionsverwaltung sowie der Sicherheit auf Systemebene.
- Das Common Client Interface (CCI) als API zur Integration verschiedenster EIS
- Ein Deployment und Package Protokoll für Ressource Adapter.

Version 1.5 der Spezifikation erweitert dies und definiert zusätzlich

- Lifecycle Management Contract
- Work Management Contract
- Transaction Inflow Contract
- Message Inflow Contract
- Typ bezogenes Package Modell für Resource Adapter (Inbound, Outbound, Both).

Daraus ist bereits ersichtlich, dass die zur Portierung des EQS benötigte Möglichkeit des Message Inflow in der aktuellen Version 1.0 nicht gegeben ist. Die bereits enthaltenen `ConnectionEventListener` (siehe Listing 1) sind in Verbindung mit den `ConnectionEvents` auf Grund ihrer jeweiligen Interfacedefinition grundsätzlich nicht zur Weitergabe von Equipment Events geeignet und stellen somit auch keine Möglichkeit zum Message Inflow dar.

Mit JCA Version 1.5 ist eine Implementierung aufgrund des Lifecycle Management Contract und des Message Inflow Contract möglich. Diese wäre aufgrund ihrer Unabhängigkeit vom verwendeten J2EE Server die optimale Lösung, ist aber auf der SAP NetWeaver'04 Plattform nicht umsetzbar.

```

public interface javax.resource.spi.ConnectionEventListener
{
    public void connectionClosed(ConnectionEvent event);
    public void connectionErrorOccurred(ConnectionEvent event);
    public void localTransactionStarted(ConnectionEvent event);
    public void localTransactionCommitted(ConnectionEvent event);
    public void localTransactionRolledback(ConnectionEvent event);
}
javax.resource.spi.ConnectionEvent
// provides the following event notifications
    CONNECTION_CLOSED
    LOCAL_TRANSACTION_STARTED
    LOCAL_TRANSACTION_COMMITTED
    LOCAL_TRANSACTION_ROLLEDBACK
    CONNECTION_ERROR_OCCURRED

```

Listing 1: ConnectionEventListener

JMX non-core Komponente

Eine theoretische Möglichkeit wäre, den EQS, wie in JBoss möglich, als non-core Service Komponente zu implementieren und auf einem JMX basierten Kernel laufen zu lassen. Da das dazu erforderliche JMX Micro Kernel Modell jedoch JBoss spezifisch ist und von anderen Anwendungsservern gar nicht bzw. nur über sehr spezielle Umwege unterstützt wird, ist dies nicht praktikabel. Die Möglichkeit den EQS als MBean zu schreiben und im SAP Web AS zu betreiben besteht zwar grundsätzlich, jedoch mit der Einschränkung, dass dieses MBean nicht automatisch während des Deployments am MBean Server registriert/erzeugt wird. Dies müsste z.B. durch ein spezielles Servlet geschehen, welches in der Server Rolle Administrator läuft. Letztendlich würde eine derartige Lösung einen Workaround darstellen, um nicht vorgesehene Funktionalität doch noch zu ermöglichen. Sie wurde daher als nicht geeignet eingestuft.

Adapter für SAP-XI Infrastructure

Eine weitere Möglichkeit stellt die Implementierung eines SECS-I/II Adapters mit Hilfe des SAP Partner Connectivity Kit (PCK) dar. Das PCK ist eine J2EE basierte Applikation, welche das SAP Adapter Framework verwendet. Das Adapter Framework basiert auf der SAP J2EE Engine sowie der J2EE Connector Architecture Version 1.0 und ermöglicht sowohl Outbound als auch Inbound Nachrichtenverkehr. Der in der JCA Spezifikation fehlende Inbound Teil wird dabei über einen Standard Enterprise Java Session Bean Aufruf an das Adapter Framework ermöglicht. Diese Variante ist unter den gegebenen Voraussetzungen zurzeit die einzig sinnvolle Möglichkeit, einen SECS Adapter als Prototyp zu implementieren. Zumal durch die JCA 1.0 Basis damit bereits ein

Teil der optimalen Lösung, einer Implementierung als JCA 1.5 Adapter, realisiert ist. Eine spätere Portierung sollte daher möglich sein.

JRA für J2EE AS mit Inbound Session Bean Kommunikation

Diese Möglichkeit setzt eine komplette Eigenentwicklung voraus. Die Funktionsfähigkeit beruht auf der (spezifikationskonformen) Erreichbarkeit von Session Beans aus einer JCA 1.0 konformen Resource Adapter Implementierung.

Um einen Message Inflow zu ermöglichen, könnte der Adapter, ähnlich wie es Adapter für die SAP-XI realisieren, via JNDI eine Session Bean Referenz erzeugen und seine Inbound Daten über dieses dem J2EE Environment zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stellen. Diese Variante ist für den produktiven Einsatz nicht zu empfehlen. JCA 1.0 konforme Resource Adapter verfügen über keinen Mechanismus, welcher sie über ihren eigenen undeploy, redeploy, resepektive start und stop des J2EE Servers informieren könnte. Das führt zu Problemen bei der Allokierung und Freigabe von externen Ressourcen (im konkreten Fall der Equipment Verbindung) der auch nicht einfach durch den Einsatz von `finalize()` gelöst werden kann. Es müsste vielmehr eine Interfaceschicht, wie sie SAP-XI Adapter implementieren, selbst entwickelt und angepasst werden. Der Aufwand dafür ist zum einen nicht vernünftig abschätzbar, zum anderen würde dies den Nachbau bereits durch das SAP Adapter Framework bereitgestellter Technologie bedeuten. Diese Nachteile werden als schwerwiegend eingestuft und überwiegen den Vorteil der geringeren Anforderungen an Software und Hardware zur Laufzeit. Daher kann diese Lösung nicht empfohlen werden.

ENTWICKLUNGSUMGEBUNG

Hardware

Als SAP XI Entwicklungssystem kam für diese Arbeit ein Server mit folgenden Eckdaten zum Einsatz:

CPU	2 x Intel XEON 2.8 GHz
RAM	4096 MB ECC
HDD	Ultra-320 SCSI RAID
OS	Windows 2003 Server Standard

Zusätzlich stand ein separater Entwicklungsserver mit einer SAP PCK Installation zur Verfügung. Diese Maschine verfügte über folgende Eckwerte:

CPU	1 x AMD Athlon 64 3200+
RAM	2048 MB DualChannel DDR
HDD	SATA II RAID
OS	Windows 2003 Server Standard

Als Entwicklersysteme kamen handelsübliche PC der aktuell mittleren bis oberen Leistungsklasse unter Windows 2000 SP4 zum Einsatz. Dies war ausreichend, da auf die Verwendung lokaler J2EE Engines verzichtet wurde. Alle Rechner waren über 100 MBit/s Ethernet an das Firmennetzwerk angebunden.

Software

Es kam SAP NetWeaver'04 mit SPS 14 zum Einsatz. Als Datenbank wurde auf beiden Servern SAP MaxDB Version 7.5.00.18 verwendet. Das SUN J2SDK war auf beiden Servern 1.4.2_09. Auf dem XI Server waren systembedingt sowohl der Web AS ABAP, als auch der Web AS Java installiert. Auf diesen Komponenten war die Exchange Infrastructure deployed. Das PCK wurde auf einen SAP Web AS Java deployed. Die Entwicklerarbeitsplätze verfügten über eine SUN J2SDK 1.4.2 Installation (Patchlevel \geq 09), einen Browser mit Java Support (konkret Mozilla Firefox in aktueller Version), sowie ein NetWeaver Developer Studio Version 2.0.14.

IMPLEMENTIERUNG DES SECS XI-ADAPTER PROTOTYPS

Für die Implementierung sollte der Systema Java SECS-II Treiber verwendet werden, um bestehendes Know-How weiter zu verwenden und den Aufwand in verantwortbaren Grenzen zu halten. Da dieser Treiber nicht für den Einsatz in J2EE Servern entwickelt wurde, enthält er eine Reihe von Funktionen und Komponenten, die im J2EE Umfeld als problematisch anzusehen sind. Einerseits ist dies die selbständige Erzeugung von nativen Java Threads, die nicht der Kontrolle des J2EE Thread Managers unterstehen, andererseits die Verwendung von Interfaces und Funktionen der Systema Standard Java Library 2 (SC2). Da ein XI konformer Adapter aber ein lightweight low-level Software Treiber für externe Systeme sein soll, wurden für den Prototyp bzgl. dieser Punkte Kompromisse eingegangen, die in einer produktiven Umsetzung nicht vertretbar sind. So wurde vorerst nur der Hauptthread des Treibers der Kontrolle des J2EE Thread Managers unterstellt. Weiterhin wurde das Logging des Treibers durch eine Systema Interfaces

implementierende Proxy Klasse auf das SAP Tracing/Logging umgeleitet. Um die Entwicklung zu vereinfachen, unterstützt der erste Adapterprototyp nur die Verbindung zu einem Equipment, nur HSMS als Verbindungsprotokoll und keine Content Umsetzung im Sinne von EQS Funktionalität. Der Adapter sollte sich jedoch bzgl. Logging / Tracing / Monitoring / Controlling / Administration in die dafür vorgesehenen SAP Umgebungen integrieren und über die zugehörigen Standard Werkzeuge steuerbar sein. Unbedingt gefordert waren die synchrone Kommunikation von einem Kommunikationspartner zum Adapter, sowie die asynchrone Kommunikation von und zum Adapter. Bei der asynchronen Kommunikation wurde der Prototyp zunächst auf die Erfüllung der QoS „exactly once“ beschränkt.

Implementierungsschritte

Die Implementierung bis zum Erreichen des funktionsfähigen Prototyps verlief in folgenden Schritten.

1. Evaluieren der geforderten Spezifikationen für SAP-XI konforme Adapter
2. Evaluieren der verfügbaren Utilities und Tools und Integrationsmöglichkeiten für den Adapter
3. Evaluieren der Anforderungen durch die JCA 1.0 Spezifikation
4. Ausarbeitung einer Strategie zur möglichst einfachen Einbindung des Systema Java SECS-II Treibers
5. Umsetzen der daraus resultierenden Änderungen am Systema Java SECS-II Treiber
6. Implementierung der Anforderungen aus 1 und 3 und Einbinden des modifizierten Treibers gemäß 4
7. Anlegen des Adapters und einer Testapplikation (EQS) als Produkt/SC im SLD
8. Anlegen entsprechender Business Systeme im SLD
9. Importieren der unter 7 angelegten SCs aus dem SLD in das Integration Repository
10. Definieren der Adapter Metadaten und Import in das Integration Repository
11. Definieren eines einfachen Message Interfaces für Kommunikationstests
12. Implementierung der Tool und Utility Integration gemäß 2
 - 12.1. Logging/Tracing
 - 12.2. Konfiguration
 - 12.3. Adaptermonitoring
 - 12.4. Message Monitoring
13. Erstellen der Deployment - Deskriptoren
14. Packen und Deployen des Prototyps
15. Erzeugen von Java Proxies für die unter 11 definierten Interfaces

16. Implementieren und Deployen der Testapplikation unter Verwendung der Java Proxies
17. Registrieren der Server Proxy Implementierungen bei der Java Proxy Runtime (JPR)
18. Konfiguration der Kommunikation im Integration Directory
 - 18.1. Services zu den Business Systemen gemäß 8 erzeugen
 - 18.2. Kommunikationskanäle definieren
 - 18.3. Empfängervereinbarungen, Sendervereinbarungen, Interfaceermittlung und Empfängerermittlung mit den Daten aus 18.1 und 18.2 definieren
19. Testen der Kommunikation zwischen Equipment Simulator und Testapplikation
20. Testen der Tool und Utility Integration

Weiterentwicklung

Der aktuelle Prototyp weist eine Anzahl von Einschränkungen auf. Eine Weiterentwicklung wird zunächst in folgenden Punkten erfolgen.

- Multi Equipment Support
 - kanalspezifische Konfiguration
 - equipmentspezifisches Logging/Tracing des SECS Treibers
 - Reconnect Support
- Unterstützung mehrerer Verbindungsprotokolle
 - RS-232 over TCP (Terminalserver)
 - HSMS

- Content Umsetzung (aufgaben-spezifisch gruppierte Message Interfaces)
 - vollständige Integration des SECS Treibers
 - Thread Management
 - Logging/Tracing
 - Monitoring
 - Konfiguration
 - Unterstützung der QoS „exactly once in order“
- Nach Implementierung dieser Punkte, können die notwendigen Untersuchungen bzgl. Performance und Stabilität beginnen. Hierbei sind, bei gegebener HW Ausstattung, insbesondere folgende Punkte interessant.
- Mögliche Anzahl von Equipments
 - Nachrichtendurchsatz bei typischem Nachrichtenmix
 - Auftreten von Nachrichtenverlusten?
 - Flaschenhalse?
 - Optimierungsmöglichkeiten durch
 - Anpassungen in der Adapterimplementierung
 - Anpassung von Parametern in den beteiligten SAP Systemen

Kommunikationsablauf

Bild 3 zeigt ein Modell der Konfiguration und Kommunikation der beteiligten Komponenten. Bei synchroner Kommunikation von der Testapplikation (EQS) zum Equipment Simulator beginnt der Ablauf mit dem Aufruf der Proxy Klasse des synchronen Outbound Nachrichteninterfaces durch die

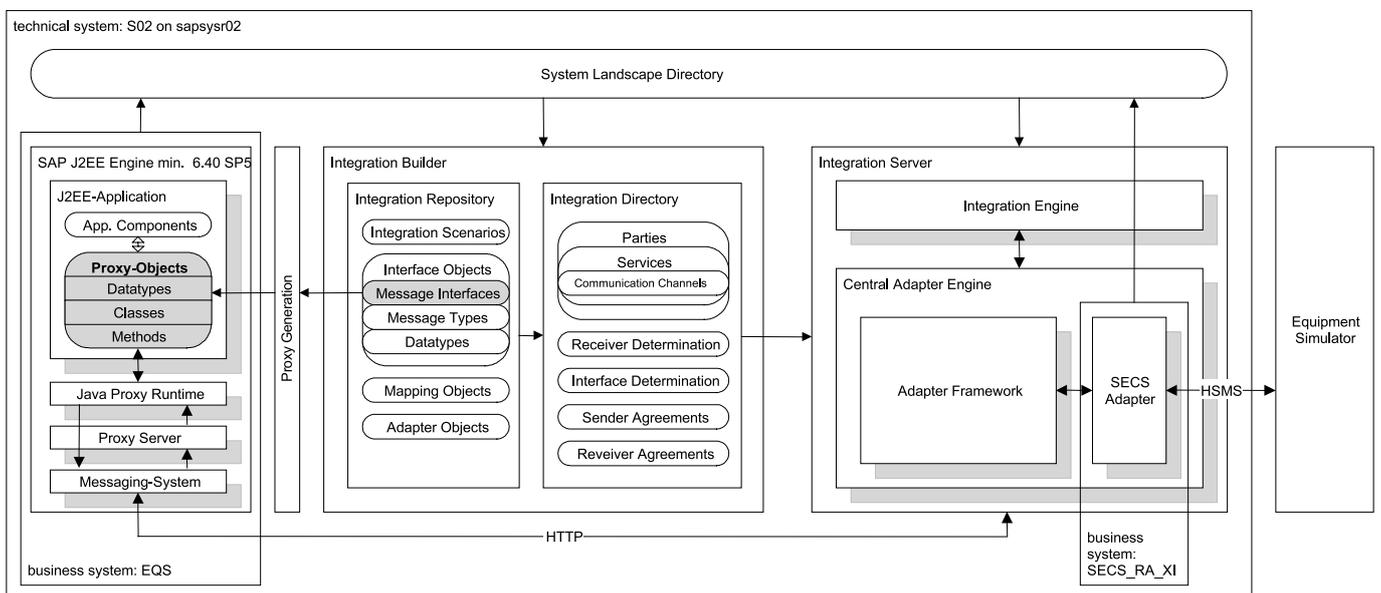


Bild 3: Gesamtsystem mit Testapplikation und Prototyp

Anwendung unter Übergabe einer, durch das Nachrichteninterface definierten Nachricht. Diese besteht aus den Feldern Stream (int), Function (int) sowie Content (String). Die Proxy Klasse gibt diese Informationen an die Java Proxy Runtime weiter. Diese leitet den Aufruf an das Messaging-System, welches mit dem Integration Server via HTTP(S) kommuniziert. Im Integration Server werden die Informationen von der Integration Engine und dem Adapter Framework auf Grund der Konfiguration im Integration Directory verarbeitet. Es erfolgt die Empfängerermittlung, die Interfaceermittlung, das technische Routing sowie das Interface Mapping. Die Adapter Engine übergibt schlussendlich die Kontrolle über eine Call Interaction an den SECS Adapter, welcher den über Stream und Function festgelegten SECS Request an das Equipment absetzt. Der Reply wird entsprechend der Interface Vereinbarung vom Adapter mit getauschten Header Informationen (fromParty, toParty, fromService, toService) sowie der referenzierten Message Id des Requests erzeugt und über den Out - Record zurückgegeben. Das Zurückleiten an die Anwendung erfolgt über den umgekehrten Weg des Requests. Schlussendlich erhält sie den Reply als Rückgabewert ihres initialen Aufrufes.

Die asynchrone Kommunikation in beide Richtungen unterscheidet sich von der synchronen hauptsächlich darin, dass kein Rückgabewert erwartet wird. Weiterhin erfolgt eine Persistierung der Nachrichten, was bei synchroner Kommunikation nicht der Fall ist. Asynchrone Nachrichten können zudem entweder mit der QoS „Exactly Once“ oder „Exactly Once in Order“ verarbeitet werden. Die Übergabe der Nachrichten an den Adapter erfolgt in diesem Fall über die Send Interaction, wobei der Adapter den Out Record nicht mit Daten versorgt, da kein Reply erwartet wird. Die Send Interaction ist wie die Call Interaction im SECS Adapter implementiert. Im Fall der Kommunikation vom Adapter zur Testapplikation übergibt der Adapter die Nachricht zunächst an das Adapter Framework. Von dort wird sie nach der Verarbeitung im Integration Server über die, bei der Java Proxy Runtime registrierte Server-Proxy-Bean Implementierung des asynchronen Inbound Nachrichteninterfaces an die Testapplikation ausgeliefert.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit zeigt, dass die SAP NetWeaver Plattform prinzipiell geeignet ist, per SECS Kommunikation mit Halbleiter Fertigungsautomaten zu kommunizieren. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde ein Prototyp erstellt, mit dem synchrone und asynchrone Kommunikation umgesetzt wurde.

LITERATURANGABEN

- Arnold D., Isermann H., Kuhn A. „Handbuch Logistik“, Springer, Berlin; 2. Auflage, Oktober 2003
- Scheer A.-W. „Wirtschaftsinformatik Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse“, Springer, Berlin; 7. Auflage, Oktober 1997
- Hopp W. J., Spearman M. L., „Factory Physics Foundations of Manufacturing Management“, McGraw-Hill, 1996, ISBN 0-256-15464-3
- ANSI/ISA-S95.00.01-2000, „Enterprise Control System Integration Part I: Models and Terminology“, ISA, 2000, ISBN 1-55617-727-5
- ANSI/ISA-S95.00.02-2001, „Enterprise Control System Integration Part II: Object Model Attributes“, ISA, 2001, ISBN 1-55617-773-9
- ANSI/ISA-S95.00.03-2005, „Enterprise Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations and Management“, ISA, 2005, ISBN 1-55617-955-3
- Stumpe, J., Orb J., „SAP Exchange Infrastructure“, Galileo Press, Bonn, 2005, ISBN 1-59229-037-X
- Kessler, K., Tillert, P., Dobrikov, P. „Java Programmierung mit dem SAP Web Application Server“, Galileo Press, Bonn, 1. Auflage, 2005, ISBN 3-89842-317-4
- Wohanka, C. „Evaluierung SAP NetWeaver & Testimplementierung eines SECSI/II Adapters für SAP Exchange Infrastructure“, Diplomarbeit, FH Regensburg, 2006 (unveröffentlicht)

Abkürzungen

- APO** **Advanced Planner and Optimizer** Ein Modul von SAP, welches in der Lage ist, die Fertigungsschritte einzelner Produkte auf Maschinen so zu verteilen, dass eine optimale Maschinenauslastung zur Einhaltung der Liefertermine erreicht wird.
- AS** **Application Server**
- EIS** **Enterprise Information System.**
- EQC** **Equipment Controller** (Manchmal auch EM = Equipment Manager) Eine Applikation zur Zustandsüberwachung und -Steuerung einer Maschine. Anwendungen, die auf PCs oder kleinen Unix-Workstations oft in der Nähe der Equipments laufen.
- EQS** **Equipment Server** Treiber mit erweiterter Funktionalität zur Standardisierung der Equipmentkommunikation.
- ERP** **Enterprise Resource Planning**
- FA** **Factory Automation** Fertigungssteuerung auf Maschinenebene.

Prof. Dr.-Ing. Frank Herrmann

Tel.: 0941 943-1307

Fax 0941 943-1426

frank.herrmann@informatik.fh-regensburg.de

- HSMS High Speed SECS Message Service** (SEMI Standard E37, E37.1, E37.2)
- IM Inventory Management** Materiallagerverwaltung, hier werden u.a. fertige Produkte zum Versand bereitgestellt.
- J2EE Java 2 Enterprise Edition** Sun Microsystems Standard
- JCA J2EE Connector Architecture** Sun Microsystems Spezifikation (1.0, 1.5 <http://java.sun.com/j2ee/connector/download.html>)
- JMX Java Management Extensions** Spezifikation zur Verwaltung und Überwachung von Java Anwendungen
- JNDI Java Naming and Directory Interface**
- JPR Java Proxy Runtime** Ermöglicht das Empfangen und Senden von Nachrichten von bzw. zu einem XI Integration Server aus einer J2EE Anwendung heraus
- JRA Java Resource Adapter**
- MBean Managed Beans** Java Klassen, welche ein Management Interface veröffentlichen und darüber via JMX verwaltet werden können
- MES Manufacturing Execution System** Kernkomponente ist das Produktionsplanungs- und Steuerungssystem. Diese Software lenkt Lose gemäß bestimmten Fertigungsabläufen (Route) an die einzelnen Arbeitsschritte (Operationen). Es ist u.a. Aufgabe des PPS, Termine und Abläufe einzuhalten.
- OPCM SAP Transaktion zur Masterdatenverwaltung für Produktionsplanung.** Hier werden mit dem Kunden vereinbarte Parameter des Produkts verwaltet.
- QM Quality Management** Hier werden verdichtete Messwerte aus der Fabrik zurückgemeldet, um für den Kunden eine Auswertung über die Produktqualität zu erstellen.
- QoS Quality of Service** Hier Nachrichtenübertragung im XI: BE= „best effort“, EO= „exactly once“ EOIO= „exactly once in order“
- SC Software Component**
- SC2 Systema Standard Java Library 2** Java Basisbibliothek der Systema GmbH
- SECS Semiconductor Equipment Communication Standard** (SEMI Standard SECS I = E4, SECS II = E5)
- SLD System Landscape Directory** Verzeichnisdienst für die installierte SAP Systemlandschaft.
- XI SAP Exchange Infrastructure.** Integrationsplattform

Seit über 55 Jahren
Ihr leistungsstarker Partner

Götz
Dienste von Qualität
□□□□

Mit über 60 Niederlassungen und Stützpunkten in Bayern, Baden-Württemberg, Berlin, Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Österreich, in der Schweiz, der Tschechischen Republik, in Ungarn und Kanada.

zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2000 und 14001:2005

- Reinigung und Hygiene
- Industriewartung
- Umweltpflege
- Sicherheitsdienst
- Personalleasing
- Catering

**Götz-Gebäudemanagement RSL
GmbH & Co KG**
Hofer Straße 10
93057 Regensburg

Tel. (09 41) 64 04-0, Fax: (09 41) 64 04-190
http://www.goetz-dienste.com
Email: goetz@goetz-dl.de



Donaulände 20a
93055 Regensburg
T: 09 41 / 69 87 66-0
Mail: info@assit.de

Die ASSIT GmbH entwickelt, fertigt und vertreibt neue, innovative Magnetfeldsensorik und darauf aufbauende Systeme. Die Anwendungsgebiete umfassen dabei Verkehrsdatenerfassungs- und -Leitsysteme für Straßen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr sowie Steuerungen im Industriebereich, der Fahrzeugindustrie,

der Materialprüfung, Sicherheitssysteme und vieles mehr. Innovative Technologien, Individualität der Lösungen und optimale Erfüllung von Kundenwünschen zeichnen unser Unternehmen aus, das sich somit weltweit an der Spitze dieses Entwicklungsbereichs positioniert.

GROW ist ein regionales Netzwerk zur Förderung der Gründungsaktivitäten an allen sechs ostbayerischen Hochschulen im Rahmen des Exist-Programmes des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Dazu kommen als Partner die gemeinnützige Stiftung Hans Lindner Institut und das Amt für Wirtschaftsförderung der Stadt Regensburg. Die Koordination von GROW erfolgt durch Prof. Dr. Christian Lendner, dem Hans-Lindner-Stiftungsprofessor für Gründungsmanagement und Entrepreneurship an der FH Deggendorf.

Projekte von GROW:

- Zusatzstudium Gründungsmanagement und Unternehmensnachfolge
- FerienAkademie über Existenzgründung
- Ideenwettbewerb
- Gründerberatung
- Regionales Expertennetzwerk



"MBA Unternehmensgründung und -führung"

- Berufsbegleitender u. praxisorientierter kostenpflichtiger Weiterbildungsstudiengang
 - Unternehmensgründung und -führung
 - Wachstums- und Krisenmanagement
 - Unternehmensnachfolge
 - Fokus: kleine und mittelständische Unternehmen
- www.unternehmer-mba.de** oder mba@grow.org

Als Spezialist für CIM-Systemintegration und Fertigungsautomatisierung in der Halbleiterindustrie hat sich SYSTEMA als ein Unternehmen etabliert, das renommierte Firmen wie AMD, Hewlett Packard und Infineon zu seinen weltweiten Kunden zählt. Das Spektrum der eingesetzten Lösungen reicht dabei von der Equipmentkopplung zu MES-Systemen über APC und SPC bis hin zur Bedienung von SAP- und SAS-Schnittstellen.

Neben der Halbleiterbranche entwickelt SYSTEMA Anwendungen und kaufmännische Verfahren für Krankenhäuser, kommunale Betriebe und staatliche Dienststellen. Dazu arbeitet SYSTEMA im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Arbeit und Sozialordnung, Familie und Frauen.

Als Projekt-, Dokumenten- und Qualitätsmanagementsystem setzt SYSTEMA auf eine Eigenentwicklung unter IBM Lotus Notes.

Kontakt Marketing & Vertrieb: Jochen.Kinauer@SYSTEMAGmbH.de

SYSTEMA

Systementwicklung
Dipl.-Inf. Manfred Austen
GmbH

Manfred-von-Ardenne-Ring 6
01099 Dresden
Tel.: +49 351 / 8824 - 60
Fax: +49 351 / 8824 - 772

Schikanederstr. 2 B - Posthof
93053 Regensburg
Tel.: +49 941 / 78392 - 0
Fax: +49 941 / 78392 - 72

www.SYSTEMAGmbH.de

Sind Ihre Kopier-, Druck- und Faxsysteme rationell und preisoptimiert?

Das T.O.M. Total-Output-Management schafft Übersicht, spart Zeit und hält Papierberge klein – ohne Neuinvestition.

Senken Sie Ihre Kosten!

Wir erstellen Ihnen eine unverbindliche Analyse Ihrer momentanen Ist-Kosten und ein Angebot auf der Basis unserer Einkaufsvorteile der Triumph-Adler-Gruppe.

TA Triumph-Adler

Niederlassung Regensburg

TA Triumph Adler-Bayern GmbH

Bayerwaldstraße 12, 93073 Neutraubling
Telefon: 09401 / 9266 - 0 • Fax: 09401 / 9266 - 21
Mail: Heinz.Pflammingen@Triumph-Adler.net
www.ta-bayern.de



Ihr Vorteil:

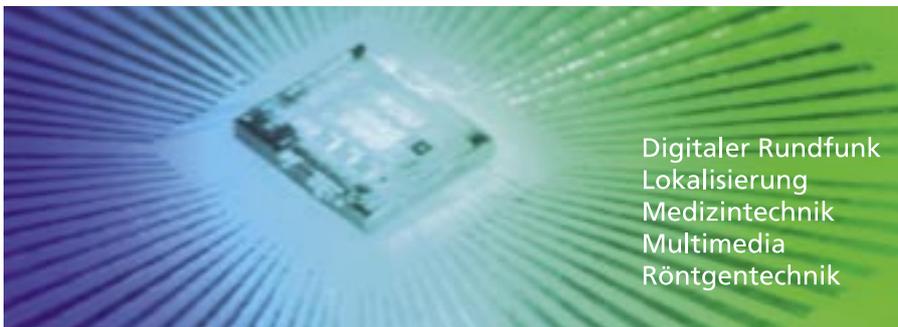
- Einsatz optimaler Hardware
- Poolabrechnung des gesamten Output-Volumens
- Budget- und Planungssicherheit, da einheitlicher Seitenpreis
- Effektive Kostenersparnis 10% bis 25%
- Höhere Flexibilität und mehr Spielraum für technische Innovationen
- Bundesweiter Service

Unser Sonderservice:

- Ablösung bestehender Verträge
- Übernahme vorhandener Hardware

Wir entwickeln die Technik für morgen

Die Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS forschen in enger Kooperation mit ihren Auftraggebern in den Bereichen integrierte Schaltkreise, Kommunikationstechnik und bildverarbeitende Systeme. Standorte des Instituts sind Erlangen, Nürnberg, Fürth und Dresden.



Digitaler Rundfunk
Lokalisierung
Medizintechnik
Multimedia
Röntgentechnik

Fraunhofer-Institut für
Integrierte Schaltungen IIS
Am Wolfsmantel 33
91058 Erlangen
www.iis.fraunhofer.de



Fraunhofer Institut
Integrierte Schaltungen

Es gibt Tage, da könnte man doppelt so viele Mitarbeiter beschäftigen. Wir hätten da eine Lösung!



Esterbauer  **Windisch**
PERSONALSERVICE • DIE BESTEN KÖPFE FÜR IHREN JOB

Wir sind ein führender, zertifizierter Personaldienstleister mit über 1.000 begeisterten und motivierten Mitarbeitern an sechs Standorten in Bayern.

Esterbauer & Windisch
Kumpfmühler Straße 30
93051 Regensburg
Telefon 0941/6 30 96-0
Telefax 0941/6 30 96-20

WIE EIN MOBILER ROBOTER DAS LAUFEN ERLERNT

Zusammenfassung: Im Rahmen unserer Forschungsarbeiten im Labor für künstliche Intelligenz (KI) an der Fachhochschule Regensburg wurde überlegt, wie man einem sechsbeinigen Laufroboter das Laufen beibringen kann. Die für Lebewesen selbstverständliche Laufbewegung durch Gehwerkzeuge, lässt sich auf Roboter mit hexapoder Gangart nicht ohne weiteres übertragen. Ein Roboter besitzt kein (dezentrales) Nervensystem, das Bewegungsläufe erlernen, abrufen und steuern kann. Mit Hilfe neuronaler Netze kann man jedoch solche Systeme auf Rechnern nachbilden und damit auch Bewegungsabläufe und Laufbewegungen erlernen. Das Lernen kann aber nicht am Objekt, dem Roboter, ausgeführt werden. Es ist zu umständlich, zeitaufwendig und komplex, mögliche Laufbewegungen mit dem Roboter einzustudieren. Eine Simulation des Roboters mit der Open Dynamics Engine verlagert das Einstudieren von Bewegungsabläufen auf den Rechner, der schließlich sogar einstudierte Laufbewegungen an den Roboter und seine Gliedmaßen ausliefern kann.

Konstruktion, Zusammenbau dieses sechsbeinigen Laufroboters, die Elektronik, die Steuerungen, die Entwicklung der Software, der Aufbau der Robotersimulation durch die Open Dynamic Engine, die Darstellung der Simulationsabläufe in geeigneter grafischer Benutzeroberfläche und viele dabei auftretende und zu lösende Probleme wurden in der Diplomarbeit¹ der Dipl.-Inf. (FH) Jan Ryll und Dipl.-Inf. (FH) Markus Seemann ausgeführt und gelöst.

DER ROBOTER HEXAPODER GANGART

Im Labor für Künstliche Intelligenz an der Fachhochschule Regensburg wurde ein mobiler Roboter erstellt, der sich auf unwegsamem Gelände bewegen kann. Die Idee einen solchen Roboter nach biologischen Vorbildern zu bauen und mit Hilfe des von Professor Cruse² entwickelten Walknet zu steuern kam von Dipl.-Inf. (FH) Ingo Frank³. Herr Frank hat auch den ersten Prototyp des sechsbeinigen Roboters für das KI-Labor der Fachhochschule Regensburg gebaut.

Das Skelett des Roboters besteht aus Bauteilen, die aus Aluminium und Edelstahl gefertigt sind. Die Bauteile sind verschraubt, verklebt und wiegen zusammen nicht mehr 500 g. Mit den Servomotoren bringt der Roboter insgesamt 2.2 kg auf die Waage.

¹ Öffentlich zugänglich über <http://fbim.fh-regensburg.de/~sqj39122/Diplomarbeiten/Heuschrecke/>

² H. Cruse, J. Dean, H. Ritter, Die Entdeckung der Intelligenz, dtv, 2001

³ vgl. <http://fbim.fh-regensburg.de/~sqj39122/Diplomarbeiten/IngoFrank/index.html>

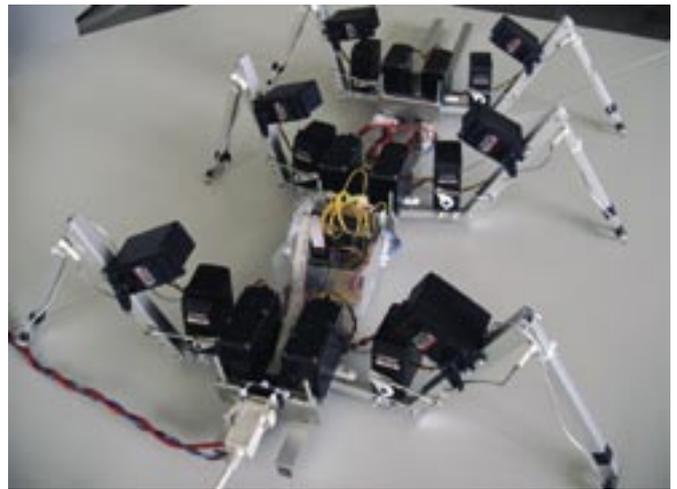


Abbildung 1: Roboter mit Netzgerät

Die Konstruktion des Roboters ist an den Proportionen einer Stabheuschrecke (*Carausius morosus*) orientiert. Die Insekten können sich auf schwierigem Gelände, z.B. im Geäst von Bäumen, sicher bewegen. Wegen des einfachen Körperbaus und des vergleichsweise simplen Nervensystems wird die Stabheuschrecke als Modellorganismus für Laufbewegungen ausgewählt. Dabei war jedoch nicht eine maßstäbliche Abbildung der Proportionen des Insekts einzuhalten, sondern ein vernünftiger Kompromiss zwischen technischer Realisierung und bloßer Imitation des Originals zu finden. Das gilt insbesondere für die Kontrolle der Extremitäten, und hier vor allem für die Beine. Eine

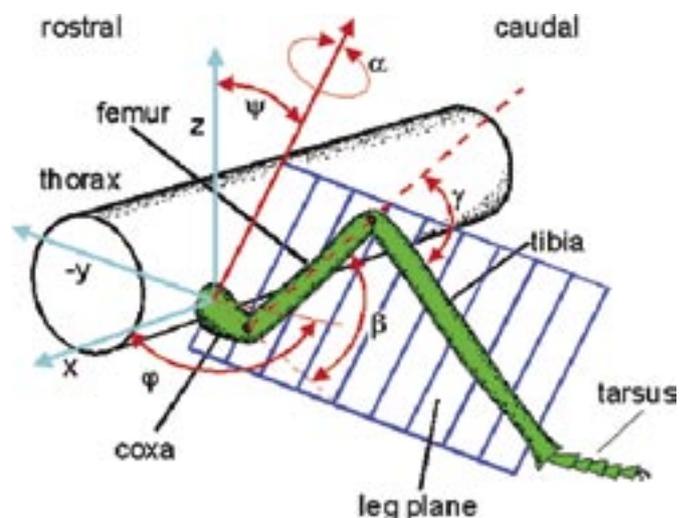


Abbildung 2: Beingeometrie der Stabheuschrecke

Gegenüberstellung eines Insekts mit der Konstruktionszeichnung des realisierten Heuschreckenbeins zeigt die Unterschiede und auch die Grenzen der Abbildungsmöglichkeiten aus den natürlichen Gegebenheiten in einer Maschine.

Die Beinebene, definiert durch die Längsachse von Femur und Tibia, kann sich um die zentrale Achse drehen. Die Lage dieser zentralen Drehachse wird durch die Winkel φ und ψ definiert. Das Bein kann in drei Gelenken dem Subcoxal-Gelenk (α), dem Coxa-Trochanter-Gelenk (β) und dem Femur-Tibia-Gelenk (γ) bewegt werden.

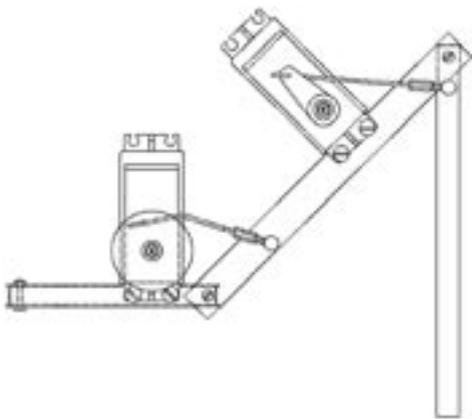


Abbildung 3: Technische Zeichnung eines Heuschreckenbeins mit Servomotoren für das Beta- und Gamma-Gelenk. Die Kraft wird beim Beta- und Gamma-Gelenk über Hebel übertragen.

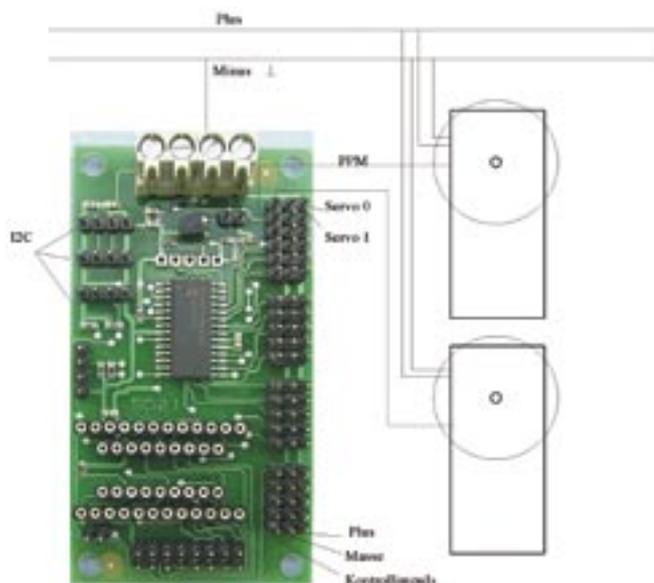


Abbildung 4: Steuerung des Servos durch den sd21-Controller

An jeder Fußspitze der Roboterbeine sind Drucksensoren angebracht. Steht das Bein auf dem Boden schließt sich ein Stromkreis. Die Sensoren sind mit den Ports des Microcontrollers (sd21-Controller) verbunden.

Die errechnete Winkelstellung wird über die RS232-Schnittstelle geschickt, Sensorinformationen werden darüber abgefragt. Die Ansteuerung übernehmen zwei Mikrocontroller. Der AVR-Controller kommuniziert direkt mit dem PC und dient als Gateway zwischen den Signalen über die RS232-Schnittstelle und der I2C-Schnittstelle des sd21-Controllers. Das Programm für den AVR-Controller wurde in C geschrieben. Die Steuerung des Roboters ist ein Zusammenspiel zwischen PC, dem AVR Mega8 Microcontroller und dem sd21 Servercontroller.

DIE STEUERUNG DER LAUFBEWEGUNGEN DURCH DAS WALKNET

Aus der elektrophysiologischen und mechanischen Analyse der Laufbewegungen von Insekten hat sich herausgestellt, dass Bewegungsabläufe von einem zentralen Nervensystem gesteuert werden, das auf unterschiedliche Bodenbeschaffenheit verschieden reagiert.

Das Nervensystem ist in der Lage, sich an ständig ändernde komplexe Situationen anzupassen und schnell einen Lösungsvorschlag (Reaktion) zu generieren. Diese Anpassung entsteht durch das Zusammenspiel des für das Laufen zuständigen Bereichs vom zentralen Nervensystem, von den einzelnen Beinen und der Interaktion mit der Umwelt.

Durch verschiedene Untersuchungen konnte man zeigen, dass Insekten sich über zerklüftetem Gelände schnell und sicher fortbewegen können. Eine eigene Konstruktion (Beinregler) ermöglicht dies. Prof. Cruse und seine Mitarbeiter entwickelten aus Forschungen und Untersuchungen an Hexapoden das Modell eines Laufreglers im sog. Walknet.⁴

Die Umsetzung dieses Algorithmus mit Unterstützung durch eine Simulation ermöglicht die Steuerung eines über eine externe Schnittstelle angeschlossenen sechsbeinigen Laufroboters. Die hierfür entwickelte Walknet-Regelung basiert auf der weiterentwickelten Laufsteuerung, die von Thomas Kindermann⁵ in seiner Dissertation beschrieben wird.

⁴ Holk Cruse, Thomas Kindermann, Michael Schumm, Jeffrey Dean, Josef Schmitz: Walknet - biologically inspired Network to control six-legged walking, Neural Networks 11 (1998) 1435-1447

⁵ Thomas Kindermann, Dissertation: Positive Rückkopplung zur Kontrolle komplexer Kinematiken am Beispiel des hexapoden Laufens: Experimente und Simulationen, Universität Bielefeld, 2003

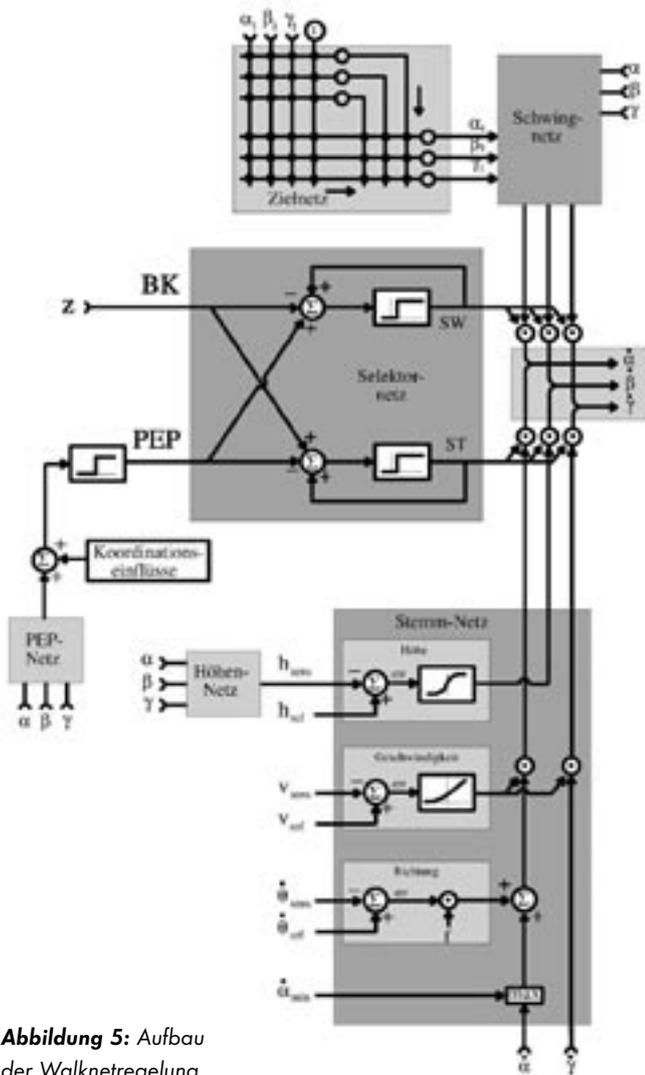


Abbildung 5: Aufbau der Walknetregelung

Das Walknet hat die Aufgabe, die Änderung der 3 Gelenkwinkel α , β und γ zu bestimmen (Ausgänge $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$, $\hat{\gamma}$). Die wichtigsten Komponenten des Netzes sind das Schwingnetz und das Stemmnetz, die jeweils für die Kontrolle der Bewegung zwischen der Schwing- und Stembewegung zuständig sind, und das Selektornetz, das entscheidet, welches der beiden Netze Zugriff auf die Motorik hat. Das Zielnetz liefert Information über die Position des nächstvorherigen Beines. Das Selektornetz enthält Information darüber, ob das Bein Bodenkontakt hat, und wie weit es vom hinteren Knotenpunkt (PEP) entfernt ist (PEP-Netz). Das Höhennetz kontrolliert den Beta-Winkel und damit die Körperhöhe (Höhe des Thorax, vgl. Abbildung 2).

Die einzelnen lokalen Beinregler (Walknet) ergeben das verteilte Nervensystem der Stabheuschrecke. Im Nervensystem des Insekts sind Nervenzellen (Neuronen) so miteinander vernetzt, dass die Impulse, welche von den entsprechenden sensorischen Nervenzellen erzeugt werden, durch Aufsummieren und Gewichtung durch das Netz vorwärtspropagieren und an motorischen Nervenzellen eine Reaktion auslösen. Durch den verhältnismäßig geringen Arbeitsaufwand ist eine schnelle Reaktion auf äußere Reize gewährleistet (Reiz-Reaktions-Kette). Das Lernen erfolgt hierbei über die Anpassung der Schwellwerte jedes Neurons und der Gewichtung der Eingabeverbindung von anderen Neuronen. Dabei werden Fehler bestraft, indem für das zugrunde liegende Eingabe-/Ausgabemuster die Gewichte verringert werden, so dass diese Reaktion nicht mehr, bzw. weniger stark ausgeführt wird. Entsprechend werden die Gewichte für eine erfolgreiche Reiz-Reaktions-Kette erhöht.

Zur Anwendung dieser natürlichen Technik wurde auf ein Modell eines Neurons zurückgegriffen, das in fast allen bekannten neuronalen Netzen eingesetzt wird.

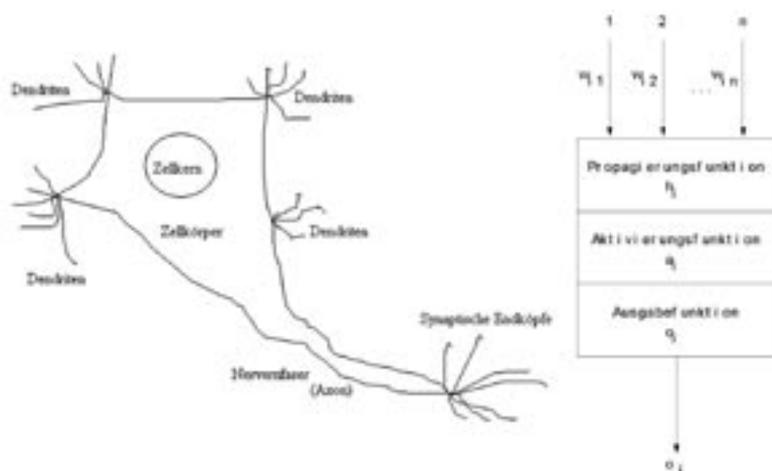


Abbildung 6: Gegenüberstellung von Nervenzelle (links) und Neuron (rechts)

Auch das Lernen von neuronalen Netzen erfolgt über die Gewichtung der Eingabeverbindungen von anderen Neuronen. Die im Walknet implementierten neuronalen Netze müssen aus Fehlern nach zahlreichen Testläufen, Korrekturen an der Stärke der Verbindungen (Gewichtung) vornehmen, bis sich eine Verbindungsstruktur ergibt, die eine korrekte Beinregelung ermöglicht und das Walknet endlich zu seinem sinnvollen Einsatz in der Kommunikationshierarchie der einzelnen Komponenten des hexapoden Laufroboters kommt.

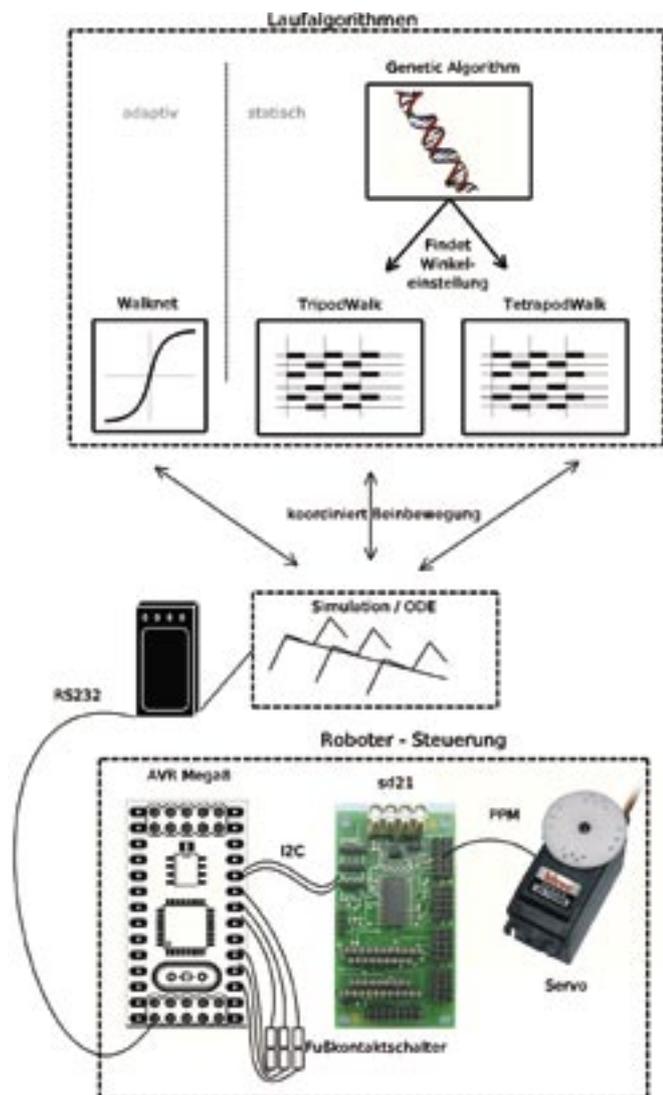


Abbildung 7: Kommunikationshierarchie der einzelnen Komponenten

Die in der Beinregelung über das Walknet vorliegenden neuronalen Netze können nicht direkt mit dem hexapoden Roboter getestet werden, bzw. lernen. Die Steuerung des Roboters ist ein Zusammenspiel zwischen PC (Simulation), dem AVR Mega8 Microcontroller und dem sd21 Servo-Controller.

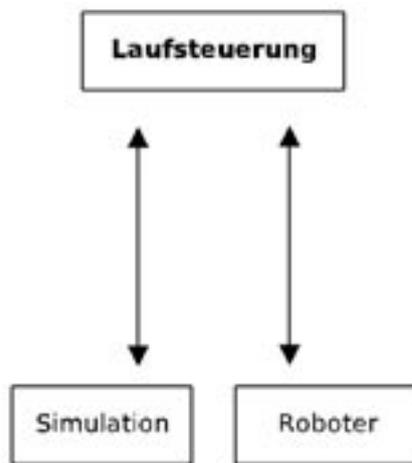


Abbildung 8: Kommunikationslauf

SIMULATION DER LAUFBEWEGUNGEN MIT DER ODE

Die Simulation stellt mit Hilfe der Open Dynamic Engine (ODE) eine Umgebung bereit, in der die verschiedenen Laufalgorithmen getestet und trainiert werden können. Zusätzlich übermittelt sie Laufmuster an den Roboter und holt von dort Sensorinformationen ab (vgl. Abbildung 7).

Die Simulation wurde mit Hilfe der physikalischen Simulationsumgebung ODE realisiert. Sie wurde 2001 von Russel L. Smith⁶ entwickelt. Entscheidend für die ODE war, dass sie unter den Bedingungen der GNU Lesser General Public License frei verfügbar und benutzbar ist. Die ODE wurde für Festkörpersimulationen mit Gelenken in interaktiven, bzw. Echtzeitanwendungen entwickelt und ist besonders gut für die Simulation bewegter Objekte in virtuellen Echtzeitumgebungen geeignet.

Mit der Engine lassen sich beliebig komplexe Objekte erzeugen. Man setzt hierfür die meist kompliziert aufgebauten Körper aus einfachen Formen wie Kugeln, Röhren, Quadern zusammen. Diesem so genannten Composite Object wird die Summe der einzelnen Massen zugewiesen und der zugehörige Schwerpunkt berechnet. Die Masse selbst kann durch die ODE berechnet werden. Dafür muss

⁶ Russel Smith, Open Dynamics Engine V0.5 User Guide, 2004

Prof. Jürgen Sauer
 Tel.: 0941 943-1303
 Fax 0941 943-1426
 juergen.sauer@informatik.fh-regensburg.de

die spezifische Dichte der Materialien angegeben werden. Durch das direkte Berechnen der Masse ist es möglich, reale Gewichtsverhältnisse der einzelnen Roboterbauteile miteinzubeziehen. Ein bewegliches Bauteil wird konstruiert, indem man ein Gelenk zwischen den zu verbindenden Objekten erzeugt. Hierfür stellt die ODE verschiedene Gelenkarten, wie Scharnier-, Kugel-, Schiebegelenke und andere zur Verfügung. Diese können, je nach Gelenkart, durch weitere Merkmale parametrisiert werden.

Physikalische Simulation und graphische Ausgabe sind voneinander getrennt. Als graphische Bedienoberfläche konnte die auf die GLUT (OpenGL Utility Toolkit⁷) aufsetzende GLUT⁸ (GLUT - based User Interface Library) Bibliothek eingesetzt werden.

Mit den Standardeinstellungen wird versucht ein GLUT-Fenster in der Größe 1024x768 Pixel zu öffnen. Ist dies erfolgreich, wird die Simulation in den Pausenmodus versetzt und auf manuelle Steuerung gestellt. Die virtuellen Befestigungselemente sind deaktiviert und das α -Gelenk des vorderen linken Beins ist selektiert.

Die wichtigsten Programmbefehle sind über die grafische Benutzeroberfläche erreichbar.



Abbildung 9: Benutzeroberfläche für Simulation und Steuerung des angeschlossenen Roboters

Durch entsprechende Optionen gesteuert, führt das Simulationsprogramm beispielsweise aus:

- automatische Lernmuster-generierung für das Walknet (speziell Höhen- oder PEP-Netz). Die Lernmusterumgebung kann grafisch angezeigt werden.
- Ausführung des Walknet mit dem neuronalen Netzwerk

Die Simulation übernimmt vor allem 2 Aufgaben. Zum einen stellt sie mit Hilfe der ODE eine Umgebung zur Verfügung, in der verschiedene Laufalgorithmen getestet und trainiert werden können, zum anderen übermittelt sie die Laufmuster an den Roboter und holt von dort Sensorinformationen ab (vgl. Abbildung 7).

GEPLANTE ERWEITERUNGEN

Die erfolgreiche Implementierung der ODE und die daraus abgeleiteten Erfahrungen für die Laufbewegung haben zur folgenden Erweiterung und Ausbau des Hexapoden motiviert:

Der Hexapode wird einer Kamera ausgestattet, die Bilder in Rundumsicht der realen Umgebung⁹ aufnimmt. Die Bildauswertung auf dem Rechner (PC) wird über die ODE umgesetzt in eine virtuelle, zwei- oder dreidimensionale Abbildung. Mit Hilfe der ODE und durch direkte Interaktion mit der Umwelt steht damit eine Umgebung für das Testen der Laufbewegungen bereit. Sobald das Training der neuronalen Netze abgeschlossen ist, können Laufmuster an den Roboter übergeben und in der realen Welt eingesetzt werden.

Damit stellt der Hexapode eine neue Architektur bereit, die den Erkennungsprozess situationsbedingt auf Interaktion mit der realen Umwelt durch Bildverarbeitung (Imagination¹⁰) und daraus resultierende Aktionen abstimmt.

⁷ Mark J. Kilgard, The OpenGL Utility Toolkit (GLUT) Programming Interface, Silicon Graphics, 1996

⁸ Paul Rademacher, GLUT - A GLUT-Based User Interface Library, 1999

⁹ vgl. Matthias O. Franz, Bernhard Schölkopf, Philipp Georg, Hanspeter A. Mallot, Heinrich H. Bülthoff: Learning View Graphs for Robot Navigation, Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, 1997

¹⁰ vgl. Lynn Andrea Stein: Imagination and Situated Cognition, MIT Artificial Intelligence Laboratory, A.I. Memo No. 1277, Februar 1991

KARTENERSTELLUNG UND ROUTENPLANUNG MIT EINEM MOBILEN ROBOTER

ZUSAMMENFASSUNG

Mobile Roboter werden in zunehmendem Maß für Kartenerstellung und Navigation genutzt. Im folgenden Bericht zeigen wir, wie diese Aufgabe mit einem für wissenschaftliche Untersuchungen entwickelten Roboter unter Einsatz Neuraler Netze gelöst werden kann. Umfassend dokumentiert wurde diese Arbeit in der Diplomarbeit von Michael Reif und Peter Reschenhofer.¹

1 EINFÜHRUNG: VOM MIST-ROBOTER ZUM KARTOGRAPHEN

Unter der Überschrift „Roboter macht den Mist weg“ fanden wir folgende Notiz in der Süddeutschen Zeitung vom Samstag, 18.03.2006:

Der erste vollautomatische Mist-Roboter Schleswig-Holsteins arbeitet in Bunsloh (Kreis Dithmarschen). Die 20000 Euro teure High-Tech-Maschine mistet sechsmal am Tag den Kuhstall der Brüder Christian und Matthias Peters aus. Mit einer Geschwindigkeit von vier Metern pro Minute schleicht das 400 Kilogramm schwere Gerät geräuschlos durch die Gänge. „Die 120 Rinder werden dabei nicht gestört“, sagt Bauer Christian Peters. Den Weg durch die Gänge zwischen den Liegeboxen findet der Robo-Landwirt mit Hilfe einiger in den Boden eingelassener Markierungspunkte selbst. Wenn auf seiner Tour ein Rind den Weg verstellt, stoppt der silbrig glänzende Apparat automatisch beziehungsweise sucht sich eine alternative Reinigungsstrecke.

Die Notiz zeigt, wie Roboter im zunehmenden Maße Arbeitsbereiche erobern, die bisher (trotz anrühiger Tätigkeit) den Menschen vorbehalten waren. Selbst der schwierige Umgang mit Tieren auf einem Bauernhof mit dynamisch sich verändernder Umwelt und viel Schmutz schreckt Roboter nicht ab.

Roboter sind Agenten, die Aufgaben ausführen, indem sie physische Umgebung manipulieren. Dazu sind sie mit Effektoren ausgestattet, wie bspw. Rädern, Beinen, Gelenken oder Greifarmen. Effektoren sind Hilfsmittel, über die sich Roboter bewegen und die Form ihrer Körper verändern. Weiterhin sind Roboter mit Sensoren ausgestattet, die ihnen erlauben, ihre Umgebung wahrzunehmen. Die aktuelle Robotik verwendet unterschiedliche Sensoren, wie bspw. Kamera und Ultraschall zu Messung der Umgebung, sowie Beschleunigungsmesser

zur Messung der Eigenbewegung des Roboters. Wahrnehmung ist der Prozess, wie Roboter Sensormessungen in interne Darstellungen der Umgebung abbilden. Die Wahrnehmung ist schwierig, weil Sensoren im Allgemeinen ein Rauschen aufweisen und die Umgebung nur partiell beobachtbar, unvorhersehbar und häufig dynamisch ist.

Unser „Mist-Roboter“ zeigt im Wesentlichen ein Verhalten zum Hindernisausweichen oder zur Zielsuche, die hauptsächlich auf Sensor-Motor-Kopplung beruhen. Die reaktiven Verhalten bilden eine Grundlage für höheres komplexes Verhalten (Subsumption Architecture nach Brooks (1985)).

Insbesondere interessieren wir uns im Rahmen der körperbasierten künstlichen Intelligenz (vgl. Fumiya u.a. 2004) für die:

- Vorhersage und Modellbildung, Erlernen von Eigenschaften einer Umgebung
- Orientierung
 - zur Konstruktion von Karten
 - zum Erwerb von Ortskenntnissen, Gelände und Orientierung.

2 NAVIGATION

Die Navigation eines mobilen Roboters lässt sich nach Nehmzow und Smithers (1991) in die folgenden Komponenten aufteilen:

- Selbstlokalisierung
- Routenplanung
- Kartenerstellung und Karteninterpretation.

Der Roboter könnte sich bei den einzelnen Aufgaben folgende Fragen stellen (Gutmann 2000):

- Wo bin ich?
- Wohin fahre ich?
- Wie gelange ich dorthin?

3 KARTENERSTELLUNG DURCH ROBOTER

Die Menschheit hat bemerkenswerte Fähigkeiten entwickelt, Bereiche wie etwa unseren gesamten Planeten abzubilden. Ein natürliches Problem in der Robotik ist es also, Algorithmen abzuleiten, die dem Roboter dasselbe erlauben.

Die Kartenerstellung soll es ermöglichen, einen Raum, der vom Roboter durchfahren wird,

1. durch die Sensoren des Roboters zu erfassen und aus den Daten eine Karte zu erstellen,
2. die erstellte Karte auf einem PC zu visualisieren.
3. Der Roboter soll die aufbereiteten Sensordaten (die Karte) für die darauf aufbauenden (komplexen) Aufgaben wiederverwenden können.

¹ siehe: <http://fbim.fh-regensburg.de/~saj39122/Diplomarbeiten/ReschReif/quellen/diplomarbeit.pdf>

Wir verwenden für die Lösung dieser Aufgabe den Khepera II Roboter

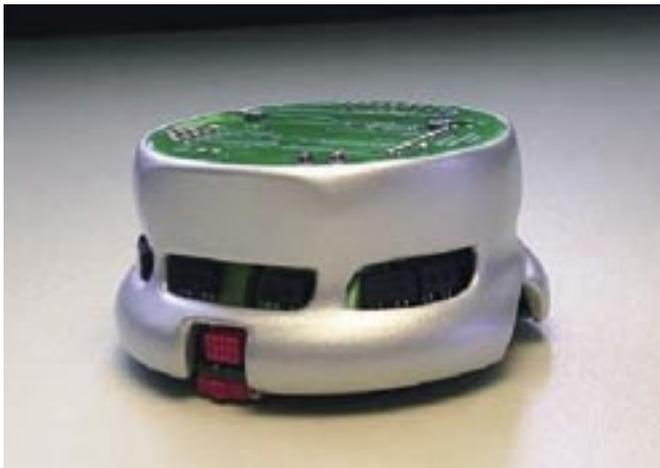


Abbildung 1: Der Khepera II Roboter

Der Khepera-Roboter wurde als ein Wissenschafts- und Lehrobjekt 1992 am Swiss Federal Institute of Technology Lausanne entwickelt und wird von der Schweizer Firma K-TEAM CORPORATION² hergestellt. Seit wenigen Jahren ist der Nachfolger des ursprünglichen Kheperas, Khepera II (siehe Abbildung 1), erhältlich, der auch für diese Arbeit als autonomer mobiler Roboter diente.

Element	Information
Prozessor	Motorola 68331, 25MHz, 32 Bit
RAM	512 kBytes
Flash	512 kBytes Kann über die serielle Schnittstelle beschrieben werden
Motoren	Zwei Servomotoren mit Odometrie-Encoder Der Khepera Roboter besitzt 2 Gleichstrommotoren, die mit einer Übersetzung 25:1 mit den Rädern verbunden sind. Je Umdrehung des Motors werden 24 Impulse durch Magnetsensoren ausgelöst. Es werden also 600 Impulse je Radumdrehung ausgelöst, die ausgelesen werden können und somit als Radsensoren dienen.
Geschwindigkeit	Max: 1 m/s, Min: 0.02 m/s
Sensoren	Acht Infrarot Entfernung- und Umgebungslichtsensoren mit einer Reichweite bis zu 10 cm.
I/O	3 analoge Eingänge (0-4.3 V, 8 Bit)

Stromversorgung	Über Stromadapter oder über eine wiederaufladbare NiMH-Batterie
Batterie	Eine Stunde Haltbarkeit, bei andauernder Inanspruchnahme des Motors.
Kommunikation	serieller Port, bis zu 115 kbps Übertragungsgeschwindigkeit
Größe	Durchmesser: 70 mm, Höhe: 30 mm
Gewicht	Ungefähr 80 g

Tabelle 1: Khepera II Spezifikation³

Dieser Roboter wird hauptsächlich in der Forschung im Bereich der künstlichen Intelligenz und Robotik eingesetzt. Auf dem Roboter läuft ein eigenes vom K-Team entwickeltes Betriebssystem mit zwei möglichen Ansteuerungsarten:

- Es können direkt C- oder Assembler-Programme auf dem Roboter ausgeführt werden. Mit dem GNU C Crosscompiler ist es möglich, Code zu generieren, der auf dem Roboter ausgeführt werden kann. Dafür muss der C-Quellcode am PC mit dem Crosscompiler kompiliert werden. Die erstellte Datei kann auf einem Flash-Speicher oder auf einem RAM-Speicher des Roboters gesichert und ausgeführt werden
- Der Roboter kann über ein einfaches Protokoll⁴ angesteuert werden.

Für den Khepera gibt es ein einfaches Neuronales Netz, das zum Steuern des Roboters benutzt wird: das Braitenberg-Netz (Braitenberg 1986) mit einer Eingabe- und einer Ausgabeschicht. Die Neuronen der Eingabeschicht erhalten

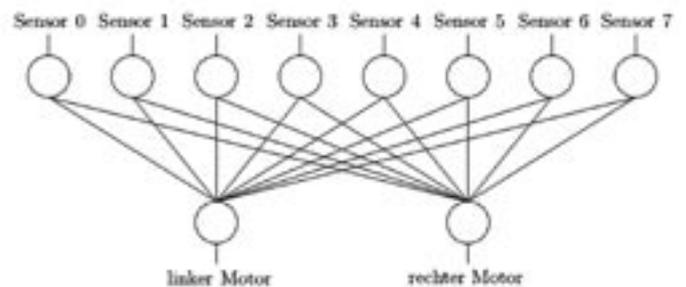


Abbildung 2: Das Braitenberg-Netz

² Website: <http://www.k-team.com>

³ Ausführliche Angaben unter <http://www.k-team.com/roboter/khepera/base.html>

⁴ Spezifikation im User Manual des Roboters

Sensorwerte des Roboters. Die Neuronen der Ausgabeschicht geben die Geschwindigkeit der Motoren an. Für den Khepera gibt es im Braitenberg-Netz deshalb 8 Eingabeneuronen und 2 Ausgabeneuronen.

Die Gewichte sind bei diesem Netz bereits vorgegeben. Sie sind so ausgewählt, dass eine Vergrößerung der Sensorwerte auf der linken Seite, also ein Hindernis links vom Roboter, den linken Motor beschleunigt und den rechten Motor bremst. Dadurch fährt der Roboter eine Rechtskurve und er weicht dem Hindernis aus.

Die Aktivierungsfunktion berechnet aus den gewonnenen Informationen der Ausgabeneuronen und zwei Konstanten die Geschwindigkeiten der beiden Neuronen.

4 ODOMETRIE

Vom Roboter kann man im wesentlichen nur die Geschwindigkeit (interne Messung - Propriozeption) und die zurückgelegte Strecke der beiden Motoren, sowie die Infrarot-Sensorwerte (externe Messung - Exteriozeption) abfragen. Da man aus diesen Werten keine sinnvolle Karte erstellen kann, müssen die Daten mit geeigneten Methoden aufbereitet werden. Der Khepera kann keine Höhenunterschiede messen und deshalb nur zweidimensionale Karten erstellen. Deswegen werden die X- und Y-Koordinaten des Roboters zur Erkundung von Räumen benötigt.

4.1 Mathematischer Hintergrund

Zur Berechnung der Koordinaten wird der zurückgelegte Weg der beiden Räder verwendet. Der Winkel, der die Ausrichtung des Roboters beschreibt, wird so definiert: Er beträgt Null, wenn der Roboter entlang der X-Achse in positiver Richtung fährt und nimmt im Uhrzeigersinn zu.

Wenn beide Motoren gleich schnell fahren, wird die gefahrene Strecke in X- bzw. Y-Richtung in Abhängigkeit

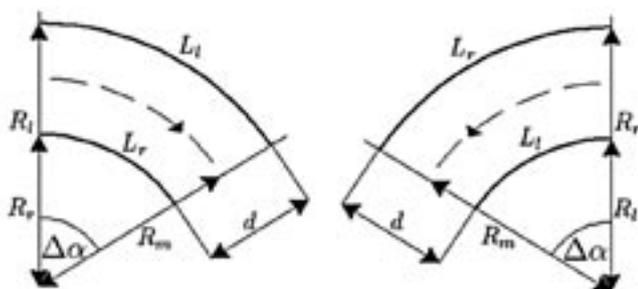


Abbildung 3: Skizze des gefahrenen Kreissegments (Rechtskurve / Linkskurve)

α	Winkel der Ausrichtung des Roboters
$\Delta\alpha$	Änderung der Ausrichtung
L_l, L_r	Strecke, die das linke bzw. rechte Rad zurückgelegt hat
R_l, R_r	Radius der Kreisbahn des linken bzw. rechten Rades
R_m	Radius des Mittelpunktes des Roboters
d	Abstand zwischen den beiden Rädern
x_{neu}, y_{neu}	Koordinaten des Startpunkts des Kreissegments vom Mittelpunkt
x_{alt}, y_{alt}	Koordinaten des Endpunkts des Kreissegments vom Mittelpunkt
dx, dy	Änderung der X- bzw. Y-Koordinate

Tabelle 2: Abkürzungen zu Abbildung 3 und den folgenden Formeln

vom Ausrichtungswinkel berechnet. Komplizierter wird die Berechnung, falls die beiden Motoren unterschiedliche Geschwindigkeiten haben. Der Khepera fährt dann in einer Kurve ein Kreissegment ab.

4.2 Berechnung der Änderung der Ausrichtung

Die beiden Strecken L_l, L_r kann man mit der Kreisformel berechnen. Daraus bestimmt man dann die beiden Radien der von den Rädern abgefahrenen Kreissegmente:

$$L_l = R_l \cdot 2\pi \cdot \frac{|\Delta\alpha|}{2\pi} = R_l \cdot |\Delta\alpha| \tag{1}$$

$$\Rightarrow R_l = \frac{L_l}{|\Delta\alpha|}$$

$$L_r = R_r \cdot 2\pi \cdot \frac{|\Delta\alpha|}{2\pi} = R_r \cdot |\Delta\alpha| \tag{2}$$

$$\Rightarrow R_r = \frac{L_r}{|\Delta\alpha|}$$

Da der Radabstand gleich dem Betrag der Differenz der beiden Radien ist, kann man den Winkel auf bekannte Größen zurückführen (siehe Formel 4). Durch den Betrag muss unterschieden werden, ob der Roboter eine Rechtskurve (Fall 1) oder eine Linkskurve (Fall 2) fährt.

$$d = |R_l - R_r| = \left| \frac{L_l}{|\Delta\alpha|} - \frac{L_r}{|\Delta\alpha|} \right| = \left| \frac{L_l - L_r}{|\Delta\alpha|} \right|$$

Im ersten Fall ist $R_l > R_r$ und $\Delta\alpha > 0$. Deswegen können beide Beträge weggelassen werden:

$$d = \frac{L_l - L_r}{\Delta\alpha} \tag{3a}$$

Im zweiten Fall müssen die beiden Radien getauscht werden, damit der Betrag positiv bleibt. Da $\Delta\alpha < 0$ ist, muss ein Minus vor dem aufgelösten Betrag stehen:

$$d = \frac{L_r - L_l}{-\Delta\alpha} = \frac{L_l - L_r}{\Delta\alpha} \quad (3b)$$

Da aus den beiden Formeln (3a) und (3b) hervorgeht, dass die Auflösung des Betrags zweimal dasselbe Ergebnis liefert, kann man dieses nach dem gesuchten Winkel auflösen:

$$\Delta\alpha = \frac{L_l - L_r}{d} \quad (4)$$

4.3 Berechnung des mittleren Radius

Der Radius des Kreissegments, den der Mittelpunkt des Roboters abfährt, ist die Mitte der Radien des linken und rechten Rades. Diese sind bereits aus den Formeln (1) und (2) bekannt. Dadurch lässt sich der mittlere Radius auf bekannte Größen zurückführen:

$$R_m = \frac{R_l + R_r}{2} = \frac{\frac{L_l}{|\Delta\alpha|} + \frac{L_r}{|\Delta\alpha|}}{2} = \frac{L_l + L_r}{2 \cdot |\Delta\alpha|} \quad (5)$$

$$R_m = \frac{L_l + L_r}{|2\Delta\alpha|}$$

4.4 Berechnung der neuen Koordinaten

Aus den berechneten Werten können die neuen Koordinaten berechnet werden. Da der Roboter zu Beginn des gefahrenen Kreissegments nicht immer die Ausrichtung $\alpha = 0^\circ$ hat, muss zuerst der Winkel β berechnet werden, den der Anfang des Segments im Kreis hat (siehe Abbildung 4).

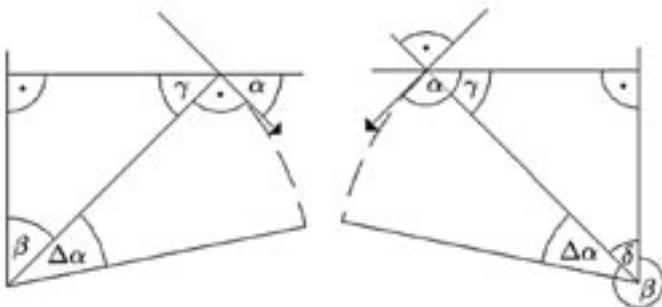


Abbildung 4: Skizze der Winkel des Kreissegments

Aus der vorliegenden Skizze erkennt man, dass der gesuchte Winkel von α folgendermaßen abgeleitet werden kann:

$$\text{Fall 1: } \gamma = 180^\circ - 90^\circ - \alpha = 90^\circ - \alpha \quad (6a)$$

$$\beta = 180^\circ - 90^\circ - \gamma = \alpha$$

$$\text{Fall 2: } \gamma = \alpha - 90^\circ \quad (6b)$$

$$\delta = 180^\circ - 90^\circ - \gamma = 180^\circ - \alpha$$

$$\beta = 360^\circ - \delta = 180^\circ + \alpha$$

Mit dem berechneten Winkel β , der Ausrichtungsänderung $\Delta\alpha$ und dem Radius R_m können jetzt die Koordinaten des Start- und Endpunkts, des befahrenen Kreissegments berechnet werden. Da für die endgültigen Koordinaten nur der Unterschied zwischen den zwei Punkten benötigt wird, werden zur Vereinfachung deren Koordinaten vom Mittelpunkt des Kreises berechnet.

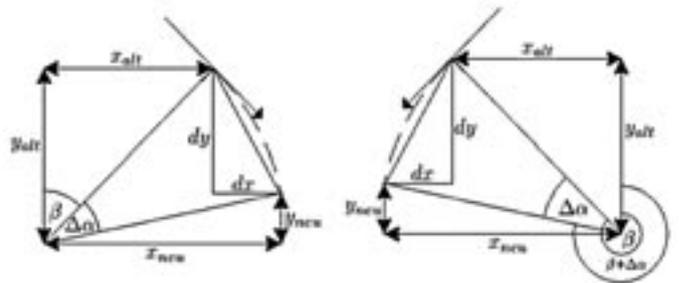


Abbildung 5: Skizze zur Koordinatenberechnung

Da für beide Fälle der neue Winkel $\beta + \Delta\alpha$ ist (siehe Abbildung 5, im zweiten Fall gilt $\Delta\alpha < 0$), verläuft die Berechnung der Koordinaten der zwei Punkte gleich:

$$x_{alt} = R_m \cdot \sin(\beta) \quad (7)$$

$$y_{alt} = R_m \cdot \cos(\beta)$$

$$x_{neu} = R_m \cdot \sin(\beta + \Delta\alpha) \quad (8)$$

$$y_{neu} = R_m \cdot \cos(\beta + \Delta\alpha)$$

Aus den berechneten Koordinaten kann auch die Änderung der Roboterkoordinaten berechnet werden:

$$dx = x_{neu} - x_{alt} = R_m \cdot (\sin(\beta + \Delta\alpha) - \sin(\beta)) \quad (9)$$

$$dy = y_{neu} - y_{alt} = R_m \cdot (\cos(\beta + \Delta\alpha) - \cos(\beta))$$

Für β wird in die vorliegenden Formeln, die unter (6a) und (6b) angegebenen Fälle eingesetzt:

$$\text{Fall 1: } \begin{aligned} dx &= R_m \cdot (\sin(\alpha + \Delta\alpha) - \sin(\alpha)) \\ dy &= R_m \cdot (\cos(\alpha + \Delta\alpha) - \cos(\alpha)) \end{aligned} \quad (10a)$$

$$\begin{aligned} \text{Fall 2: } dx &= R_m \cdot (\sin(180^\circ + \alpha + \Delta\alpha) - \sin(180^\circ + \alpha)) = R_m \cdot (-\sin(\alpha + \Delta\alpha) + \sin(\alpha)) \\ dy &= R_m \cdot (\cos(180^\circ + \alpha + \Delta\alpha) - \cos(180^\circ + \alpha)) = R_m \cdot (-\cos(\alpha + \Delta\alpha) + \cos(\alpha)) \end{aligned}$$

Somit können die Änderungen der Koordinaten mit Formel (11) einheitlich berechnet werden:

$$\begin{aligned} dx &= \frac{L_l + L_r}{2\Delta\alpha} \cdot (\sin(\alpha + \Delta\alpha) - \sin(\alpha)) \\ dy &= \frac{L_l + L_r}{2\Delta\alpha} \cdot (\cos(\alpha + \Delta\alpha) - \cos(\alpha)) \end{aligned} \quad (11)$$

Durch die Formeln können die aktuellen Koordinaten des Roboters berechnet werden. In der Praxis gib es doch einige Fehlerquellen:

- Die Odometriemessung des Roboters ist an sich sehr genau, aber durch rasches Beschleunigen des Roboters kann es passieren, dass die Räder leicht durchdrehen. Auch starkes Bremsen kann die Odometriedaten verfälschen. Das ist fatal für die Positionsbestimmung, die nur auf den Odometriedaten basiert. Diese Driftfehler sind nicht allein durch Odometrie bzw. Propriozeption korrigierbar. Das Durchdrehen der Räder kann allerdings durch sanftes Beschleunigen und Bremsen minimiert werden.
- Der Khepera besitzt acht Infrarotsensoren, die sehr empfindlich gegen Wärme und Sonneneinstrahlung sind. Dieser Fehler kann durch Anpassung der Sensorfunktion an die Lichtverhältnisse vor jedem Start eines Roboterlaufs minimiert werden. Jedoch erhält man auch bei richtiger Kalibrierung der Sensoren häufig nur ungenaue Werte aufgrund von nicht vermeidbaren Störgrößen.

In zahlreichen praktischen Versuchen wurden Verbesserungen an den Werten aus den Formeln durch Winkel- und Koordinatenkorrektur ermittelt.

4.5 Winkelkorrektur

Bei der Kartenerstellung fällt auf, dass die Ausrichtung des Roboters bei längeren Fahrten mit der Zeit stark verfälscht wird. Deshalb musste eine Methode entwickelt werden, mit der man den Winkel des Roboters immer wieder korrigieren kann. Im wirklichen Leben könnte man einen Kompass verwenden, um sich zu orientieren. Aber für den Khepera gibt es bis jetzt keine Ausstattung, mit der er sich, wie ein Kompass, am Magnetfeld der Erde orientieren könnte. Zur Orientierung des Roboters wurde ausgenutzt, dass die Wände der Räume des Roboter-Umfeldes immer senkrecht zueinander stehen. Zur Ausrichtung des Winkels an einer Wand muss zuvor der Roboter erst einmal die Wand erkannt

haben. An der Wand muss sich dann das Fahrzeug für den Vergleich des Winkels der Wand mit seinem eigenen nach 4 Modi ausrichten.

1. Der Roboter fährt solange geradeaus, bis er eine Wand vor sich vermutet. Dies ist der Fall, wenn einer der vorderen vier Sensoren eine bestimmte Grenze überschreitet.
2. Durch die beiden vorderen seitlichen Sensoren wird bestimmt, ob sich die vermutete Wand mehr rechts oder links des Roboters befindet. Falls nicht bestimmt werden kann auf welcher Seite sich der Roboter zur Wand ausrichten soll, wird zufällig eine Seite ausgewählt. Dann dreht sich der Roboter um die eigene Achse, bis er die Wand auf der bestimmten Seite von sich hat.
3. Der Roboter fährt an der Wand entlang. Dabei soll er ungefähr einen bestimmten Abstand (z.B. von 1,5 cm) von der Wand halten. Dieser wird gehalten, indem der Roboter nach Bedarf leicht zur oder weg von der Wand fährt. Falls alle Sensoren einen bestimmten Wert (z.B. von mehr als 3 cm) messen, wird angenommen, dass das Hindernis nicht zum Ausrichten geeignet ist und mit Modus 1 fortgefahren. Ist der Roboter eine gewisse Strecke (z.B. 8 cm) entlang der Wand gefahren, wird der Winkel auf eine Parallelstellung zur Wand korrigiert.
4. Der Roboter dreht sich von der Wand weg, bis diese weiter als ein gewisses Maß (z.B. 3 cm) von den vorderen und seitlichen Sensoren entfernt ist.

Damit dieses Verfahren funktioniert, müssen die Achsen des Koordinatensystems des Roboters parallel zu den Wänden sein. Deshalb wird die Positionsberechnung erst begonnen, wenn der Roboter das erste mal eine bestimmte Strecke (z.B. 8 cm) an einer Wand entlang gefahren ist. An dieser Stelle sind der Ursprung des Koordinatensystems und die Ausrichtung des Khepera null.

Diese Verbesserung war sehr erfolgreich. Da aber nur der Winkel der Stellung des Roboters korrigiert wird, wird nur die Ausrichtung der erforschten Karte berichtigt. Verschiebungen in X- und Y-Richtung sind immer noch möglich und bei Tests auch deutlich sichtbar.⁵

⁵ siehe auch Abb. 7

4.6 Koordinatenkorrektur

Zur Vermeidung dieser Verschiebungen müssen auch die Koordinaten des Roboters an den Wänden korrigiert werden. Da die Koordinaten der Wände aber noch nicht bekannt sind, müssen diese beim erstmaligen Kontakt gespeichert werden. Beim nächsten mal, wenn der Khepera an derselben Wand vorbei fährt, kann er seine Koordinaten, falls nötig, verbessern.

Zum Abspeichern der Wände wird der obige Algorithmus wie folgt erweitert. Falls der Roboter eine bestimmte Strecke (z.B. 8 cm) an einer Wand entlang gefahren ist, korrigiert er nicht nur den Winkel, sondern speichert auch die Daten der Wand ab. Die Daten sind, wie in der folgenden Beschreibung der Datenstruktur in Tabelle 3 angegeben ist, für Wände parallel der X- und Y-Achse unterschiedlich.

Bezeichnung	Parallel der X-Achse	Parallel der Y-Achse
Wert	Y-Koordinate	X-Koordinate
Anfang	X-Koordinate des Wandanfangs	Y-Koordinate des Wandanfangs
Ende	X-Koordinate des Wandendes	Y-Koordinate des Wandendes
Anzahl	Anzahl, wie oft die Wand schon erkannt wurde	

Tabelle 3: Datenstruktur für die (gespeicherte) Wand

Als „Wert“ der Wand wird nicht die Position des Roboters gespeichert sondern die Mitte der Wand. Das ist erforderlich, da erkannt werden soll, dass es sich um dieselbe Wand handelt, wenn der Roboter diese auf der anderen Seite passiert. Die Anfangskordinate wird beim Übergang zwischen dem zweiten und dritten Modus zwischengespeichert. Als Endkordinate wird die aktuelle Position des Roboters gespeichert, die er bei der Korrektur hat. Wird eine Wand zum ersten Mal abgefahren wird die Anzahl gleich eins gesetzt.

Ist eine Wand bereits gespeichert, wird:

- Die „Anzahl“ um 1 erhöht
- Als „Wert“ der Durchschnitt aller Werte (einschließlich der aktuellen Koordinate der Wand) gespeichert
- Als „Anfang“ wird das Minimum aus „altem Anfang“, „altem Ende“ und „neuer Anfangs- und Endkordinate“ gesetzt
- Als „Ende“ wird das Maximum aller Werte gesetzt

Bei der Prüfung, ob eine Wand bereits bekannt ist, wird die gefundene Mauer mit allen alten Wänden, die parallel zur Neuen stehen verglichen. Dabei müssen die beiden Werte bis auf eine vorgegebene Toleranz identisch sein.

Die Anfangs- und Endwerte der verglichenen Wände müssen sich überschneiden. Dabei wird die alte Wand beim Vergleich an beiden Enden um eine zweite Toleranz verlängert. Dies toleriert mögliche Fehlkoordinaten und erhöht die Wahrscheinlichkeit eine längere Wand zur Koordinatenkorrektur zu nutzen.

Die Kartenerstellung ist offensichtlich wesentlich durch die Umgebung beeinflusst. Eine völlig unbekannte Umgebung erfordert Methoden, die weniger von festen Voraussetzungen abhängig sind (siehe auch Abschnitt 8.).

5 KARTENERSTELLUNG AM PC

Der Roboter dient bei diesem Verfahren als „Datensammler“. Das einzige, das unmittelbar am Roboter ausgewertet bzw. ausgerechnet wird, ist die Umrechnung der Radsensoren in die aktuellen X- und Y-Positionen des Roboters.

5.1 Besetztheitsnetze

5.1.1 Funktionsweise

Bei der einfachen Variante dieser Methode dient der Khepera-Roboter nur als „Datensammler“, der die Daten nach willkürlichem Durchfahren, basierend auf dem Braitenberg-Algorithmus, des zu kartographierenden Raumes an den PC sendet.

Beim Einlesen der Datenzeilen werden alle Infrarot-Sensordaten in Millimeter-Abstände umgerechnet. Weiter werden die maximalen und minimalen vom Roboter angefahrenen Koordinaten erfasst. Mit Hilfe dieser Koordinaten und der einstellbaren Rasterungsgröße im Dialogfenster wird ein zweidimensionales Array aufgebaut (siehe Abbildung 6).

Wie in Abbildung 6 ersichtlich, wird die Länge $x_{Max} - x_{Min}$ um den größten gemessenen Abstand der Sensoren auf beiden Seiten erhöht, um auch den durch die Sensorenwerte erfassten Raum einzeichnen zu können. Auch bei der Breite (Y-Wert) wird so vorgegangen. Nachdem nun die benötigte Breite und benötigte Länge der Zeichenfläche bestimmt wurde, werden die Untergrenzen auf die nächstgelegene Zahl ab- bzw. die Obergrenzen auf die nächstgelegene Zahl aufgerundet, die durch die Rasterungsgröße teilbar sind.

Also für die X-Werte:

$$x_{Min Array} = x_{Min Robot} - Rg + x_{Min Robot} \text{ mod } Rg$$

$$x_{Max Array} = x_{Max Robot} + Rg - x_{Max Robot} \text{ mod } Rg$$

Rg: Rasterungsgröße

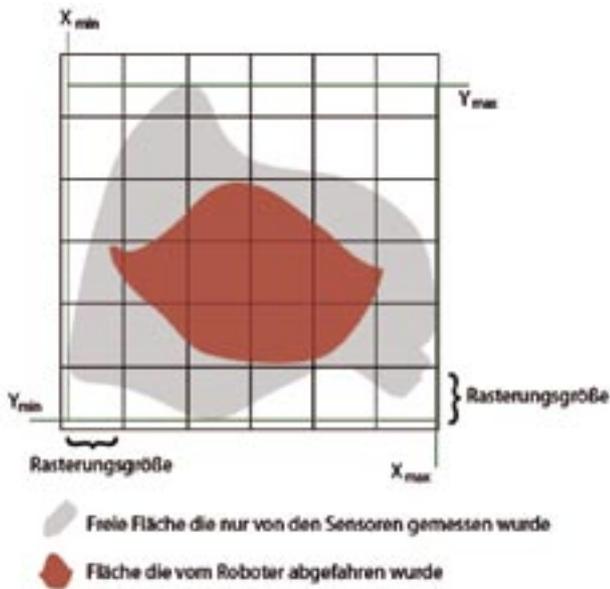


Abbildung 6: Arrayaufbau (Besetztheitsnetz)

Nun wird ein zweidimensionales Array aufgebaut. Die Größe beträgt

$$\left[\frac{x_{Max_Array} - x_{Min_Array}}{Rg} \right] \text{ und } \left[\frac{y_{Max_Array} - y_{Min_Array}}{Rg} \right]$$

Mit diesem Array wird der durch den Roboter abgefahrte Raum in quadratische Flächen (Länge und Breite entspricht der Rasterungsgröße) zerlegt. Die Array-Elemente nehmen zwei ganzzahlige Werte auf:

- Der erste Wert entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass sich an diesem Knoten keine Wand befindet.
- Der Zweite gibt an, wie oft dieser Knoten bei der Auswertung der Daten verwendet wurde.

Beim Initialisieren wird der erste Wert auf 0 gesetzt, dies bedeutet, zu Beginn wird angenommen, dass der ganze Raum nur aus nicht befahrbarer Fläche besteht, also erst durch die Auswertung der Daten das Gegenteil bewiesen werden muss. Gegenden im Labyrinth, die der Roboter nicht abfährt, bleiben deshalb als Wand gekennzeichnet.

Bei den Array-Elementen, die dem Aufenthaltsort des Roboters entsprechen, wird die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins eines freien Platzes (keine Wand) auf 100% gesetzt. Nun wird jeder einzelne Sensorenstrahl bis an sein Ende verfolgt. Alle dabei geschnittenen Array-Elemente werden abhängig von der Entfernung zum Roboter eine bestimmte Wahrscheinlichkeit zugewiesen. Theoretisch bzw. unter der Annahme aus den

Sensorwerten würde man den genauen Abstand zur Wand erhalten, könnte man hier allen überquerten Array-Elementen als Wahrscheinlichkeit einer Wand Null zuweisen. Jedoch nimmt praktisch die Richtigkeit der Sensorwerte mit deren Reichweite ab. Deshalb werden die Wahrscheinlichkeiten (eines leeren Feldes) immer niedriger gesetzt, je weiter sich das Feld vom Roboter entfernt befindet.

5.1.2 Auswertung einer Datenzeile

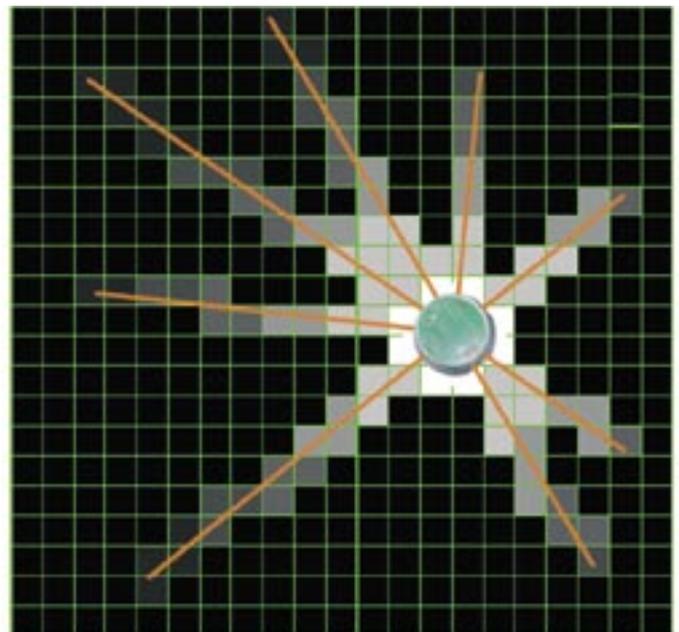


Abbildung 7: Auswertungsverfahren (Besetztheitsnetz)

Für die Datenzeile: 50 -50 100 200 82 90 148 528 798 607 -39 würde die Auswertung, wie in Abbildung 7 gezeigt, ablaufen

5.1.3 Visualisierung

Die Wahrscheinlichkeit einer Wand (0-100) wird zur Visualisierung in Farbwerte umgewandelt. Die Abbildung zwischen Wahrscheinlichkeit und Farbe verläuft linear:

- 0 entspricht RGB(0,0,0)(schwarz)
- 100 entspricht RGB(255,255,255)(weiß).

5.1.4 Auswertungen

1. Beispiel (reale Umgebung)

In realer Umgebung liefert diese Auswertungsmethode folgendes Ergebnis:



Abbildung 8: Auswertung der realen Umgebung (Besetztheitsnetze)

Für diese Auswertung wurden 4000 Datenzeilen vom Roboter aufgezeichnet. Die Rastergröße betrug 17 mm.

2. Beispiel (Simulation der Umgebung und Funktionalität des realen Roboters)

Bei der Simulation wurde darauf geachtet den Khepera-Roboter möglichst realistisch nachzuahmen. Steuerungen, die mit Hilfe der Simulation erstellt wurden, sollen genauso funktionsfähig sein, wie Steuerungen, die mit dem Khepera direkt erprobt wurden. Mit aufgenommenen Daten aus der Simulation wurde folgende Karte produziert:



Abbildung 9: Auswertung der simulierten Umgebung (Besetztheitsnetze)

5.1.5 Verbesserungen

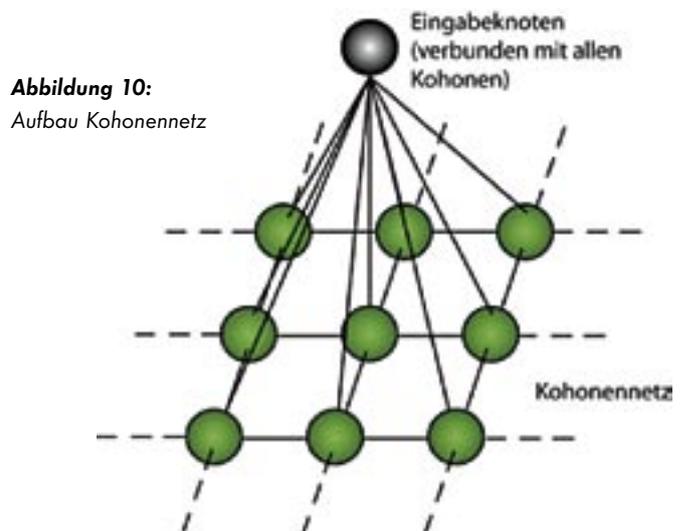
Eine Verbesserung dieser Methode lässt sich durch einen intelligenteren Einsatz des Roboters erzielen. Indem der Roboter nicht nur als „Datensammler“ dient, sondern auch selbst versucht, mit z.B. den in den Punkten 4.5 und 4.6 vorgestellten Methoden, seine eigene Position zu korrigieren, erhält man fehlerfreiere Daten, die natürlich zu besseren Karten führen.

5.2 Kohonennetz

5.2.1 Aufbau und Lernalgorithmus

Kohonennetze zählen zu der Klasse der selbstorganisierenden Merkmals-Netze. Sie werden zur Kategorisierung von Eingabevektoren bzw. zur Aufteilung eines Raumes nach Einzugsgebieten verschiedener Klassifizierungsvektoren verwendet.

Ein Kohonennetz besteht meistens aus einer ein- oder zweidimensionalen Schicht von Neuronen (Kohonen Feature Map), die gitterartig zueinander angeordnet sind. Die Anordnung definiert Nachbarschaftsbeziehungen den Neuronen, die für die räumliche Ausbreitung der Erregung der Neuronen zuständig sind. Jedes Neuron in diesem Netz ist mit den Eingabevektoren verbunden.

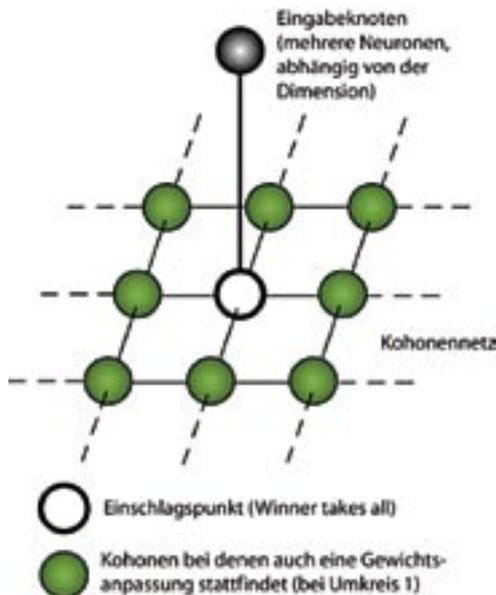


Die einzelnen Neuronen der Feature Map stehen untereinander im Wettbewerb. Nur ein einziges Neuron wird nach dem Prinzip „Winner takes all“ bei einer Eingabe aktiviert. Gewinner ist das Neuron, bei dem die Erregung mit den Eingabeneuronen maximal ist.

Es werden jedoch nicht nur die Gewichte der Gewinnerneuronen angepasst, sondern auch die der zum Gewinnerneuron benachbarten in der Feature Map. Für die Anpassung der Neuronen wird häufig die Gaußglocke angewendet, um bei den direkten Nachbarn des Gewinnerneurons eine hohe Anpassung und bei den weiter entfernten Neuronen eine geringe Anpassung der Gewichte zu erreichen.

Ziel der Lernalgorithmen ist es, jedes Neuron auf einen bestimmten Bereich der Eingabeneuronen zu spezialisieren. Dabei sollen benachbarte Neuronen auch benachbarten Bereichen zugeordnet werden.

Abbildung 11:
Gewinnerneuron
und Umgebung



Ein Test eines Kohonennetzes auf korrekte Arbeitsweise zeigt nach Eingabe von Zufallszahlen aus einem gewissen Bereich die folgende Abbildung:

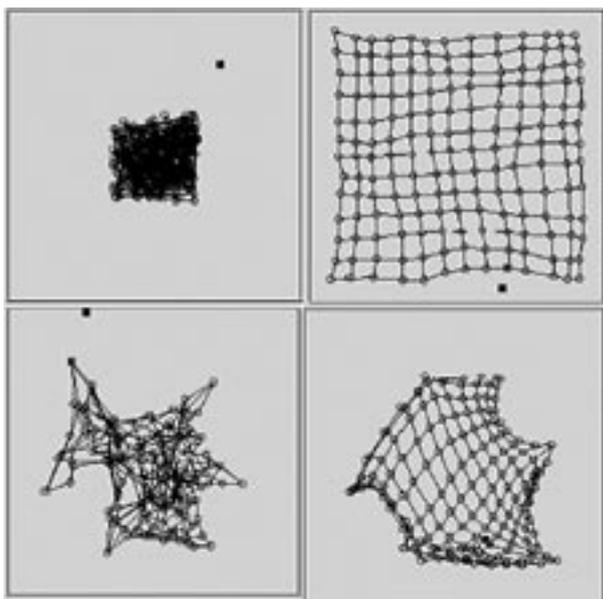


Abbildung 12: Test des Kohonennetzes

Da bei den Zufallszahlen die Wahrscheinlichkeitsverteilung an jedem Ort gleich hoch ist, müssen sich die einzelnen Neuronen gleichmäßig im Raum verteilen, weiter muss sich durch die Nachbarschaftsbeziehungen der einzelnen Neu-

ronen ein einigermaßen gleichmäßiges Gitter bilden. Aus Abbildung 12 ist ersichtlich, wie sich langsam mit der Anzahl der vom Netz verarbeitenden Eingabevektoren, die Neuronen zu einem Gitter anordnen.

5.2.2 Verfahren

Die Grundlage für dieses Verfahren zur Kartenerstellung bildet ein zweidimensionales Kohonennetz. Als Eingabevektoren für das Kohonennetz dienen die übertragenen, bereits am Roboter berechneten, Koordinaten. Da sich die Neuronen im Raum nach der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Eingabevektoren verteilen, lässt sich durch das Visualisieren des Kohonennetzes eine Karte erstellen. Der befahrbare Raum des Labyrinths wird dargestellt, durch das Verteilen der Neuronen gemäß der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Eingabevektoren. Wände bzw. nicht befahrbare Teile des Labyrinths hingegen werden durch keine bzw. wenige Neuronen erkennbar. Diese Methode, also Kohonennetze als Grundlage für die Kartenerstellung zu verwenden, wurde schon von Vlassis u.a. (1997) verwendet.

5.2.3 Funktionsweise

Zu Beginn wird ein zweidimensionales Kohonennetz erstellt. Die Größe dieses Kohonennetzes wird durch die Maximalwerte bzw. Minimalwerte der vom Roboter angefahrenen Koordinaten und durch die im Dialog eingestellte Rasterungsgröße bestimmt.

Im Anschluss darauf wird das Kohonennetz, abhängig von den Einstellungen im Dialog, entweder mit Zufallswerten oder mit Werten, welche die Gewichtsvektoren gitterartig anordnet, initialisiert. Bei der Initialisierung mit Zufallswerten kann der Benutzer die maximale Größe der Zahlen einstellen.

Daraufhin werden die bereits in den Datencontainer gelesenen Datensätze ausgelesen und dem Netz zum Verarbeiten übergeben. Hier besteht für den Benutzer die Möglichkeit, die Sequenz beim Auslesen der Datensätze zu bestimmen. Die Datensätze können zufällig oder in derselben Reihenfolge, wie sie vom Roboter aufgenommen wurden, an das Kohonennetz übergeben werden. Im Falle der zufälligen Übergabe der Datensätze, kann im Dialog zusätzlich noch eingestellt werden, ob der zufällige ausgewählte Datensatz in den nächsten Datenzeilen enthalten sein muss. Diese Möglichkeit kann bei manchen Karten sehr sinnvoll sein, da durch den vollständigen Zufall bei der Auswahl einer Datenzeile, die Information über die ursprüngliche Reihenfolge der Aufnahme verloren geht. Diese Information trägt jedoch sehr zur selbstkorrigierenden Eigenschaft dieses Verfahrens bei. Die Verarbeitung im Netz kann durch die beiden Faktoren

Lernrate und Umkreis beeinflusst werden. Um gute Ergebnisse zu erzielen, ist es wichtig, dass beide Werte, bei der ersten Verarbeitung der Datensätze, einen hohen Wert (z.B.: Umkreis 10, Lernrate 0.5) zugewiesen bekommen und im Laufe der Verarbeitung gesenkt werden.

5.2.4 Visualisierung

Zum Visualisieren des Netzes werden die Gewichte der Neuronen in der Kohonen-Map ausgelesen und in Koordinaten umgerechnet. An diesen Koordinaten wird ein Kreis als Abbild eines Neuronen eingezeichnet. Die Struktur des Kohonennetzes wird mit Linien zwischen den benachbarten Neuronen abgebildet. Durch eine Einstellung im Dialog lassen sich Linien ausblenden, bei denen der Abstand zwischen den benachbarten Neuronen den eingestellten Wert überschreitet.

5.2.5 Auswertungen

Es wurden folgende Kohonennetze erstellt:

1. Beispiel (reale Umgebung):

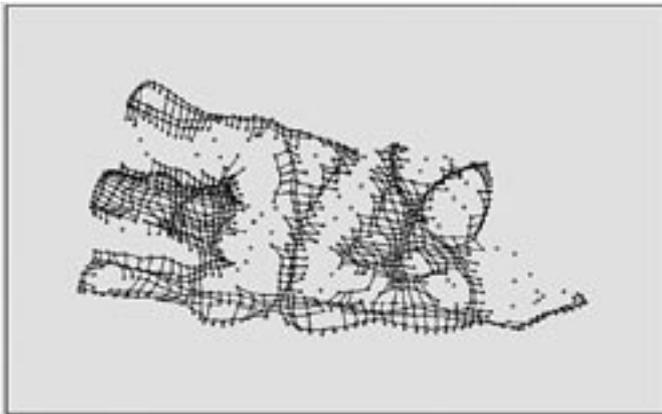


Abbildung 13: Auswertung reale Umgebung (Kohonenauswertung)

Aus der Abbildung 13 ist ersichtlich, dass sich mit diesem Verfahren trotz der schlechten Qualität der Eingabevektoren, dennoch ein Raum kartographieren lässt.

2. Beispiel (simulierte Umgebung)

Dieses Beispiel (siehe Abbildung 14) wurde mit Hilfe der Simulation erstellt.

Zur Verbesserung könnten dieselben Methoden verwendet werden, die zuvor schon unter Besetztheitsnetzen aufgeführt worden sind.

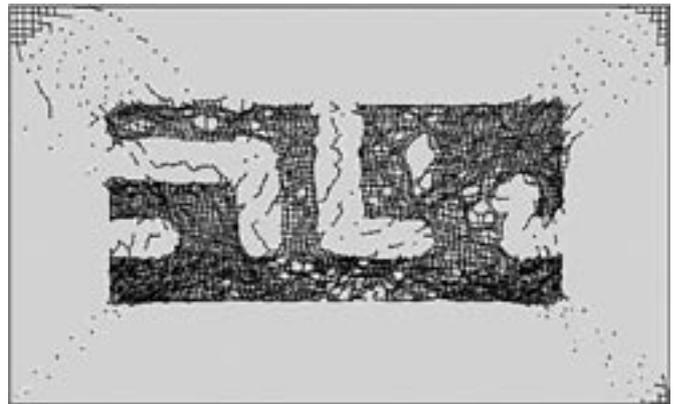


Abbildung 14: Auswertung simulierte Umgebung (Kohonenauswertung)

6 KARTENERSTELLUNG AM ROBOTER

Im Gegensatz zum vorherigen Kapitel werden hier Methoden benutzt, bei denen der Roboter nicht nur Daten sammelt und diese an den PC sendet, sondern bereits während des Sammelns für die Kartenerstellung aufbereitet. Am PC erfolgen dann nur noch die Nacharbeitung und die Visualisierung.

6.1 Wanderkennung mit Koordinatenkorrektur

Um die Fehler bei der Berechnung der Odometriedaten zu korrigieren, wurde im Kapitel 4.6 eine Methode verwendet, bei der sich der Roboter an den Wänden ausrichtet und die Wände abspeichert, um später daran seine Koordinaten zu korrigieren. Diese abgespeicherten Wände reichen bereits zum Erstellen einer Karte aus. Je mehr Wände der Umgebung abgespeichert werden, also je länger der Roboter umherfährt, desto genauer kann die Karte ausgegeben werden.

Damit die Karte ausgegeben werden kann, sendet der Roboter die gesammelten Wanddaten (über die serielle Leitung) an den PC. Dort werden sie in einer Textdatei gespeichert, die man mit einem Visualisierungsprogramm laden kann.

Dieses Programm kann neben der Visualisierung die Daten noch aufbereiten und verbessern. Dabei werden Wandabschnitte, die zu einer Wand gehören zusammengefasst (wie in Kapitel 4.6 angegeben). Außerdem wird bestimmt ob eine Wand, die der Roboter passiert hat, schon einmal gespeichert ist. Der Unterschied dieser Berichtigung zum Vorgang im Roboterprogramm ist, dass hier jede Wand mit allen anderen Wänden verglichen wird. Auf dem Roboter werden neu gefundene Wände nur mit bereits bekannten Wänden verglichen und falls eine passende Wand gefun-

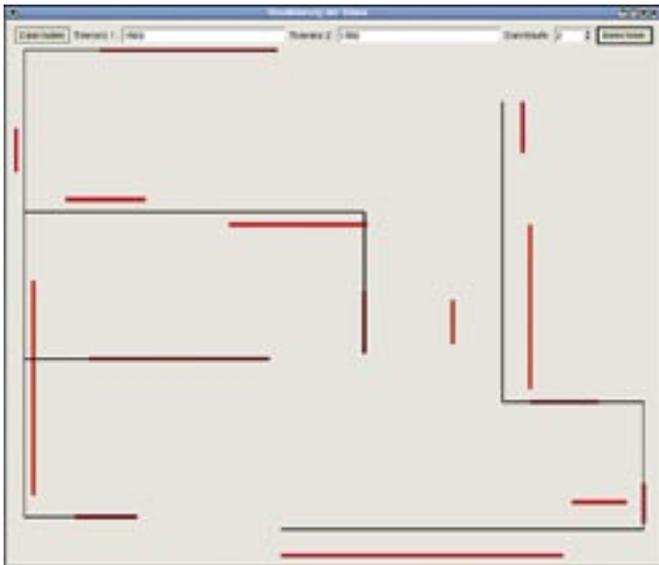


Abbildung 15: Die Visualisierung der Wände

den ist, wird die Neue dieser Wand zugeordnet und nicht mehr weiter verglichen.

Bei der Methode am PC können auch mehr als zwei Wände zusammengefasst werden, wenn sie alle innerhalb der gegebenen Toleranzen liegen.

Zusätzlich werden noch Wände geändert, bei denen vermutet wird, dass sie mit einer anderen Wand eine Ecke ergeben. Dazu wird eine Wand mit allen Anderen, die senkrecht zu ihr stehen verglichen. Zum einen wird geprüft ob der Wert der Wand zwischen dem Anfang und dem Ende der Vergleichswand liegt. Die beiden Enden werden beim Vergleich um die zweite Toleranz (vgl. 4.6) verlängert. Zum Anderen wird getestet, ob für den Wert der Vergleichswand dasselbe bezüglich der Enden der Testwand gilt. Sind beide Bedingungen erfüllt, wird die Wand bis zum Wert der Vergleichswand verlängert. Liegt der Wert der Vergleichswand zwischen dem Anfang und Ende der Testwand und ist das kürzere überstehende Ende kleiner als die zweite Toleranz, wird die Wand an diesem Ende abgeschnitten.

Vor jeder Aufbereitung der Kartendaten können die Toleranzen manuell verstellt werden. Dazu kann man einstellen, wie oft der Aufbereitungsalgorithmus durchlaufen wird. Es ist durchaus sinnvoll den Algorithmus öfter als einmal anzuwenden. Denn bei weiteren Aufrufen des Algorithmus können Wände, die bereits verbessert wurden, wieder in den Toleranzbereich anderer Wände fallen. Zum Beispiel können Wände, die beide

zu einer senkrechten Wand verlängert werden im nächsten Durchlauf den gleichen Wert erhalten, weil ihre Enden dann den gleichen Wert haben, obwohl sie vorher auch mit dem Toleranzbereich nicht kombiniert werden konnten.

Die Abbildung 15 zeigt die Visualisierung von Wanddaten, die der Roboter bei der Fahrt durch die linke Hälfte der realen Umgebung gesammelt hat. Die neu errechneten Wände werden in der Karte schwarz eingezeichnet. Mehr Karten dieser Auswertungsmethode sind im Anhang zu sehen.

6.2 Systematische Wandererkennung

Eine einfache Möglichkeit den Umriss eines unbekanntes Raums zu erkunden ist, sich an der Wand entlang zu tastet. Um die Größe dieses Raums zu bemessen, könnte man die Schritte zählen, die man an einer Wand entlang gemacht hat. Diese Methode ist durchaus auch bei intelligenten Lebewesen natürlich, wenn es in einem Raum dunkel ist. Da die Sensoren des Khepera höchstens 10 cm weit Daten messen und dies im Vergleich zur Größe der vorliegenden Umgebung sehr wenig ist, bietet sich die beschriebene Methode auch für den Roboter an.

Da die Wände unseres Labyrinth immer senkrecht aufeinander stehen, ist die beschriebene Vorgehensweise leicht umzusetzen. Der Roboter fährt an der Wand entlang, dabei wird die Methode benutzt, die in Kapitel 4.5 beschrieben ist. Werden die beiden vorderen Sensorwerte zu hoch, ist er an einer Ecke angekommen. Dort dreht er sich 90° um die eigene Achse, von der verfolgten Wand weg. Sind alle vorderen Sensoren zu niedrig, ist die Wand beendet und er muss sich in die Richtung der Wand drehen um zur nächsten Wand zu gelangen. Bei jeder Drehung merkt sich der Roboter wie weit er an der Wand entlang gefahren ist und welche Ausrichtung sie hat. Die gefahrene Strecke wird durch die Motorposition berechnet. Damit die Wände mit dem Programm des vorherigen Kapitels ausgegeben werden können (siehe Abbildung 17), müssen

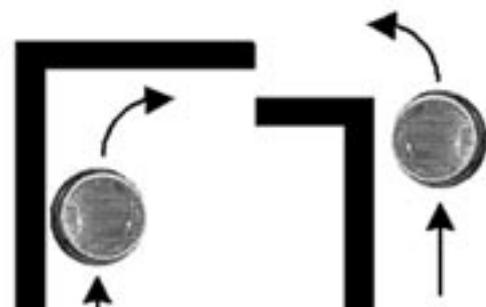


Abbildung 16: Verhalten des Roboters an den Ecken des Raumes

die gesammelten Daten noch ins passende Format gebracht werden. Die Daten werden der Reihe nach durchlaufen. Je nach Ausrichtung der aktuellen Wand wird die gemessene Strecke zur X- bzw. Y-Koordinate addiert oder subtrahiert. Die Daten der Mauern können mit den berechneten Koordinaten einfach bestimmt werden. Der Wert der Wand ist die aktuelle X- bzw. Y-Koordinate. Als Anfang wird die Position vor der Berechnung gesetzt, als Ende die neue Position.

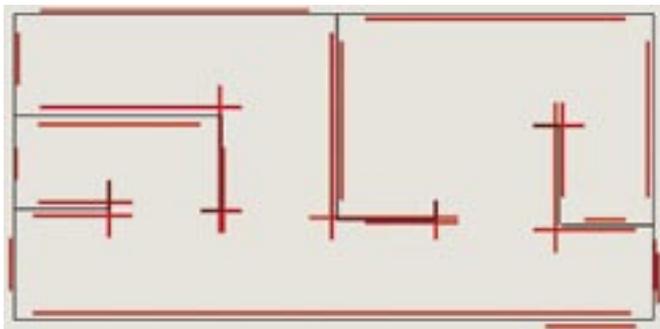


Abbildung 17: Ausgabe des abgefahrenen Labyrinths

Mit dieser einfachen Methode können sehr wirklichkeitsgetreue Karten erstellt werden. Der Nachteil dieser Methode ist aber, dass keine Objekte innerhalb eines Raums erkannt werden können.

7 ROUTENPLANUNG

Ziel dieses Kapitels ist es, den Roboter zufällig durch einen Raum fahren zu lassen, dabei sollte er Objekte finden. Diese Objekte können verschiedene Gegenstände sein, die der Roboter bewegen kann und die er von Wänden unterscheiden kann. Meist sollten es Gegenstände sein, die nur eine geringe Breite haben, damit sie von den Wänden der Umgebung unterschieden werden können. Den Unterschied sollte der Roboter mit einer Kamera oder den vorhandenen Infrarotsensoren feststellen. Die gefundenen Gegenstände sollte der Khepera dann an einen bestimmten Ort bringen, also alle Objekte in der vorliegenden Umgebung einsammeln und aufräumen. Zu diesem Zweck sollte der Roboter die Gegenstände mit einer Drahtschleife ergreifen und hinter sich herziehen.

Das Problem besteht also im Wesentlichen aus drei Teilen:

1. Der Roboter muss in der Umgebung des Labyrinths umherfahren und Objekte finden.
2. Gefundene Objekte muss er ergreifen bzw. in die Schleife bringen.

3. Die in der Schleife aufgenommenen Objekte muss der Roboter an einem bestimmten Punkt abstellen (siehe Abbildung 18). Für diesen Punkt wird der Startpunkt des Roboters verwendet.

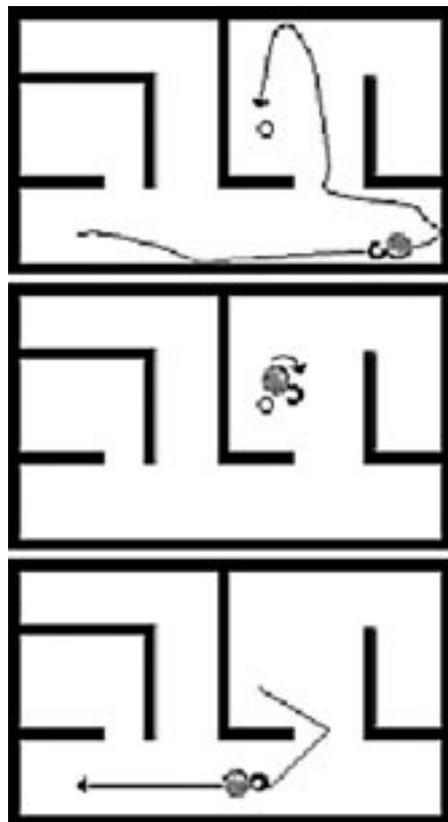


Abbildung 18: Objekt einsammeln

7.1. Neuronales Netz zur Navigation

Dafür wurde ein Algorithmus entwickelt, der den Roboter zu einer bestimmten Koordinate fahren lässt, ohne auf Hindernisse zu achten. Die Ausgabe von diesem Algorithmus umfasst die Geschwindigkeit der beiden Kheperamotoren. Da nicht bekannt ist welches Netz für diese Problematik am besten geeignet ist, wurde zuerst versucht ein einfaches zweischichtiges Netz zu finden. Die Ausgabezeit hat zwei Neuronen für die beiden Motoren des Roboters.

7.1.1 Einfaches Netz zum Ausrichten des Roboters

Bei der Eingabeschicht ist die Auswahl der Eingabeneuronen schwieriger. Um den Roboter in die Richtung der ausgewählten Koordinaten fahren zu lassen, muss er sich erst in die Richtung seines Zieles drehen. Dazu wird der Winkel benötigt, in den der Roboter gerade zeigt. Dieser ist bereits von der Koordinatenberechnung bekannt. Aus den Zielkoordinaten

dinaten und dem Standpunkt des Roboters kann auch der Winkel berechnet werden, in dessen Richtung der Roboter fahren muss, um sich dem Ziel zu nähern.

Aus diesen zwei Eingabewinkeln wird die Differenz (Fehlwinkel normiert zwischen -180° und 180°) berechnet. Die Winkel sind so definiert, dass sich der Roboter bei einem positiven Fehlwinkel im Uhrzeigersinn und bei einem negativen Fehler gegen den Uhrzeigersinn drehen muss.

Aus diesen berechneten Werten kann man bereits ein einfaches Netz mit einem Eingabeneuron erstellen, das den Roboter in die richtige Richtung drehen lässt. Das Eingabeneuron hat den Wert des Fehlwinkels, der durch eine lineare Aktivierungsfunktion bis zur Sättigung (linear threshold) auf einen Wert zwischen -1 und 1 gesetzt wird.

$$F_{\text{Fehlwinkel}}(\alpha) = \begin{cases} -1 & \alpha < -180 \\ \frac{\alpha}{180} & \text{falls } -180 \leq \alpha \leq 180 \\ 1 & \alpha > 180 \end{cases}$$

Die Gewichte werden so gesetzt, dass ein positiver Fehlwinkel den rechten Motor bremst und den linken beschleunigt, bei einem negativen Fehler umgekehrt. Die Startgewichte werden deshalb zu Beginn auf -1 und 1 gesetzt, wie man in der folgenden Abbildung sieht.

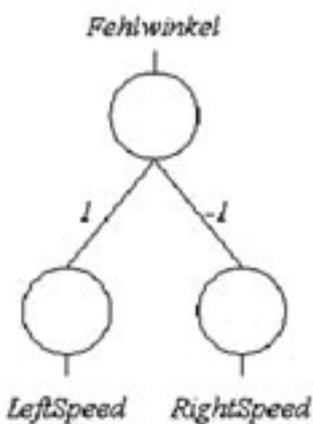


Abbildung 19: Das Netz zum korrigieren der Ausrichtung

Die beiden Ausgabeneuronen werden wieder durch eine lineare Aktivierungsfunktion bis zu Sättigung, auf Werte zwischen -1 und

1 gesetzt und in der Ausgabefunktion mit der maximalen Geschwindigkeit multipliziert. Das entworfene Netz erzielt bereits sehr gute Ergebnisse, so dass es gar nicht mehr trainiert werden muss

7.1.2 Roboter zum Ziel fahren

Da sich der Roboter bis jetzt zwar in die richtige Richtung dreht, aber dem angegebenen Ziel noch nicht nähert, benötigt man ein weiteres Eingabeneuron. Dazu könnte man

ein konstantes Biaselement verwenden, das zu den beiden Ausgabeneuronen immer einen bestimmten Wert addiert, der durch die Gewichte gegeben ist. Dies hätte aber zu Folge, dass der Roboter zu schnell ist, wenn er nahe am Ziel ist und an ihm vorbei fährt, bevor er es bemerkt hat. Deswegen muss ein Eingabeneuron verwendet werden, das den Roboter abbremst, wenn er sich dem Ziel nähert. Deshalb wird der Abstand zwischen dem Khepera und dem Ziel als Eingabeneuron verwendet. Dieses wird durch seine Aktivierungsfunktion auf das Intervall zwischen 0 und 1 normiert. Dabei wird der Roboter erst ab einem bestimmten Abstand und in der Nähe vom Ziel gebremst.

$$F_{\text{Abstand}}(d) = \begin{cases} \frac{d}{625} & \text{falls } d < 625 \\ 1 & \text{falls } d \geq 625 \end{cases}$$

Die Gewichte zu den beiden Ausgabeneuronen müssen positiv gesetzt werden. Standardmäßig werden die beiden Gewichte auf 1 gesetzt, was bedeutet, dass ein Motor insgesamt keinen negativen Wert mehr erhält. Deshalb, dreht sich der Roboter nicht mehr um seine Achse, sondern fährt eine Kurve.

Um das Netz noch zu verfeinern wurde noch ein drittes Eingabeneuron erstellt. Dieses soll verhindern, dass der Roboter sich von den Zielkoordinaten entfernt, falls ein großer Fehlwinkel vorliegt. Ist dies der Fall soll die Gesamtgeschwindigkeit, die durch das Abstandsneuron gesetzt wird, wieder reduziert werden. Je größer der Fehlwinkel ist, desto langsamer soll der Roboter sich von der Stelle bewegen. Das neue Neuron bekommt deshalb den absoluten Betrag des Fehlwinkels als Wert und die Gewichte zu den Ausgabeneuronen werden auf -1 gesetzt. Die Aktivierungsfunktion ist in diesem Fall aber komplizierter. Da dieses Neuron nicht mehr von der Geschwindigkeit abziehen darf, als von dem Abstandsneuron beschleunigt wird, muss dies noch in der Berechnung berücksichtigt werden.

$$F_{\text{Berichtigung}}(|\alpha|) = \begin{cases} F_{\text{Abstand}} \cdot \frac{|\alpha|}{90} & \text{falls } |\alpha| < 90 \\ F_{\text{Abstand}} & \text{falls } |\alpha| \geq 90 \end{cases}$$

Bei der Implementierung muss man nur darauf achten, dass der Roboter im Normalfall das Ziel nie ganz genau erreichen wird. Deshalb wurde angenommen, dass das Ziel erreicht ist, wenn er sich näher als eine bestimmte Genauigkeitskonstante an den vorgegebenen Koordinaten befindet.

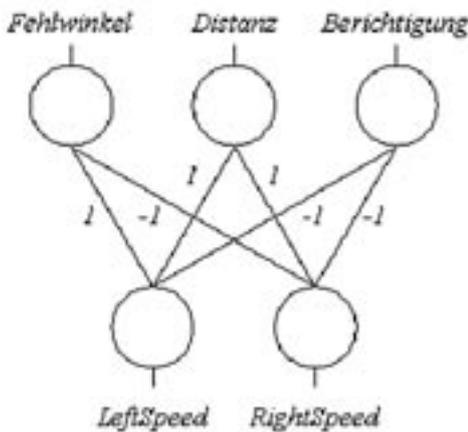


Abbildung 20:
Das gesamte
Steuernetz

7.2 Hindernissen ausweichen

Bis jetzt besteht ein neuronales Netz, das den Roboter von einem beliebigen Punkt zu einem durch Koordinaten festgelegten Ziel bringt. Dieses Netz berücksichtigt aber nicht die Umgebung des Khepera, also Wände oder andere Hindernisse in der Umgebung.

Da es mit dem Braitenberg-Algorithmus bereits eine Möglichkeit gibt, Hindernissen auszuweichen, wurde dieser mit dem Steuernetz kombiniert. Ein einfacher Regler prüft, ob der Roboter in der Nähe eines Hindernisses ist. Ist dies der Fall, wird teilweise der Braitenberg-Algorithmus und das Steuernetz für die Geschwindigkeitssteuerung verwendet. Je näher sich der Khepera an dem Hindernis befindet, desto mehr Einwirkung hat der Braitenberg-Algorithmus auf die Steuerung.

Die endgültige Steuerung setzt sich aus verschiedenen Anteilen der zwei einzelnen Geschwindigkeiten zusammen. Die Größe des Anteils wird dabei durch den Regler berechnet.

$$Speed_{Gesamt} = (1 - \text{Regler}) \cdot Speed_{Steuernetz} + \text{Regler} \cdot Speed_{Braitenberg}$$

7.3 An den Ausgangspunkt zurückkehren

Die vorher beschriebene Methode erzielt auf kurzen und relativ freien Strecken sehr gute Ergebnisse. Auf längeren Wegen mit vielen Hindernissen, wie sie in der vorliegenden Umgebung normal der Fall sind, findet der Roboter aber oft nicht zum Zielpunkt. Dies resultiert daraus, dass das Netz für die Steuerung zum Zurückfahren den direkten Weg zum Ziel nimmt. Wenn also zwischen dem Roboter und dem Ziel eine Wand steht, steuert ihn das Netz direkt darauf zu. Das Braitenbergnetz verhindert zwar den Aufprall, aber wenn der Roboter wieder außerhalb der Reichweite des Hindernisses kommt,

will ihn das Steuernetz wieder direkt auf das Ziel und somit wieder auf die Wand lenken. Dadurch entsteht ein ständiger Wechsel der beiden Netze. Bei kurzen Hindernissen ist das kein Problem, weil sich der Roboter während der Wechselphasen der beiden Netze langsam entlang der Wand schlängelt und so an ihr vorbei kommt. Endet die Mauer in unserem Labyrinth aber an einer anderen Wand, kann der Roboter an der Ecke nicht mehr weiter und bleibt dort stehen.

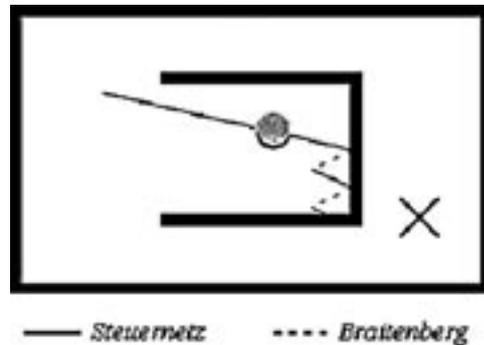


Abbildung 21:
Stillstand an
einer Ecke

Deshalb ist es notwendig eine intelligentere Lösung zu finden. Da das Steuernetz dazu gedacht ist Gegenstände, die der Khepera findet an einen Punkt zu transportieren, reicht es eine Lösung zu finden, den Roboter an seinen Startpunkt zurückkehren zu lassen. Durch diese Einschränkung kann man Umgebungswerte, die der Roboter beim Entfernen von seinem Startpunkt wahrnimmt, bei der Rückfahrt nutzen.

7.3.1 Den Hinweg zurückverfolgen

Eine einfache Methode den Roboter an seinen Startpunkt zu bringen ohne den oben beschriebenen Stillstand zu riskieren, ist die zurückgelegte Strecke umgekehrt abzufahren. Mit dieser Methode kommt dem Roboter auf dem Rückweg sicher kein Hindernis in den Weg.

Diese Vorgehensweise ist einfach zu realisieren, indem man die Koordinaten an denen sich der Roboter während der Hinfahrt befindet abspeichert. Auf der Rückfahrt muss man die einzelnen Positionen dann in umgekehrter Reihenfolge mit dem Steuernetz abfahren.

Dafür wird eine Genauigkeitskonstante angelegt, die den Abstand zwischen zwei Positionen bestimmt, die abgespeichert werden sollen. Beim Bewegen durch das Labyrinth wird wieder der Braitenberg-Algorithmus verwendet. In jedem Schleifendurchlauf des Algorithmus wird der Abstand zu den zuletzt abgespeicherten Koordinaten überprüft. Ist dieser größer als die Genauigkeitskonstante, wird die aktuelle Position in einem Array abgespeichert.

Beim Zurückfahren wird das Array mit den gespeicherten Werten von hinten nach vorne durchlaufen. Die aktuellen Werte werden dabei jeweils als Ziel des Steueretzes gesetzt. Das Ziel gilt hierbei als erreicht, wenn der Roboter eine Position erreicht hat, die näher als die eingestellte Genauigkeit an der Zielposition liegt. Ist der Array dann komplett durchlaufen, befindet sich der Roboter innerhalb eines Kreises um die Startposition mit einem Radius, der der angegebenen Genauigkeit entspricht.

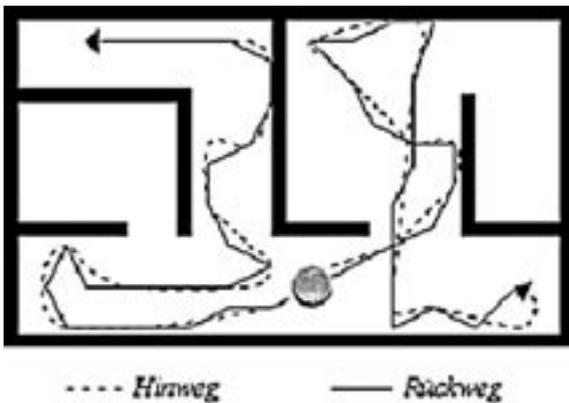


Abbildung 22: Den Hinweg zurückverfolgen

Zusätzlich kann man beim letzten Ziel die Genauigkeit, auf ein Minimum setzen, dass sicher erreicht werden kann. Somit steht der Roboter zum Schluss des gesamten Algorithmus genau am dem selben Punkt wie zu Beginn.

Bei dieser Lösung fährt der Roboter aber viele unnötige Wegstrecken. Dabei kommt auch wieder das Problem, dass die Koordinaten bei stärkeren Winkeländerungen ungenau und falsch werden, stark zum Vorschein. Bei Versuchen, bei denen der Roboter 50 Schritte mit einer Länge von jeweils 8 cm auf dem Hinweg zurücklegte, fand er deshalb nur jedes dritte Mal an den Ausgangspunkt zurück. Offensichtlich verschieben sich die Koordinaten so, dass eine Zielcoordinate oft hinter einer Wand liegt und der Khepera-Roboter deshalb das Ziel nicht erreichen kann.

7.3.2 Die kürzeste Route planen

Um unnötige Strecken und somit die Fehlermöglichkeiten bei der Positionsberechnung zu verringern, soll der Roboter nun direkt zum Ausgangspunkt zurückfahren.

Dafür wird während der Hinfahrt eine Karte der vorliegenden Umgebung erstellt. Die Umgebung ist in größere Quadrate unterteilt. Für jedes dieser Quadrate wird in der Karte gespeichert, wie viele Schritte der Roboter von dort aus

minimal zum Startpunkt braucht. Somit muss der Khepera bei der Rückfahrt immer das Quadrat ansteuern, das direkt an dem Feld anliegt, in dem der Roboter steht, welches die niedrigste Schrittzahl zum Startpunkt enthält.

Bei der zufälligen Erkundung der vorliegenden Umgebung mit dem Braitenberg-Algorithmus, wird bei jedem Schleifendurchlauf geprüft ob der Roboter ein anderes Quadrat der Karte betreten hat. Ist dies der Fall wird ein Schrittzähler erhöht und das betretene Feld bekommt diesen als neuen Eintrag.

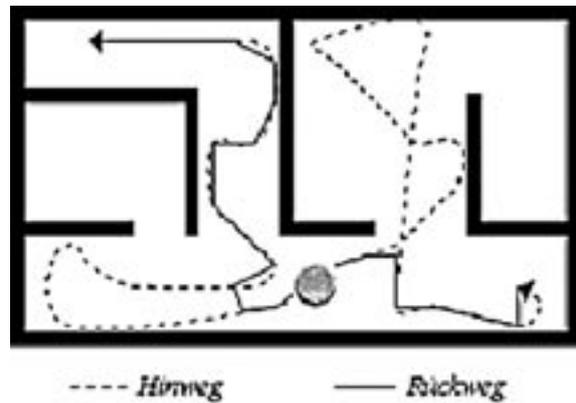


Abbildung 23: Die kürzeste Route zurück fahren

Würde man diesen Algorithmus so lassen, würde der Roboter später aber wieder nicht den direkten Weg zurücknehmen. Deswegen muss die Karte verbessert werden, wenn der Roboter in ein Feld der Karte kommt, das er schon mal befahren hat oder dessen Nachbarn bereits bekannt sind. Also wurde erst einmal der Wert des Feldes nicht gleich dem Schrittzähler gesetzt, sondern der kleinste direkte Nachbar gesucht. Dieser wird dann um eins erhöht und als Wert des aktuellen Feldes gesetzt.

Um die gesamte Karte zu verbessern, müssen aber noch alle direkten Nachbarn überprüft werden, ob deren Werte noch stimmen. Kommt der Roboter zum Beispiel an einen Punkt, an dem er schon einmal war und es gibt einen kürzeren Weg zum Startpunkt zurück, hat das Feld in dem der Roboter davor war einen falschen Wert. Deswegen wurde eine rekursive Funktion entwickelt, die alle 8 anliegenden Quadrate überprüft. Ist dann der Wert eines Nachbarn zu groß wird dieser korrigiert und die Funktion auf diesen Punkt angewendet. Häufig genügt es sogar nur den aktuellen Wert (entspricht dem kleinsten Nachbarwert) um eins zu erhöhen.

Beim Rückweg wird deshalb das Nachbarfeld als Ziel angegeben, welches den niedrigsten Wert enthält. Dazu wird die Mitte dieses Quadrates berechnet. Das Gesamtziel ist erreicht, wenn der Punkt der Karte erreicht ist, dessen Wert Null ist.

8 FAZIT UND AUSBLICK

Neben der Voraussetzung einer statischen Umgebung ist eine wesentliche Einschränkung des dargestellten Navigationssystems die Abhängigkeit der Lokalisation von der Umgebung. Dem Roboter wurde für die Aufgabe der Kartenerstellung einiges an Vorwissen über seine Umgebung mitgegeben: die orthogonale Anordnung der Wände, die Wandbreite (Annahme einer bestimmten Wandform) und eine vorgegebene Größe der Karte (wobei jedoch auch der Einsatz eines „wachsenden“ selbstorganisierenden Netzes für die Karte denkbar wäre (vgl. Marsland u.a. 2002)). Was passiert nun aber, wenn der Roboter wirklich unbekannter Umgebung ausgesetzt ist? Der Roboter wird sich an der unbekannt Struktur nicht orientieren können. Generell ist Landmarkennavigation durch externe Wahrnehmung („Navigation in der wirklichen Welt“) notwendig, da allein auf Koppelnavigation basierende Lokalisation (lediglich innerhalb eines internen Bezugssystems) nicht robust genug ist. Landmarken lassen sich nach Nehmzow (2002, S. 100) definieren als: „auffällige, permanente, wahrnehmbare Merkmale der Umgebung“. Für unbekannte Umgebungen wäre es besser, selbständig nach geeigneten Landmarken suchen zu lassen, anstatt diese bzw. deren charakteristische Merkmale durch den Entwickler vorzugeben. Im Idealfall sollte also der Roboter sozusagen von selbst auf die Idee kommen, sich in einer Umgebung mit rechtwinkligen Wandstrukturen an den Wänden entlang zu orientieren (Routennavigation), um seine Position zuverlässiger bestimmen zu können.

Die Selbstlokalisierung durch reine Odometrie (Propriozeption) ist durch unvermeidbare Drift- und Rotationsfehler immer ungenau und fehleranfällig und kann daher nicht als alleinige Grundlage für robuste und zuverlässige Navigation (Lokalisation und Kartenerstellung) verwendet werden. Weiterhin sind die Odometrie-Messungen auf ebenen Untergrund beschränkt. Im Bericht wurde die Methode der Routennavigation, d. h. die Orientierung entlang der Wände, als Ansatz zur Korrektur der Odometrie vorgestellt. Entweder man versucht also, die Odometrie durch Exterozeption zu kalibrieren oder man verzichtet sogar auf Odometrie und verwendet zur Lokalisation nur Daten von externen Sensoren (z. B. Sonarsensoren bei Nehmzow (1999)) oder auch die Abfolge von sensorischen Wahrnehmungen und motorischen Aktionen (Nehmzow und Smithers 1991). Durch die Kombination verschiedener Sensortypen (Sensorfusion) kann die Erkennung von Landmarken und somit die Lokalisation weiter verbessert werden. Um eine ausreichend genaue

Koppelnavigation zu erreichen, müssen die Rotationsfehler der Odometrie-Messungen anhand eines Kompasssinnes korrigiert werden. Bei Verwendung eines Magnetkompasses entspricht der magnetische Nordpol im Prinzip einer globalen Landmarke als Referenz im Bezugssystem.⁶

Ein tiefgreifenderes Problem ist die Schwierigkeit der Entwicklung eines Roboters, der sich sowohl in Innenräumen (Bürräume etc.) als auch im offenen Gelände (oder auch große Räume, Hallen etc.) orientieren kann, wobei es aufgrund der begrenzten Reichweite der Sensoren und kaum vorhandenen Strukturen schwierig wird, überhaupt noch Landmarken wahrzunehmen. Eine Möglichkeit, dieses Problem anzugehen, besteht in der Verwendung von Kameras oder speziell omnidirektionalen Kameras (vgl. Wahlgren und Duckett 2005).

Wenn die Exploration der Umgebung über reaktive Steuerung erfolgt, wie mit dem verwendeten Braitenberg-Algorithmus, kann nicht sichergestellt werden, dass der Roboter alle Bereiche der zu erkundenden Umgebung erreicht, um sie in die Karte aufzunehmen. Denn in gewisser Weise wird ein Roboter mit rein reaktiver Steuerung vielmehr von der Umgebung gesteuert als durch eigene zielgerichtete Planung. Eine mögliche Lösung wäre die Anwendung des A*-Algorithmus oder besser value iteration auf einem Belegtheitsraster der Umgebung (vgl. Thrun und Bücken 1996). Value iteration bietet den Vorteil, dass die Unsicherheiten beim Ausführen der Bewegungen des Roboters miteinbezogen werden können.

Generell sind folgende beiden Fragestellungen bei der Kartenerstellung bedeutsam (vgl. Nehmzow 1995).

- Welche Merkmale der Umgebung sollen ausgewählt und für die Erstellung der Karte verwendet werden?
- Wie sollen diese Merkmale in der Karte repräsentiert werden?

Bei den meisten Verfahren zur Kartenerstellung wird zwischen metrischer und topologischer Karte unterschieden. Topologische Karten speichern nur die Verbindungen zwischen Orten im Raum. Metrische Karten hingegen enthalten detaillierte Daten für Koordinaten. Bei der Pfadplanung auf der Basis topologischer Karten können Graphen-Suchalgorithmen (A*) verwendet werden, die im Vergleich zu auf metrischen Karten basierenden Pfadplanungsalgorithmen

⁶ Einige Insekten benutzen das Polarisationsmuster der Sonne als globale Landmarke (siehe Pfeifer und Scheier 2001, S. 96 f. u. 553 f.).

(value iteration) effektiver sind. Metrische Karten haben eine weit höhere Auflösung, deshalb ist die Suche auch komplexer. Topologische Karten können aus metrischen Karten gewonnen werden (vgl. Thrun und Bücken 1996).

In Anbetracht dessen, dass „jeder organische Körper eines Lebewesens eine Art göttliche Maschine oder ein göttlicher Automat [ist], der alle künstlichen Automaten unendlich übertrifft“⁷, stellt sich vielleicht die Frage nach „biologisch plausibleren“ Ansätzen (Balakrishnan und Honavar 1997) (Trullier u.a. 1997) (Franz und Mallot 2000) anstatt des Einsatzes der ingenieurmäßigen, geometrischen und probabilistischen Methoden (Thrun 2002) (Frese 2006). Jedoch stellt auch die formale Logik ein mächtiges und elegantes Werkzeug zur Entwicklung intelligenter Systeme dar. So erfolgte durch Lespérance u.a. (1996a) eine Wiederbelebung und Weiterführung der logik- und wissensbasierten KI in der mobilen Robotik⁸, wie der erfolgreiche Einsatz im Rahmen ihres Cognitive Robotics-Projekt demonstriert. Aus unserer Sicht sind biologisch-inspirierte Roboter zwar die kognitionswissenschaftlich interessantere Alternative und langfristig wahrscheinlich auch am erfolgreichsten; allerdings erscheint uns eine hybride Architektur aus reaktiver/verhaltensbasierter und deliberativer/logik- und wissensbasierter Schicht für unsere Zwecke – intelligente Roboter zu entwickeln⁹ – am flexibelsten (vgl. Lespérance 1999b). Vor allem sollte man dabei den reaktiven Ansatz nach Brooks (1991) nicht unterschätzen: aufgrund des eher ingenieurmäßigen, d. h. „biologisch unplausiblen“ Vorgehens, können mit verhältnismäßig geringem Aufwand komplexe Verhalten implementiert werden. Diese Verhalten wiederum können als ausführbare Aktionen der deliberativen Schicht zur Verfügung gestellt werden, die für Handlungsplanung (konkret etwa Pfadplanung für die Navigation) zuständig ist. Eine aufgrund von Landmarken- und Koppelnavigation zu erstellende topologische Karte – und hierzu können wir uns durchaus an biologischen Vorbildern orientieren – kann zur weiteren Nutzung in eine „logische“ Karte für die Wissensbasis umgeformt werden. Nicht zuletzt bietet die wissensbasierte Komponente der deliberativen Schicht eine gute Grundlage für eine Komponente zur Mensch-Roboter-Kommunikation.

⁷ G. W. Leibniz in § 64 seiner Monadologie

⁸ *Good Old-Fashioned Artificial Intelligence (and Robotics): GOFAR*

⁹ im Gegensatz etwa zur Evaluation biologischer/kognitiver Modelle mit Hilfe von Robotern (Prescott und Ibbotson 1997) – außerdem besteht die Frage wie sinnvoll und gerechtfertigt derartige Biorobotik überhaupt ist (Webb 2001)

LITERATUR

- Balakrishnan und Honavar 1997** Balakrishnan, Karthik; Honavar, Vasant: Spatial Memory Structures for Sensor-Guided Robot Navigation. In: GP-97, 1997
- Braitenberg 1986** Braitenberg, Valentino: *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. Reprint. Cambridge, MA: MIT Press, 1986
- Brooks 1985** Brooks, Rodney A.: A Robust Layered Control System for a Mobile Robot/MIT. 1985. – MIT AI Memo
- Brooks 1991** Brooks, Rodney A.: Intelligence without representation. In: *Artificial Intelligence* 47 (1991), S. 139–159
- Frese 2006** Frese, Udo: A Discussion of Simultaneous Localization and Mapping. In: *Autonomous Robots* 20 (2006), S. 25–42
- Fumiya u. a. 2004** Fumiya, I. (Hrsg.); Pfeifer, R. (Hrsg.); Steels, L. (Hrsg.); Kunyoshi, K. (Hrsg.): *Embodied Artificial Intelligence: Lecture Notes in AI*. Bd. 3139. Berlin: Springer, 2004
- Gutmann 2000** Gutmann, Jens-Steffen: *Robuste Navigation autonomer mobiler Roboter*, Universität Freiburg, Dissertation, 2000
- Lespérance u. a. 1999a** Lespérance, Yves; Levesque, Hector J.; Reiter, Raymond: A situation calculus approach to modeling and programming agents. In: Rao, A. (Hrsg.); Wooldridge, M. (Hrsg.): *Foundations and Theories of Rational Agency*, Kluwer, 1999
- Lespérance u. a. 1999b** Lespérance, Yves; Tam, Kenneth B. L.; Jenkin, Michael R. M.: Reactivity in a Logic-Based Robot Programming Framework. In: *Agent Theories, Architectures, and Languages*, 1999, S. 173–187
- Marsland u. a. 2002** Marsland, Stephen; Shapiro, Jonathan; Nehmzow, Ulrich: A Self-organising Network that Grows When Required. In: *Neural Networks* 15 (2002), S. 1041–1058
- Nehmzow 1995** Nehmzow, U.: Animal and robot navigation. In: *Robotics and Autonomous Systems* 15 (1995), S. 71–81
- Nehmzow 1999** Nehmzow, U.: “Meaning” through Clustering by Self-Organisation of Spatial and Temporal Information. In: *Computation for Metaphors, Analogy and Agents* Bd. 1562, 1999
- Nehmzow 2002** Nehmzow, Ulrich: *Mobile Robotik: Eine praktische Einführung*. Berlin: Springer, 2002
- Nehmzow und Smithers 1991** Nehmzow, Ulrich; Smithers, Tim: Mapbuilding using Self-Organising Networks in “Really Useful Robots”. In: Meyer, J. A. (Hrsg.); Wilson, S. (Hrsg.): *From Animals to Animats*, MIT Press, 1991

Prof. Jürgen Sauer

Tel.: 0941 943-1303

Fax 0941 943-1426

juergen.sauer@informatik.fh-regensburg.de

83

- Pfeifer und Scheier 2001** Pfeifer, Rolf; Scheier, Christian: Understanding Intelligence. Cambridge, MA: MIT Press, 2001 (A Bradford Book)
- Prescott und Ibbotson 1997** Prescott, Tony; Ibbotson, Carl: The early evolution of spatial behaviour: robot models of trace fossils. In: Sharkey, Noel (Hrsg.); Nehmzow, Ulrich (Hrsg.): Spatial Reasoning in Mobile Robots and Animals, 1997
- Thrun 2002** Thrun, Sebastian: Robotic Mapping: A Survey. In: Lakemeyer, Gerhard (Hrsg.); Nebel, Bernhard (Hrsg.): Exploring Artificial Intelligence in the New Millenium, Morgan Kaufmann, 2002, S. 1-36
- Thrun und Bücken 1996** Thrun, Sebastian; Bücken, Arno: Integrating Grid-Based and Topological Maps for Mobile Robot Navigation. In: AAAI/IAAI, Vol. 2, 1996, S. 944-950
- Trullier u. a. 1997** Trullier, O.; Wiener, S.; Berthoz, A.; Meyer, J.: Biologically-based Artificial Navigation Systems: Review and Prospects. In: Progress in Neurobiology 51 (1997), S. 483-544
- Vlassis u. a. 1997** Vlassis, Nikos A.; Papakonstantinou, George; Tsanakas, Panayiotis: Robot Map Building by Kohonen's Self-Organizing Neural Networks. In: Proc. 1st Mobinet Symposium on Robotics for Health Care. Athens, Greece, Mai 1997
- Wahlgren und Duckett 2005** Wahlgren, Christoffer; Duckett, Tom: Topological Map Building for Mobile Robots using Omnidirectional Vision. In: Proc. SWAR'05, Third Swedish Workshop on Autonomous Robotics. Stockholm, Sweden, 2005
- Webb 2001** Webb, Barbara: Can robots make good models of biological behaviour? In: Behavioral and Brain Sciences 24 (2001), S. 1033-1050

FE-SIMULATION ZUR ERMITTLUNG DER EIGENSPANNUNGEN BEI UMWANDLUNGSFREIEN CHROMNICKELSTÄHLEN

1 EINLEITUNG

Das Schweißen ist eine der wichtigsten nicht lösbaren Verbindungen metallischer Werkstoffe. Dadurch gewinnt die Simulation von Fügeverfahren, insbesondere des Schmelzschweißens, immer mehr an Bedeutung. Ziel ist es, Fehlerquellen bereits in der Konstruktionsphase zu erkennen und sowohl den Schweißprozess, als auch das Bauteil in schweißtechnischer Hinsicht zu optimieren.

Gegenstand der hier vorliegenden Arbeit ist die numerische Simulation des Schweißprozesses mit der FE-Software ANSYS. Dabei soll untersucht werden, welchen Einfluss Schweißspannungen auf das Festigkeitsverhalten eines Bauteils haben. Gegenstand der Schweißspannungsuntersuchungen im Hause Krones war der Ventilträger einer Füllmaschine. Beim Ventilträger handelt es sich um ein ringförmiges Bauteil mit bis zu 6m Durchmesser, das sowohl Produktkanäle als auch Gaskanäle enthält. Diese Kanäle werden mit Blechbändern verschlossen und mit Hilfe des WIG-Schweißverfahrens in mehreren Schweißlagen dichtgeschweißt (Abb. 1). Da bei der bisherigen Auslegung die Einflüsse des Schweißprozesses unberücksichtigt blieben, sollte untersucht werden, inwieweit Schweißspannungen signifikant für die Spannungsbeurteilung des Bauteiles sind.

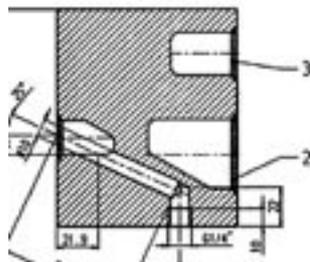


Abb. 1: Schweißung des Ventilträgers und Ventilträgerquerschnitt

2 GRUNDLAGEN

Unabhängig von der Ursache der Entstehung von Eigenstressen, wie z.B. durch Schweißen, sind Eigenstressen folgendermaßen definiert: Liegen in einem Bauteil Spannungen vor ohne dass äußere Kräfte oder Momente auf das Bauteil einwirken, werden diese Spannungen

als Eigenstressen bezeichnet. Schweißspannungen entstehen in erster Linie durch inhomogene Temperaturverteilungen, hervorgerufen durch die örtlich sehr begrenzte Wärmeeinbringung beim Schweißen. Es lassen sich grundsätzlich zwei Arten von Schweißspannungen aufgrund ihres Entstehungsmechanismus unterscheiden. Dabei handelt es sich um thermische Eigenstressen und Umwandlungseigenstressen. Letztere spielen in der vorliegenden Arbeit keine Rolle, da es sich beim Werkstoff um einen umwandlungsfreien Chromnickelstahl handelt (Wst. Nr.: 1.4301).

Thermische Schweißspannungen entstehen durch die sehr konzentrierte Wärmezufuhr beim Schweißvorgang. Dabei wird der Schweißnahtbereich im Gegensatz zum angrenzenden Grundwerkstoff sehr stark erwärmt und aufgeschmolzen. Der an das flüssige Schmelzbad angrenzende Grundwerkstoff dehnt sich dadurch sehr stark aus. Die Ausdehnung wird jedoch durch den kalten Grundwerkstoff außerhalb der Wärmeeinflusszone behindert und es entstehen Druckspannungen, die zu plastischen Materialstauchungen führen. Bei der nachfolgenden Abkühlung und Kontraktion findet eine Spannungsumkehr statt. Es entstehen Zugspannungen, da die Schweißnaht um den gestauchten Anteil zu kurz ist und die Schrumpfung durch den kalten angrenzenden Grundwerkstoff behindert wird.

Um dieses Verhalten nachzubilden, muss eine Simulation die Kopplung thermischer und strukturmechanischer Vorgänge berücksichtigen. Praktisch heißt das, es muss eine numerische Berechnung in zwei Schritten durchgeführt werden. Im ersten Schritt wird das instationäre Temperaturfeld in einer thermischen Analyse berechnet. Die aus der thermischen Analyse gewonnenen Knotentemperaturen werden im zweiten Schritt, der strukturmechanischen Analyse, als Knotenlasten aufgebracht. Bei der strukturmechanischen Analyse werden mit den aufgebrachten Temperaturlasten Wärmedehnungen und Wärmespannungen berechnet.

3 SIMULATION DER SCHWEISSWÄRMEEINBRINGUNG

Bei der Temperaturfeldanalyse des Schweißprozesses spielt die richtige Simulation der Wärmeeinbringung mit Hilfe eines geeigneten Wärmequellenmodells eine zentrale Rolle. In der Literatur [1], [2], [4], [5], [6], [7], [8] wird die verteilte Volumenwärmequelle nach Goldak für die Simulation der Wärmeeinbringung beim Schmelzschweißen empfohlen. Beim Schmelzschweißen wird die Wärme durch den Lichtbogen in einer dünnen Oberflächenschicht in das Werkstück eingebracht und von dort durch die Schmelzbadkonvektion

¹⁾ Dipl.-Ing. (FH), Absolvent der FH Regensburg, Studiengang Maschinenbau

²⁾ Dipl.-Ing. (FH), KRONES AG, Abteilung F&E - Technische Berechnungen, Neutraubling

³⁾ Prof. Dr.-Ing. FH Regensburg, Fachbereich Maschinenbau

in tiefere Werkstoffschichten verteilt. Die Volumenwärmequelle simuliert dieses Verhalten sehr genau, durch eine Wärmeerzeugung in tieferen Werkstoffschichten.

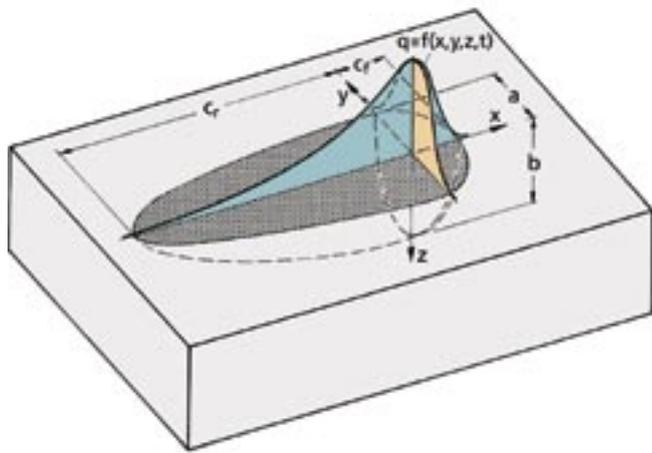


Abb. 2: Verteilte doppelteilsche Volumenwärmequelle nach Goldak

Die entsprechende Gleichung für die halbellipsoidförmige Volumenwärmequelle mit den Halbachsen c, a, b lautet nach [1]:

$$q_{vol}(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}q}{\pi\sqrt{\pi} \cdot c \cdot a \cdot b} \exp\left\{-3\left[\left(\frac{x}{c}\right)^2 + \left(\frac{y}{a}\right)^2 + \left(\frac{z}{b}\right)^2\right]\right\} \quad (1)$$

- q : effektive Schweißwärmeleistung
- x, y, z : Position im Koordinatensystem der Wärmequelle
- c, a, b : maximale Abmessungen der Schweißbadgeometrie

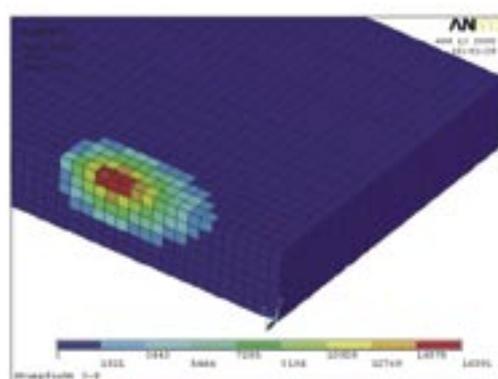
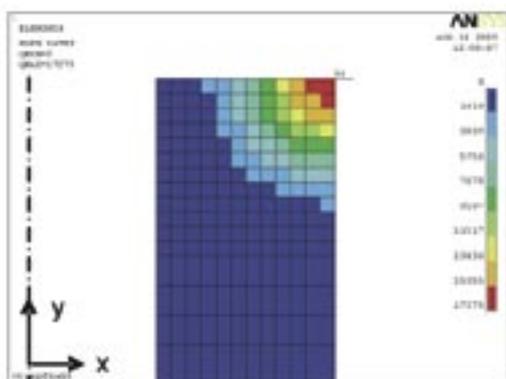
Um die in der Realität bei wandernder Schweißwärmequelle unsymmetrische (in Bewegungsrichtung x) Verteilung der Wärmequellendichte zu erfassen, können frontseitiges (Index f) und

rückseitiges (Index r) Ellipsoid auch unabhängig voneinander definiert werden (siehe Abb. 2). Die Halbachsen c_f und c_r werden realitätsnah mit $c_f > c_r$ gewählt. Die Wärmequellverteilung über der Oberfläche wird dabei als Gauß-Normalverteilung angenommen.

Aufgrund der Größe des Ventilträgers mit bis zu 6m Durchmesser und der erforderlichen feinen Vernetzung im Schweißnahtbereich erschien es als sinnvoll, ein 2D-Rechenmodell anzustreben, um die erforderliche Rechenzeit in Grenzen zu halten. Da es sich beim Ventilträger um ein ringförmiges Bauteil handelt, wurde ein rotationssymmetrisches 2D-Modell für die Schweißprozesssimulation entwickelt. Bei einem rotationssymmetrischen 2D-Modell wird nur der Querschnitt der Geometrie betrachtet und analysiert. Durch die Verwendung entsprechender Elementtypen mit Ansatzfunktionen für Rotationssymmetrie kann somit die dreidimensionale Geometrie auf ein zweidimensionales Problem reduziert werden.

Bei einem 2D-Modell kann jedoch die Wärmeeinbringung durch die direkte Anwendung der oben beschriebenen Wärmequelle (1) nicht simuliert werden. Deshalb ist es erforderlich, die Wärmeeinbringung über den zeitlichen Verlauf mit Hilfe der Schweißgeschwindigkeit zu simulieren. Für die Implementierung der verteilten Volumenwärme im FE-Programmsystem ANSYS wurde mit Hilfe der Programmiersprache (APDL), die ANSYS anbietet, ein Programm geschrieben, das die Simulation der Wärmeeinbringung mit der verteilten Volumenwärmequelle auch bei einem 2D-Modell ermöglicht. In Abb. 3 sind Wärmeverteilungen für ein einfaches rotationssymmetrisches 2D-Modell und ein 3D-Modell abgebildet.

Abb. 3: Wärmeverteilung in einem einfachen rotationssymmetrischen 2D-Modell und 3D-Plattenmodell bei Verwendung der Volumenwärmequelle



4 FEM-MODELLIERUNG

Modellerstellung

Bevor mit der Schweißspannungsanalyse am Ventilträger begonnen wurde, mussten Untersuchungen durchgeführt werden, inwieweit die Wärmeeinbringung und die sich daraus ergebende Temperaturverteilung im Werkstück der Realität entspricht. Für diesen Zweck wurden vorerst einfache Modelle verwendet. Anschließend wurde ein 2D Modell vom Ventilträger erstellt (Abb. 4), bei dem auf die Erkenntnisse aus den Berechnungen mit den einfachen Modellen zurückgegriffen wurde. Insgesamt wurde mit 3 verschiedenen Modellen gearbeitet.

- Rotationssymmetrisches Modell einer Rohrnahtschweißung mit wenigen Elementen. Mit diesem Rechenmodell wird die Richtigkeit der oben beschriebenen Wärmeeinbringung mit wenig Rechenaufwand geprüft. (360 Elemente)
- 3D-Plattenmodell zur Untersuchung des Einflusses der dreidimensionalen Wärmeableitung auf die Temperaturverteilungen, die beim 2D-Modell nicht simuliert werden kann. (ca. 50000 Elemente)
- Rotationssymmetrisches 2D-Modell des Ventilträgers für die Schweißspannungsanalyse. (ca. 4000 Elemente)

Für die Vernetzung der Geometrie müssen für die thermische und die strukturmechanische Analyse entsprechende Elementtypen gewählt werden. Für die thermische Analyse wurde der Elementtyp Plane55 und für die Strukturanalyse der Elementtyp Plane42 verwendet. Die Kopplung der thermischen mit der strukturmechanischen Analyse erfolgt durch einen Element-

wechsel nach der Temperaturfeldberechnung und dem Einlesen der Knotentemperaturen als Lasten für die Strukturanalyse.

Das Einschweißen der Blechbänder erfolgt in drei aufeinander folgenden Schweißlagen (Abb.4a). Dies muss bei der thermischen und strukturmechanischen Analyse entsprechend berücksichtigt werden. Mit den ANSYS-Befehlen EKILL und EALIVE werden Elemente, die noch nicht Bestandteil der Schweißnaht sind, deaktiviert. Bei der Simulation von nachfolgenden Schweißlagen (Zwischen- und Decklagen) werden diejenigen Elemente wieder aktiviert, die in Form von Schweißzusatzwerkstoff in die Schweißfuge eingebracht werden und somit Bestandteil der Schweißnaht werden.

Randbedingungen für die thermische und strukturmechanische Analyse

Nach der Wärmeeinbringung mit Hilfe der Volumenwärmequelle verteilt sich die Wärme entsprechend der Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs im Werkstück und wird an den Außenflächen des Werkstücks über freie Konvektion an die Umgebung abgegeben. Für die Simulation dieser Vorgänge sind Werkstoffdaten wie die Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Dichte in Abhängigkeit von der Temperatur vorzugeben. In ANSYS werden die Materialdaten über entsprechende Tabellen eingegeben. Weiterhin muss der Wärmeübergangskoeffizient (WÜK) für freie Konvektion bestimmt werden und den Flächen des FE-Modells an denen Konvektion stattfindet als Oberflächenlast zugewiesen werden. Die Werkstoffkennwerte für die thermische Analyse konnten problemlos für einen Temperaturbereich von 20°C bis 1400°C aus Werkstoffdatenbanken entnommen werden.

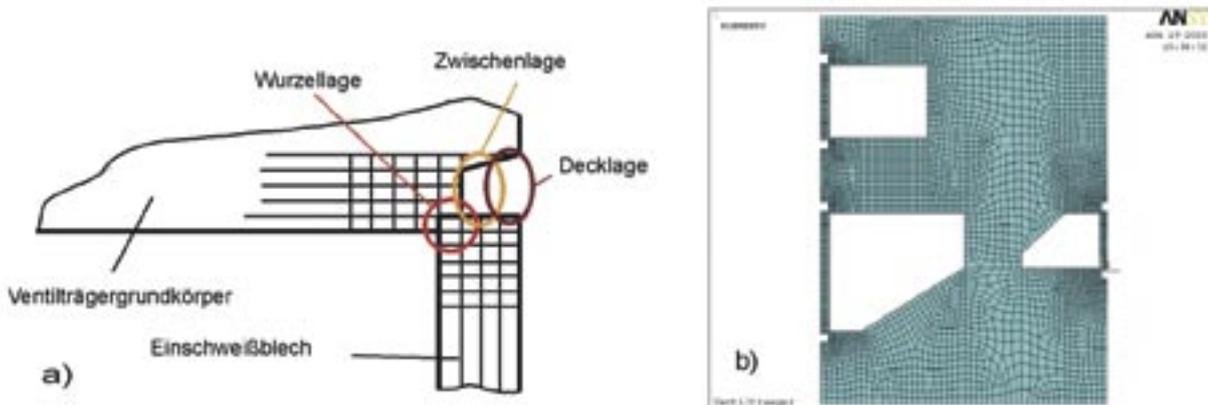


Abb. 4: a) Schweißnahtvorbereitung und Lagenaufbau; b) Vernetztes Modell des Ventilträgers mit deaktivierten Elementen der Zwischen- und Decklage

Die Beschaffung von Werkstoffkennwerten für die Strukturanalyse gestaltete sich weitaus schwieriger, da für Temperaturbereiche über 800°C keine Daten in der Literatur zu finden waren. Aus diesem Grund wurden Warmzugversuche durchgeführt. Es hat sich bewährt, bei der Strukturanalyse Schweißspannungen nach dem Modell des elastisch-plastischen Kontinuums zu berechnen. Zur strukturmechanischen Berechnung ist dazu ein Gesetz erforderlich, das den Zusammenhang zwischen den Dehnungen und den Spannungen herstellt. Im elastischen Bereich gilt das Hooksche Gesetz, welches einen linearen Zusammenhang zwischen Spannungen und Dehnungen herstellt. Nach Überschreiten der Streckgrenze kommt es zu plastischem Fließen. Daher ist ein Verhaltensmodell erforderlich, welches das plastische Verformungsverhalten von Werkstoffen beschreibt. Dabei unterscheiden sich nach [1] die Modelle in drei Eigenschaften, welche das Materialverhalten beschreiben. In ANSYS liegen diese Ansätze für elastisch-plastisches Werkstoffverhalten zugrunde.

- Die Fließbedingung, die festlegt, wann bei einem mehrachsigen Spannungszustand plastisches Fließen eintritt.
- Das Fließgesetz, das die Verformung nach dem Erreichen der Fließgrenze beschreibt.
- Das Verfestigungsgesetz, das festlegt, in welcher Weise der Fließvorgang auf die Fließgrenze rückwirkt. D. h. Anstieg der Fließgrenze durch Verfestigung.

Für die Ermittlung der Fließkurven wurden an der FH-Regensburg im Labor Werkstofftechnik Warmzugversuche bei Temperaturen von 25°C, 500°C, 700°C und 1000°C durchgeführt. Da in realen Bauteilen gegenüber dem Zugversuch mehrachsige Spannungszustände herrschen, muss ein Zusammenhang zwischen dem einachsigen Zugversuch und dem mehrachsigen Spannungszustand hergestellt werden. Dafür wird die von Mises Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungsenergiehypothese verwendet.

$$\sigma_v = \left(\frac{1}{2} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) \right] \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Um die Spannungs-Dehnungskurven aus dem Zugversuch in Fließkurven umzurechnen, müssen die wahre Spannung und die logarithmische Dehnung nach folgenden Gleichungen berechnet werden.

$$\sigma_{true} = \sigma_N (1 + \epsilon) \quad (3)$$

$$\epsilon_{ln} = \ln(1 + \epsilon) \quad (4)$$

- σ_N : Nominalspannungen [MPa]
- σ_{true} : wahre Spannungen [MPa]
- ϵ : Dehnung [-]
- ϵ_{ln} : logarithmische Dehnung

Im Programmsystem ANSYS steht zur Umsetzung des elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens die Eingabe einer multilinenen Spannungs-Dehnungskurve zur Verfügung. Dabei werden aus den Fließkurven 20 Stützpunkte abgelesen und die jeweiligen Wertepaare in eine sog. MISO-Tabelle eingegeben. (MISO = Multilineare isotrope Verfestigung). Der E-Modul wird für jede Temperatur aus den Spannungs-Dehnungskurven bestimmt. Der Wärmeausdehnungskoeffizient kann bis 800°C der Datenbank entnommen werden, darüberliegende Werte wurden extrapoliert.

5 ERGEBNISSE DER TEMPERATURFELDBANALYSE

Die Eigenspannungsanalyse basiert auf den Ergebnissen der thermischen Analyse. Somit ist es extrem wichtig, die Temperaturverteilung die sich während des Schweißens und dem anschließenden Abkühlen ergibt, möglichst genau zu bestimmen. Dabei spielt die Wärmeeinbringung eine zentrale Rolle, mit der praktisch die ganze Berechnung steht oder fällt. Da die Originalform der verteilten Volumenwärmequelle (1) an das rotationssymmetrische 2D-Modell angepasst wurde, muss durch eine Vergleichsrechnung an einem 3D-Modell die richtige Simulation der Wärmeeinbringung am 2D-Modell sichergestellt werden. Außerdem muss das Abkühlverhalten bei der Simulation durch variieren des WÜK an die reale Abkühlung angeglichen werden. Dafür wurde eine Temperaturfeldanalyse am 3D-Modell unter der Verwendung der Volumenwärmequelle in Originalform (1) durchgeführt. Der Temperaturverlauf wurde dabei 10mm neben dem Schweißnahtzentrum aufgenommen. Ebenso wurde am rotationssymmetrischen 2D-Modell unter der Verwendung der angepassten Volumenwärmequelle eine Temperaturfeldanalyse durchgeführt und im gleichen Abstand vom Schweißnahtzentrum eine Temperaturkurve aufgenommen. In Abb. 5 ist zu erkennen, dass der Temperaturanstieg während der Wärmeeinbringung beim 3D- und 2D-Modell identisch verläuft. Damit ist die Richtigkeit der Wärmeeinbringung mit der angepassten Volumenwärmequelle erwiesen. Weiterhin wurde untersucht, inwieweit die Veränderung des WÜK das Abkühlverhalten bei der Simulation beeinflusst. Dafür wurde der WÜK bei der Simulation mit dem 2D-Modell mit 10 bzw. 30 W/(m²*K) unterschiedlich angesetzt. In Abb. 5 ist zu

erkennen, dass eine Anpassung des Abkühlverhaltens bei der Simulation durch verändern des WÜK problemlos möglich ist. Die Anpassung des WÜK stellt neben der Variation der effektiv eingebrachten Schweißwärme mit Hilfe eines Wirkungsgrades, die einzige Möglichkeit dar, das Rechenmodell mit der realen Schweißung zu kalibrieren.

Um eine Kalibrierung des Rechenmodells mit dem realen Schweißprozess durchzuführen, ist es erforderlich, Temperaturkurven während des Schweißvorganges mittels Messung aufzunehmen. Für eine Kalibrierung wird der WÜK des rotationssymmetrischen Rechenmodells soweit angepasst, bis die Abweichungen der gerechneten Kurve gegenüber der gemessenen ein bestimmtes Maß unterschreiten.

Die Abb. 6 zeigt den Vergleich einer gemessenen Temperaturkurve mit einer gerechneten. Dabei wurden für die Berechnung der effektiven Schweißwärmeleistung die Schweißparameter

verwendet, die an der Schweißstromquelle eingestellt waren. Da nicht die gesamte Leistung, die von der Schweißwärmequelle zur Verfügung gestellt wird, in Form von Schweißwärme ins Werkstück eingebracht werden kann, muss ein Wirkungsgrad eingeführt werden, der die Verluste durch Abstrahlung berücksichtigt. Für die in Abb. 6 dargestellte, berechnete Temperaturkurve wurde ein Wirkungsgrad von 55% zugrunde gelegt. Der Unterschied bei den Maximaltemperaturen von Berechnung und Schweißung von knapp 50°C erscheint auf den ersten Blick sehr hoch. Wenn man jedoch berücksichtigt, dass die Temperaturmessung am Ventilträger unter Fertigungsbedingungen stattgefunden hat und dadurch mit gewissen „Verlusten“ bei der Messung zu rechnen ist, sollte dieser Unterschied nicht überbewertet werden. Viel entscheidender ist das Abkühlverhalten nach der Wärmeeinbringung. Hier ist eine gute Übereinstimmung der Rechnung mit der wirklichen Schweißung festzustellen.

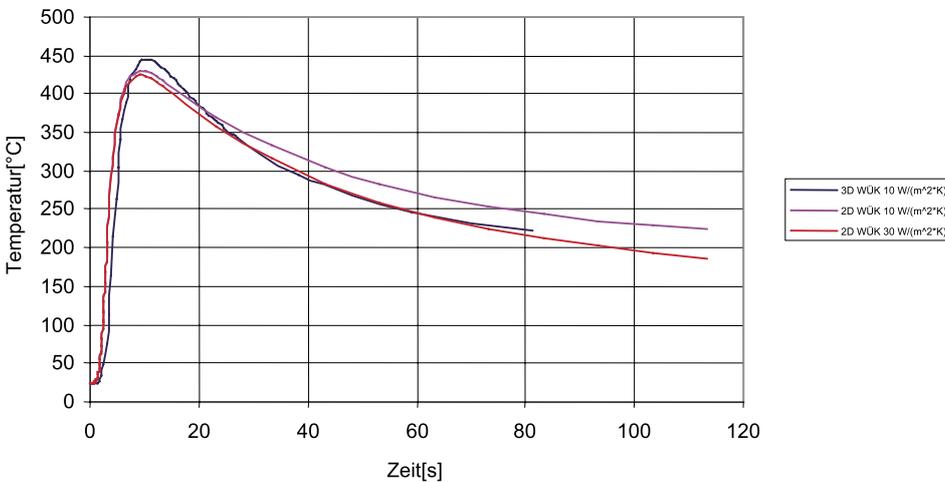


Abb. 5: Temperaturverläufe 2D und 3D Berechnung

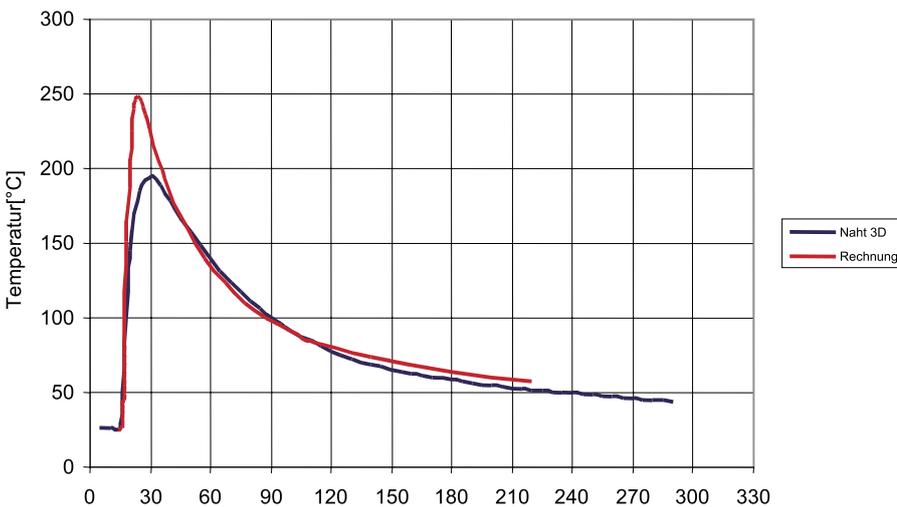


Abb. 6: gemessene und berechnete Temperaturverläufe

6 ERGEBNISSE DER STRUKTURANALYSE

Für erste Untersuchungen des strukturellen Verhaltens wurde das 3D-Modell herangezogen, da es die Möglichkeit bietet, das Verformungs- und Eigenspannungsverhalten unter Berücksichtigung der drei-dimensionalen Wärmeableitung aus der Schweißzone zu beurteilen. Zur Beurteilung des Eigenspannungszustandes werden die Längseigenspannungen verwendet, da diese die größte Aussagekraft haben. Die Längseigenspannungen in Abb. 7 zeigen das erwartete Verhalten. Es treten Zugspannungen im Schweißnahtbereich auf und Druckspannungen in den weiter entfernten Werkstoffbereichen. Der Spannungsverlauf über der Werkstückbreite in Abb. 7b zeigt auf, dass sich die Zugspannungen im Nahtbereich nach einem Abstand von ca. 8mm neben der Schweißnahtmitte in Druckspannungen wandeln. Dieser Verlauf entspricht qualitativ auch dem Verlauf, wie er in der

Literatur [1] beschrieben ist. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Wärmeeinbringung und das temperaturabhängige Materialverhalten richtig formuliert wurden.

Um den Einfluss der Schweißspannungen auf das Festigkeitsverhalten der Schweißnähte am Ventilträger zu untersuchen, müssen die Vergleichsspannungen herangezogen werden. Die Spannungsverteilung in Abb. 8a zeigt deutlich, dass im Schweißnahtbereich und in dessen unmittelbarer Umgebung die höchsten Spannungen auftreten. Diese Tatsache bestätigt somit die Vermutung, dass hohe Schweißspannungen verantwortlich für ein Bauteilversagen sein können. Der Vergleich der berechneten Spannungswerte mit den Werten der Fließkurve zeigt, dass der maximale Vergleichsspannungswert etwas unter der maximalen Fließspannung liegt. Dass in Bauteilen Schweißspannungen in Höhe der Fließgrenze vorliegen können, bestätigt auch die Literatur [3].

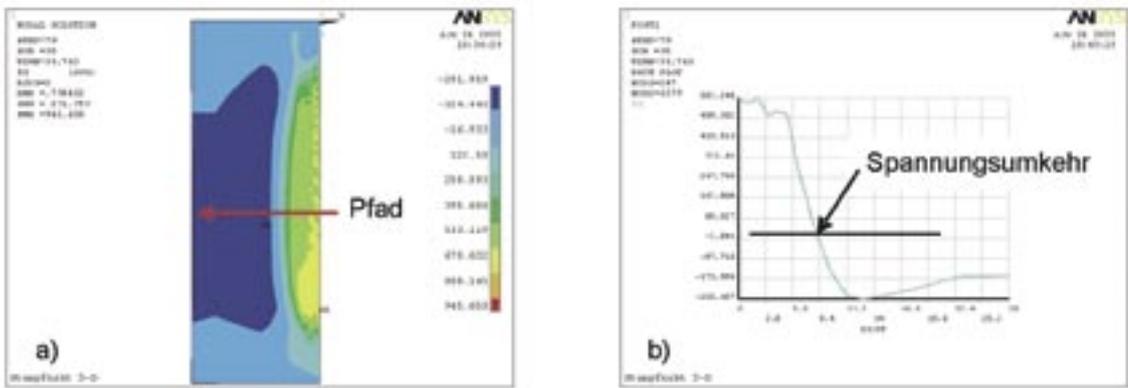


Abb. 7: Längseigenspannungen am 3D-Modell:
a) Konturplot,
b) Pfadauswertung über der Werkstückbreite

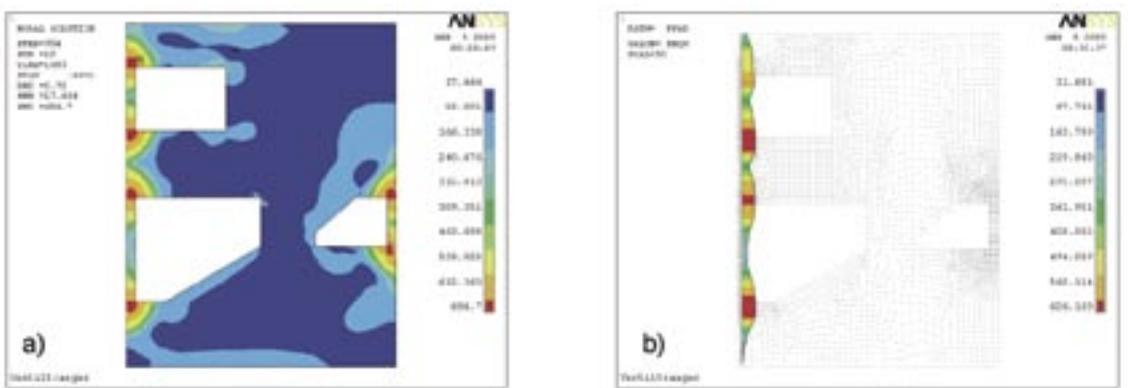


Abb. 8: Vergleichsspannungen am Ventilträger:
a) Konturplot,
b) i. d. Mitte des Einschweißbandes aufgetragen über der Ventilträgerhöhe

7 EIGENSPANNUNGSMESSUNG NACH DER BOHRLOCHMETHODE

Zur Verifizierung der Berechnungsergebnisse wurden bei der Fa. Hottinger-Baldwin-Messtechnik GmbH Eigenspannungsmessungen in Auftrag gegeben. Dabei wurde der Eigenspannungszustand an einem Versuchsschweißteil ermittelt, welches aus zwei ebenen Platten mit 300x140x6mm durch eine Stumpfnahht unter Anwendung des MAG-Schweißverfahrens hergestellt wurde. Bei der Bohrlochmethode zur Eigenspannungsermittlung wird durch das Einbringen einer kleinen Bohrung in die Oberfläche der vorhandene Eigenspannungszustand gestört. Die Eigenspannungen lösen nach diesem Eingriff Dehnungen in der Werkstückoberfläche aus. Diese Dehnungen werden mit einer speziellen DMS-Rosette erfasst und zur Berechnung des Eigenspannungszustandes herangezogen. Zur Erzeugung der Bohrung dient ein mit 300000 min⁻¹ rotierender Fräser. Zur Bestimmung der Schweißeigenspannungen am Versuchsteil wurden insgesamt 8 DMS-Rosetten, 4mm neben der Schweißnaht appliziert.

Mit den Werten der aufgenommenen Dehnungen wurden mit Hilfe der integralen Auswertemethode die Hauptspannungen für einen ebenen Spannungszustand über der Bohrlochtiefe berechnet. Aus den Hauptspannungen können dann wiederum die von Mises Vergleichsspannungen ermittelt werden und zu einem Vergleich mit den Berechnungsergebnissen herangezogen werden.

Die Abb. 9 zeigt, dass an allen Messstellen Eigenspannungen auftreten, die größtenteils im Bereich von 300 bis 600 MPa liegen. Auffällig sind die teilweise extrem hohen Spannungswerte nahe der Oberfläche an einigen Messstellen. Diese Messwerte können aufgrund der Auswertemethode, der das Hooksche Gesetz zugrunde liegt, als Ausreißerwerte betrachtet werden.

Für einen Vergleich von Berechnung und Messung wurden die Vergleichsspannungswerte der einzelnen Messstellen über der Bohrtiefe im auswertbaren Bereich gemittelt. Die Höhe der gemittelten Spannungen liegt bei allen Messstellen auf etwa dem gleichen Niveau von ca. 500 MPa.

8 VERGLEICH VON BERECHNUNG UND MESSUNG

Ein direkter Vergleich der experimentell bestimmten Eigenspannungen mit den berechneten Eigenspannungen ist nur mit dem 3D-Plattenmodell möglich. Vergleiche mit den berechneten Spannungen des Ventilträgers können aufgrund der unterschiedlichen Geometrie und der Anwendung eines anderen Schweißverfahrens nur qualitativ erfolgen.

Ein Vergleich der berechneten Eigenspannungen (Abb. 10) am 3D-Modell, 4mm neben der Schweißnaht (entspricht der Messposition am Versuchsteil), mit den gemessenen Eigenspannungen am Versuchsteil zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung. Die berechneten Span-

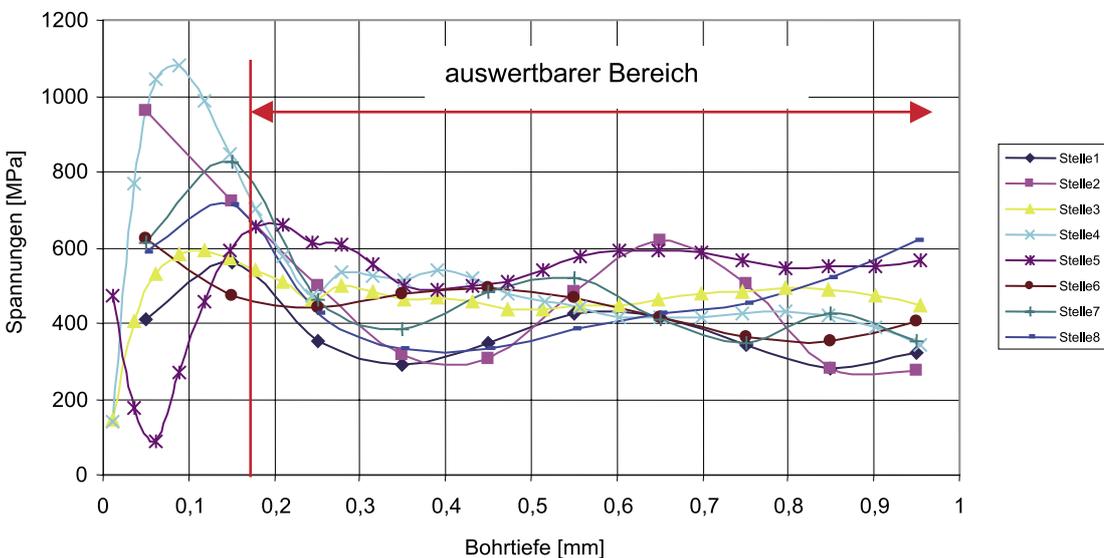


Abb. 9: Vergleichsspannungen nach von Mises der einzelnen Messstellen über der Bohrtiefe aufgetragen

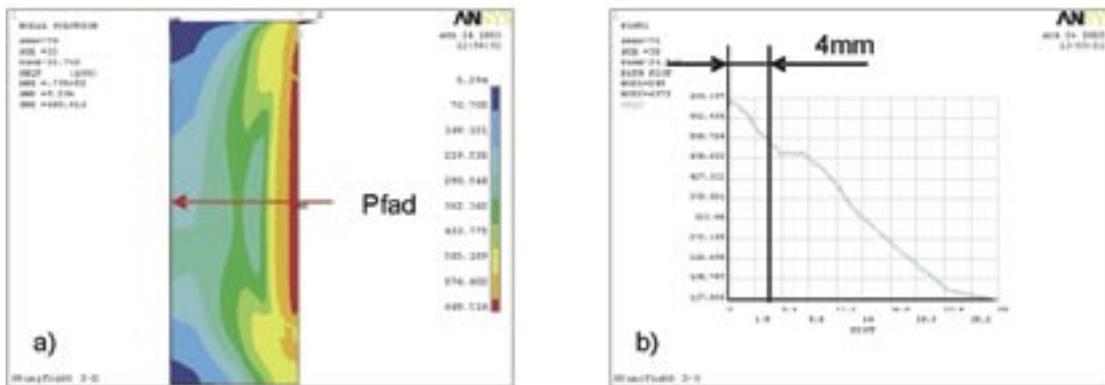


Abb. 10: Vergleichsspannungen aus der Berechnung mit dem 3D-Modell:
a) Konturplot, b) Pfadauswertung über die Werkstückbreite

nungen liegen mit ca. 500 MPa auf dem gleichen Niveau wie die gemessenen. Somit kann festgehalten werden, dass die Berechnungsmodelle mit den verwendeten Materialeigenschaften sehr gute Vorhersagen über den Eigenspannungszustand nach dem Schweißen liefern.

9 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit, ein Berechnungsmodell mit der FE-Software ANSYS zu entwickeln, welches es erlaubt, den Eigenspannungszustand nach dem Schweißen des ringförmigen Ventilträgers zu beurteilen, ist erreicht. Es wurde ein 2D-Berechnungsmodell entwickelt, mit dem es möglich ist, eine Simulation der Mehrlagenschweißung an einem rotationssymmetrischen Bauteil durchzuführen.

Als erstes und grundlegendes Problem musste die richtige Einbringung der Schweißwärme in das Werkstück während der Simulation gelöst werden. Eine umfangreiche Literaturrecherche ergab, dass sich die sog. verteilte Volumenwärmequelle am besten für die Simulation der Wärmeeinbringung eignet. Diese Wärmequelle wurde, angepasst auf ein 2D-Modell, in ANSYS implementiert.

Untersucht wurden ausschließlich thermische Schweißespannungen, die aufgrund der sehr konzentrierten Wärmeeinbringung durch den Schweißprozess entstehen. Um eine Eigenspannungsanalyse durchzuführen, muss eine Simulation die Kopplung thermischer und strukturmechanischer Vorgänge berücksichtigen. Dafür wurde eine Temperaturfeldanalyse mit anschließender Strukturanalyse durchgeführt.

Für die Strukturanalyse standen Werkstoffdaten aus Warmzugversuchen zur Verfügung. Trotz einiger Vereinfachungen und Annahmen, die notwendig waren um ein funktionsfähiges Berechnungsmodell zu erhalten, bestätigen die Berechnungsergebnisse die Vermutung, dass hohe Schweißespannungen signifikant für die Spannungsbeurteilung des Ventilträgers sind.

Mit dem vorliegenden Berechnungsmodell besteht die Möglichkeit, die Auswirkungen der Lagenanzahl und der Schweißnahtanordnung auf die Eigenspannungsentwicklung zu untersuchen. In der vorliegenden Arbeit wurde ein bereits gefertigter Ventilträger in Bezug auf Eigenspannungen nachgerechnet. Für die Zukunft besteht die Möglichkeit, mit Hilfe des entwickelten Rechenmodells verschiedene Konstruktionsvarianten zu simulieren, um festzustellen, welche in Bezug auf Eigenspannungen die bessere ist. Somit kann das entwickelte Berechnungsmodell als Optimierungswerkzeug für die schweißtechnische Fertigung angesehen werden.

LITERATUR

- [1] D. Radaj, Eigenspannungen und Verzug beim Schweißen, Rechen- und Messverfahren, Teil II, DVS-Verlag (2002)
- [2] M. Kassner, Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Schweißbedingten Verformungen und Spannungen, Deutsche Dissertation, Forschungsberichte des Instituts für Schweißtechnik, TU Braunschweig (2000), Band 2
- [3] H. Pries, Th. Nietschke-Pagel, Festigkeit von Schweißverbindungen, Forschungsberichte des Instituts für Schweißtechnik, TU Braunschweig (2001)

Prof. Dr. Claus Schliekmann

Tel.: 0941 943-5182

Fax 0941 943-1428

claus.schliekmann@maschinenbau.fh-regensburg.de

- [4] O. Voss, Untersuchung relevanter Einflussgrößen auf die numerische Schweißsimulation, Deutsche Dissertation, Forschungsberichte des Instituts für Schweißtechnik, TU Braunschweig (2001), Band 3
- [5] P. Mehmert, MSG-Schweißen von Grobblechen aus un- und niedriglegiertem Feinkornbaustahl, Deutsche Dissertation, Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen, TU Clausthal Zellerfeld (2003)
- [6] P. Pasquale, Numerische Simulation schweißtechnischer Fertigungsschritte, Deutsche Dissertation, Institut für Werkstoffmechanik, Fraunhofer-Institut Stuttgart, (2001)
- [7] K. A. Berreth, Numerische Schweißspannungsanalyse für umwandlungsfähige Stähle, Deutsche Dissertation, Staatliche Materialprüfanstalt (MPA), Stuttgart (1995)
- [8] R. Bonn, Experimentelle und numerische Ermittlung der thermomechanischen Beanspruchung des Wurzelbereichs austenitischer Rundnähte, Fakultät der Universität Stuttgart, (2001)
- [9] T. Most, Viskoplastizität für isotropes Material und finite Deformationen zur Simulation von schnell ablaufenden Umformvorgängen, Diplomarbeit, Bauhaus Universität Weimar (2001)
- [10] C. Zauner, FEM-Simulation und experimentelle Validierung von umwandlungsbedingten Eigenspannungen in Common Rail Einspritzdüsen, Diplomarbeit, FH-Regensburg (2001)
- [11] M. Kölbl, Numerische Simulation des Schweißprozesses mit der FE-Software ANSYS, Diplomarbeit, FH-Regensburg (2005)



ja

Die Entwicklung neuer Technologien und das permanente Optimieren von Abfüll- und Verpackungsmaschinen haben bei KRONES Tradition. Mit unseren Innovationen setzen wir die Maßstäbe für die Märkte der Zukunft. Und der Erfolg gibt uns recht: Jede vierte Flasche, die weltweit geöffnet wird, ist auf einer KRONES Anlage gefüllt, etikettiert oder verpackt worden.



>>> **DIE KOMPETENZ
UNSERER MITARBEITER
BESTIMMT DEN ERFOLG
DES UNTERNEHMENS**

Nähere Informationen über Praktika und
aktuelle Diplomarbeitsthemen finden Sie unter
www.bhs-corrugated.de

>>> *Because we love what we do.*

BHS CORRUGATED · MASCHINEN- UND ANLAGENBAU GMBH · PERSONALABTEILUNG

Paul-Engel-Strasse 1
92729 Weiherhammer

/ PHONE · + 49.9605.919.660
/ FAX · + 49.9605.919.675

/ MAIL · human_resources@bhs-corrugated.de
/ WEB · www.bhs-corrugated.de

PATENTANWÄLTE
GRAF · WASMEIER · GLÜCK

European Patent and Trademark Attorneys

Patente · Marken · Gebrauchsmuster · Geschmacksmuster · Arbeitnehmererfinderrecht

Hermann-Köhl-Str. 2a · 93049 Regensburg
Tel.: 0941-792085 · Fax: 0941-795106

Email: info@gwg-patent.de

www.gwg-patent.de

NUMERISCHE SIMULATION DER BAUTEILFESTIGKEIT VON SPALTSIEBSTRUKTUREN

1 EINFÜHRUNG

Die Papierherstellung ist ein technisch sehr aufwendiges Verfahren. Dazu sind viele verschiedene Verfahren und komplexe Maschinen und Anlagen nötig. Ein wesentliches Element der Papierherstellung ist die Gewinnung und Bereitstellung von Fasern. Im Rahmen der Untersuchungen wurden an einem Stabsiebkorb Berechnungen zur Festigkeit durchgeführt. Der Stabsiebkorb ist Teil eines Drucksortierers, welcher bei der Papierherstellung benötigt wird, um „Verunreinigungen“ aus dem Stoffstrom zu sortieren. Unterschieden wird dabei nach Größen- und/oder Formunterschieden der Fasern.

Diese Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Andritz Fiedler GmbH durchgeführt. Andritz Fiedler ist ein Unternehmen mit einem Schwerpunkt in der Produktion von Siebkörben und Rotoren für die Papierindustrie.



Abb. 1: Bar Tec™ Stabsiebkorb der Firma Andritz Fiedler GmbH

Ein Hauptprodukt des Unternehmens ist der Stabsiebkorb, der wie folgt aufgebaut ist: Die Siebfläche wird gebildet aus Profilstäben, die in einen Ring eingesteckt sind und fest mit diesem verbunden werden. Derzeit angewandte Verbindungstechnik in diesem Unternehmen ist das Schweißen, bei anderen Unternehmen sind auch geklemmte Verbindungen üblich. Der Siebkorb und der Rotor sind die wichtigsten Bauteile eines Sortierers. Der Rotor bewegt sich dabei immer auf der Einlaufseite des Siebkorbes. Mögliche Ausführungen für Siebkörbe sind:

- Outflow-Körbe: von innen nach außen durchströmt
- Inflow-Körbe: von außen nach innen durchströmt

Diese können auch mit einem zwischen den Körben laufenden Rotor kombiniert werden. Bei den in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Ausführungen eines Siebkorbes handelt es sich um einen Outflow-Korb. Der Stoffstrom wird von oben zugeführt. Aus der Wechselwirkung zwischen Rotor und Sieb resultiert der Sortierprozess. Der Rotor rührt die Fasersuspension um, schiebt eine Druckwelle vor sich und zieht ein Unterdruckgebiet hinter sich her. Während der Überdruckphase erfolgt ein Durchschieben der Fasersuspension durch das Sieb. Der anschließende Saugimpuls löst die sich üblicherweise bildende Faserplatte wieder von der Siebfläche und verhindert auf diese Weise ein Verstopfen der Siebfläche.

Der Accept-Stoffstrom wird aufgefangen und zur weiteren Verarbeitung ausgegeben. Das Reject-Material wird zurück in den Aufbereitungsprozess gegeben. Angetrieben wird der Rotor im Sortierer durch einen mit Riementrieb von unten angekoppelten Elektromotor.

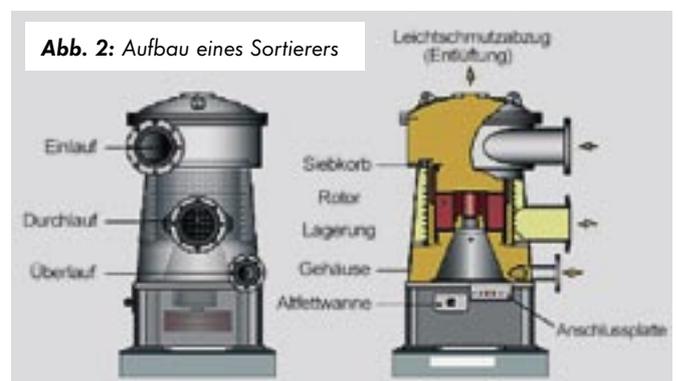


Abb. 2: Aufbau eines Sortierers

2 AUFGABE

Ziel der Untersuchung ist die numerische Analyse der Spannungen in der Verbindung Ring-Profilstab eines Siebkorbes mittels FEM (Finite Elemente Methode).

Folgende Parameter werden im Rahmen der Arbeit untersucht:

1. Teilung der Verstärkungsringe „Ring zu Ring“
2. Höhe des Verstärkungsringes in folgender Kombination

¹⁾ Dipl.-Ing. (FH), Absolvent der FH Regensburg, Studiengang Maschinenbau

²⁾ Dr.-Ing., Fa. Andritz Fiedler GmbH

³⁾ Prof. Dr.-Ing. FH Regensburg, Fachbereich Maschinenbau

		Höhe des Verstärkungsringes [mm]							
		15	20	25	30	35	40	50	60
Teilung der Verstärkungsringe [mm]	15	x							
	20	x	x						
	25		x	x					
	30			x	x				
	35				x	x			
	40					x	x		
	50						x	x	
	60							x	x

3. Profilstabtypen:

- a) Profil A - lang
- b) Profil B - schmal
- c) Profil C - mittel
- d) Profil D - breit

4. Verbindungstypen:

- a) idealisierte Verbindung „one piece construction“
- b) gelötete Verbindung
- c) Schweißverbindung mit einer idealisierten Schweißnaht
- d) Schweißverbindung mit einer real gestalteten Schweißnaht

3 DURCHFÜHRUNG DER BERECHNUNG

Geometrieerstellung

Die Modelle für die Berechnung wurden als 3D-Volumenmodell mit dem CAD-Programm Pro/Engineer erstellt und über eine Schnittstelle in das FEM-Programm ANSYS importiert (Abb. 3). Die vier Verbindungsarten wurden jeweils für die vier Profiltypen modelliert. Damit ergeben sich 16 Grundvarianten. Für jede Variante wurden nun der Ringabstand und die Ringhöhe modifiziert. Pro Grundmodell ergeben sich 15 Varianten. Insgesamt wurden 240 verschiedene Modelle erstellt und berechnet. Um den Rechenaufwand zu reduzieren, wurde nicht der ganze Siebkorb modelliert, sondern das Rechengebiet auf einen Teilbereich in der Höhe von fünf Ringen und einen Winkelsektor von drei Profilstäben beschränkt. Als Referenzgeometrie wurde ein Siebkorb mit einem Innendurchmesser von 800 mm und einer Schlitzweite von 0,20 mm gewählt. Der Modellaufbau erfolgte modular und unter Anwendung von Mustern.

- Die idealisierte Verbindung steht für einen Siebkorb, der nur aus Ringen und Stäben besteht, ohne zusätzliche Schweißnaht oder Lötnaht. Hier liegt die Vorstellung zugrunde, der Siebkorb wäre aus einem Stück gefertigt („one piece construction“).

- Bei der Lötverbindung befindet sich zwischen Ring und Profilstab ein Spalt von 0,20 mm, der mit Lot gefüllt ist. Das Lot schmiegt sich an den Rändern des Spalts zwischen Ring und Profilstab an, wodurch eine leichte Verrundung zwischen den Bauteilen entsteht.

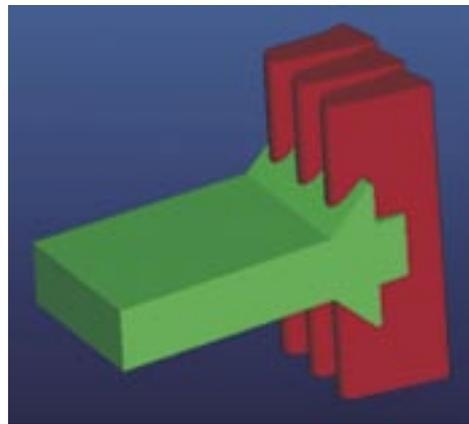


Abb. 3:
Profil C,
Andritz Fiedler
GmbH,
vereinfachte
Schweiß-
verbindung
(Ausschnitt aus
einem Modell)

- Die idealisierte Schweißnaht ist als ein dreieckförmiger Keil an der Ober- und Unterseite des Ringes ausgeformt. Zwischen Ring, Schweißnaht und Profilstab besteht keine Verrundung.
- Die real gestaltete Schweißnaht ist mit Verrundungen zwischen Ring und Schweißnaht bzw. Schweißnaht und Profilstab versehen.

Randbedingungen und Definitionen

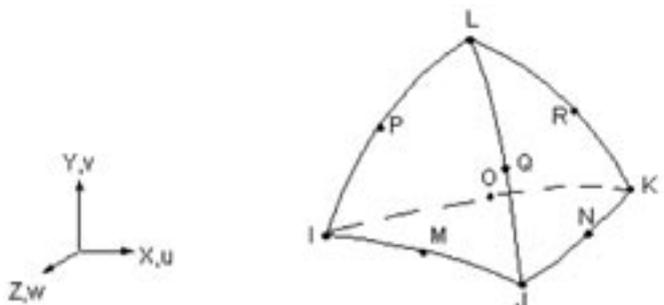


Abb. 4: Element: Solid 92

Zur Berechnung mit FEM werden SOLID92-Elemente verwendet (Abb. 4). SOLID92 ist ein tetraederförmiges 3D-Element, welches für die Vernetzung von Rundungen geeignet ist. Es besitzt zehn Knoten, die jeweils drei translatorische Freiheitsgrade in x-, y- und z-Richtung besitzen. Das Element ist für Strukturberechnungen geeignet.

Die Materialeigenschaften des Grundmaterials (Ringe und Profilstäbe), der Schweißnaht und der Lötnaht werden in ANSYS als Materialmodelle hinterlegt. Als Grundmodell dient ein Structural Linear Elastic Isotropic Model. Die Materialmodelle werden den entsprechenden Volumen zugewiesen.

Vor der Definition der Einspannung wurde die Durchbiegung der Ringe unter Belastung untersucht. Da sich nur sehr kleine Verschiebungen nach außen an den Ringen ergaben, wurden diese für die Berechnung vernachlässigt und die Ringe nach außen festgehalten. Eine Verschiebung nach oben/unten und eine Verdrehung sind möglich. Der oberste und unterste Ring wird zusätzlich an den Flächen nach oben bzw. unten in allen Freiheitsgraden festgehalten.

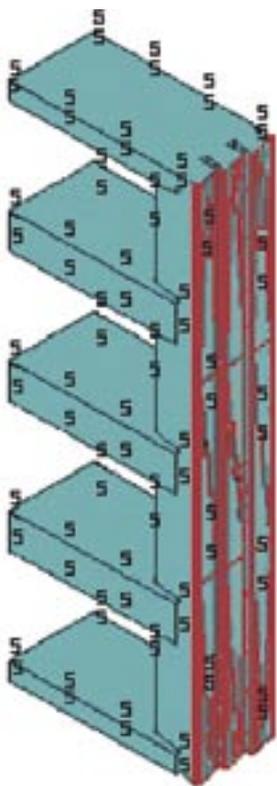


Abb. 5: Symmetrie und Druck

Da zur Vereinfachung nicht der gesamte Korb modelliert wurde, sondern nur ein Teilbereich, muss der nicht vorhandene Teil virtuell bei der Berechnung berücksichtigt werden. Dazu werden an den Schnittflächen der Ringe Symmetriebedingungen als Randbedingung gesetzt (Abb. 5).

Eine Voruntersuchung des Ansatzes der Druckkraft auf die Profilstäbe sollte den ungünstigsten Lastangriff ermitteln. Dies war notwendig, da sich durch die Verteilung und die Rotation der Foils am Rotor die Druckbelastung am Siebkorb unterschiedlich darstellen kann. Die Druckbelastung in der Mitte des Modells über die Höhe eines Foils wies den ungünstigsten Fall auf.

Berechnung

Für die Berechnung wird das Volumen der Geometrie als Gitternetz dargestellt. Zur Bestimmung der Maschendichte des Netzes wurde an einem Modell eine Untersuchung durchgeführt. Bei einer Maschendichte von 0,60 mm bis 0,90 mm liefert das Berechnungsergebnis eine ausreichende Genauigkeit und die benötigte Zeit für die Berechnung

liegt in einem vertretbaren Rahmen. Die Berechnung wurde als eine statische Berechnung mit einem Ansatz nach der h-Methode durchgeführt. Im General Postprocessor wurden die Ergebnisse der Verschiebungen und Spannungen ausgewertet. Die Spannungen werden als Vergleichsspannungen σ_v nach der von Mises-Hypothese, auch Gestaltänderungshypothese genannt, mit folgender Formel berechnet:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]}$$

Für die Auswertung werden die Spannungswerte entlang der Verbindungslinie zwischen Ring und Profilstab aufgezeichnet und normiert (Abb. 6).

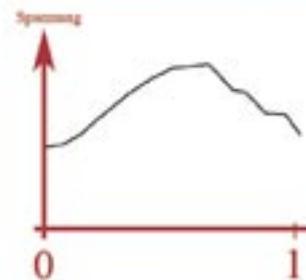
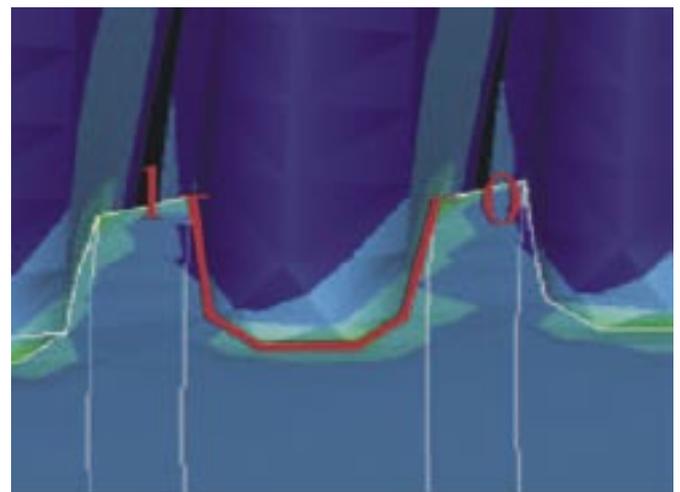


Abb. 6: Normierung

4 ERGEBNISSE

Nach zahlreichen Berechnungen an den vier verschiedenen Profiltypen mit den idealisierten, gelöteten, vereinfacht geschweißten und realistisch geschweißten Verbindungen unter Variation der Teilung können folgende Aussagen getroffen werden (siehe auch Abb. 7 bis 11):

- Mit steigender Teilung wachsen die maximalen Verschiebungen exponentiell an.
- Bei kleinen Teilungen zeigen sich bei idealisierten und gelöteten Modellen geringere Verschiebungen als bei geschweißten Verbindungen.
- Der Verlauf der Spannungen zeigt häufig, vor allem bei großen Teilungen, auf der rechten Seite des Nutgrundes im Ring ein Maximum. Auf der linken Seite zeigt sich dagegen im Bereich oder neben dem Nutgrund ein Minimum der Spannungen.
- Bei den idealisierten Verbindungen und den Lötverbindungen liegen die Spannungswerte auf einem niedrigeren Niveau als bei den Schweißverbindungen.

vereinfachte Schweißverbindung, Teilung 60 mm

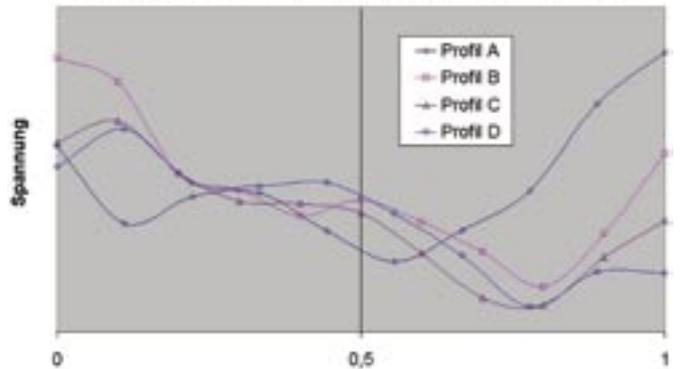


Abb. 9: vereinfachte Schweißverbindung, Teilung 60 mm

idealisierte Verbindung, Teilung 60 mm

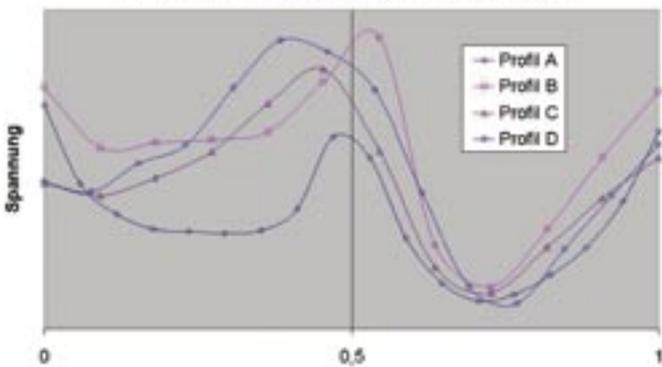


Abb. 7: idealisierte Verbindung, Teilung 60 mm

reale Schweißverbindung, Teilung 60 mm

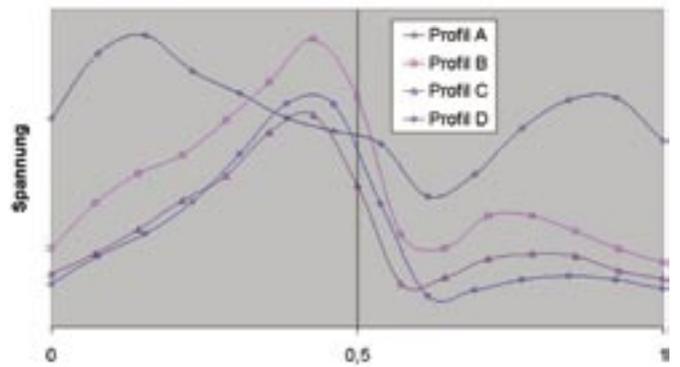


Abb. 10: reale Schweißverbindung, Teilung 60 mm

gelötete Verbindung, Teilung 60 mm

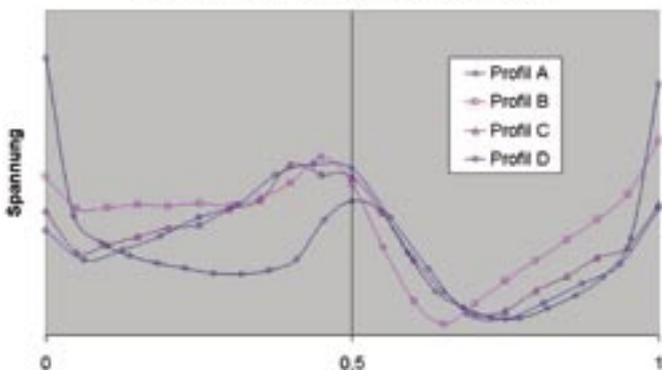


Abb. 8: gelötete Verbindung, Teilung 60 mm

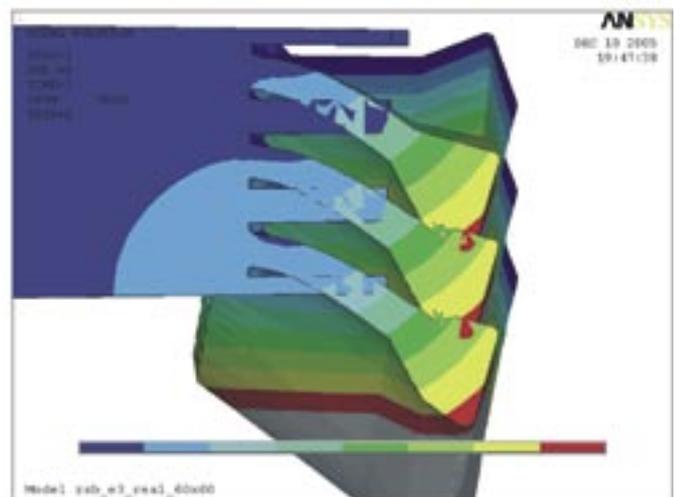


Abb. 10: reale Schweißverbindung, Teilung 60 mm

Prof. Dr.-Ing. Claus Schliekmann

Tel.: 0941 943-5182

Fax 0941 943-1428

claus.schliekmann@maschinenbau.fh-regensburg.de

- Die Form des Spannungsmaximums im Bereich des Nutgrundes wird durch den Radius des Profils im Nutgrund beeinflusst. Ein größerer Radius bewirkt einen breiteren und flacheren Berg im Spannungsverlauf.
- Das Profil A scheint besser geeignet für gelötete oder idealisierte Verbindungsarten. Bei vereinfacht oder realistisch gestalteter Schweißnaht treten vergleichsweise große Verschiebungen und Spannungen auf.
- Die Verschiebungen beim Profil B wachsen bei größeren Teilungen, verglichen mit den Profilen C und D, stärker an. Damit wachsen auch die Spannungen, weshalb bei gleichen Belastungen mehr Ringe eingebaut werden müssen, als bei Verwendung der breiteren Profile C oder D.
- Bei Profil C und D wirkt sich die Art der Verbindung bei steigender Teilung nur geringfügig auf die Biegung und Spannung aus. Die Profilformen sind sowohl für geschweißte als auch für idealisiert/gelötete Verbindungen geeignet. Die idealisiert/gelötete Verbindung zeigt die geringeren Spannungen, neigt jedoch bei höherer Teilung zu größerer Verschiebung. Die geschweißten Verbindungen weisen geringere Verschiebungen, aber höhere Spannungen auf.

5 AUSBLICK

Ansätze für weitere Untersuchungen an Stabsiebkörben liegen in der Analyse der Spannungsverläufe bei Variation des Nutgrundradius, der Einstecktiefe des Profils in den Ring und der Form der Schweißnaht sowie in der Berücksichtigung der Schweißeigenstressspannungen. Die Optimierung der Profilform im Hinblick auf die Biegebeanspruchung ist ebenso von Interesse. Ein weiterer Schritt nach vorn kann in der Einbeziehung des zeitlich veränderlichen Druckverlaufs im Rahmen einer transienten dynamischen Strukturanalyse sein.

LITERATUR

- [1] Andritz Fiedler GmbH. Homepage des Unternehmens, <http://www.andritz.com>, 2005
- [2] Swanson Analysis Systems. ANSYS Users Manual. 1995
- [3] Meißner, U. F. ; Maurial, A.: Die Methode der finiten Elemente: eine Einführung in die Grundlagen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000
- [4] Müller, G. ; Groth, C.: FEM für Praktiker . expert verlag, Renningen-Malmsheim, 1997
- [5] Papiertechnische Stiftung (PTS). Ablauf Papierherstellung, Homepage des Unternehmens, <http://www.ptspaper.de>, 2005
- [6] Schliekmann, C.: Vorlesungsskript: Numerische Lösungsverfahren. Fachhochschule Regensburg, Fachbereich Maschinenbau, 2003
- [7] Schliekmann, C. ; Hochmuth, M.: Einführung in das FEM-Programm ANSYS, Statische und dynamische Simulationen. Fachhochschule Regensburg, Fachbereich Maschinenbau, FEM-Labor, 2004
- [8] Brunner C., Numerische Simulation der Bauteilfestigkeit von Spaltsiebstrukturen, Diplomarbeit, FH Regensburg, 2005

DEFORMATION BEHAVIOUR OF BOVINE CANCELLOUS BONE

Abstract. Repetitive cyclic loading from daily activities is known to induce fatigue damage and micro cracking in bone structures. Local cyclic loading conditions will be even more severe in osteoporotic structures, in pre-damaged skeleton segments and in cases where metallic implants are employed. It is generally assumed that fatigue induced cracking and crack propagation trigger complex physiological phenomena such as remodelling processes of bones, which also result in an adaptation to the applied loads. However, in cases where the crack propagation rate exceeds the remodelling velocity, sudden and unexpected fracture of the bone is observed. Especially for implant reinforced structures the difference in stiffness between the implant and the bone material can induce high peak stresses and accelerate crack propagation. Whereas, for cortical bone the mechanical behaviour under cyclic loading is sufficiently described, only preliminary data are available for trabecular bone structures. In the present study the deformation behaviour of bovine vertebra trabecular bone specimens is investigated under cyclic compressive loading. A power law relationship was found between the applied load ratio and the number of cycles to failure. A linear decrease of the maximum integral strains at failure with increasing applied load ratio was observed. Optical measurement of the surfaces revealed that low-strain areas (0-1% von-Mises strain) decreased with increasing applied load ratio, whereas the high-strain areas increased. This indicates that different failure mechanisms are acting in the low-cycle and high-cycle fatigue regimes, respectively.

1 INTRODUCTION

Fatigue failure is a well known engineering problem in structures that experience cyclic loads [1, 2]. Bones are also exposed to repetitive loads during daily activities, and thus, may fail due to accumulated fatigue damage [3, 4]. It is generally assumed that fatigue induced cracking and crack propagation also promote complex physiological phenomena such as remodelling processes of bones [5]. Such processes allow for an adaptation of the bone to actual loading scenario. Still, in cases where the crack propagation rate exceeds the remodelling velocity, fatal fracture of the bone finally results. Clinically fatigue fractures are known as "stress fractures" and are common amongst athletes and military personal [6] who repetitively exercise similar motions. Damage accumulation

due to cyclic loading is reported to weaken vertebrae [3] and is often associated with loosening of implants [7]. In several studies the fatigue behaviour of both cortical [8-14] and cancellous bone was investigated [15-20]. Similar to engineering materials the general fatigue behaviour of bone is found to be characterised by a decrease in fatigue life as cyclic stresses increase, associated with a reduction in stiffness and accumulation of permanent strains during testing. Compressive cyclic loading is the most common test method for fatigue analyses of trabecular bone, and normalized loads ($\Delta\sigma/E_0$) typically vary between near zero and a given maximum value. Micro damage was identified using fluorochrome staining technique [17]. Deformations were mostly measured using extensometers. In quasi-static and stepwise compression tests, optical methods were used to measure displacements of markers on individual trabeculae near the surface [21]. Recently, three-dimensional image correlation techniques were developed which use high-resolution computed tomography [22, 23]. Micro finite element analysis have been applied to models, which represent the actual trabecular architecture in order to compute local strain fields [24, 25], and were used to model fatigue damage accumulation in regular and Voronoi honeycomb structures [26, 27]. These sophisticated approaches are rather complex and time consuming, which limits their application with respect to fatigue analyses. In this study an optical deformation measurement system was applied to measure the two-dimensional surface strain distribution during compression fatigue testing. Special emphasis was placed on the evolution of local strains and their contribution to the integral measured deformation.

2 METHODS

A total of 30 bovine cancellous bone specimens were loaded in compressive fatigue at different normalized stress levels. In all tests, rectangular cancellous bone specimens (16 x 7.75 mm²) from bovine lumbar vertebrae [28] were used (six spine segments, age 18-24 month). All vertebrae were fresh frozen at -20 °C. Cores were taken in inferior - superior direction in the centre of each vertebra. The cores were fixed in a custom made device and ground at low speed (grit size: 1200). After the removal of the upper endplate the specimen was cut using a low-speed saw (Discotom-2, Struers) in order to achieve the recommended 2:1 ratio between length and diameter [29]. Marrow was kept and only the endplates were cleaned. All preparations were done in frozen state and under permanent water cooling. Microscopic analysis of the specimens surfaces revealed no damage due to the preparation process. The

¹ University of Applied Sciences Regensburg, Labor für Werkstoffkunde und Metallographie

² University Paderborn, Lehrstuhl für Werkstoffkunde

specimens were again frozen at -20 °C. Prior to testing each specimen was thawed out for five hours in 0.9% NaCl solution (coloured with toluidin blue). Bone mineral density (BMD) was measured along the load axis in 2 mm slices for all specimens using a Stratec XCT-900. A random pattern of acrylic paint was applied right before testing. Specimens were embedded in specimen holders with methylnmethacrylat (KEM 15, ATM) in order to reduce end artefact errors [30] and fixed to a servo-hydraulic testing system (MTS 810 System, Teststar II). All fatigue tests were performed under load control at 1 Hz in 37 °C, 0.9% NaCl solution. Deformation was measured on two sides of the specimen with an optical deformation measurement system (Aramis, GOMbh). This setup allowed for a continuous two-dimensional analysis of the surface deformations. The specimens were preloaded to -50 N to ensure full contact [18-20]. Prior to the fatigue testing ten cycles from -50 N to -300 N were applied to determine the initial modulus of the specimen. A triangular wave form from -50 N to the prescribed load value was applied until an integral strain of three percent, which is associated with catastrophic failure, was reached. In order to reduce the scatter of the results, applied load was divided by the secant modulus [17, 19, 20] of the fifth cycle (E_5). In case with a low number of cycles to failure, $N < 50$, the secant modulus of the first cycle was taken. The applied load ratios σ/E_5 ranged from 0.385 to 1.47 percent. Failure was defined as a ten percent reduction in modulus in order to facilitate comparison with literature data [20].

Applied load ratios were correlated with number of cycles to failure (N_f), integral residual and integral maximum strains. Surface von-Mises strains were analysed and the total area was classified in steps of 1 percent strain bounds from 0 to 5 percent. The percentage of strained area within a certain bound was plotted versus the number of cycles for each specimen. All specimens were merged in a further step by analysing the strained areas at failure and correlating these values with the corresponding applied load ratios.

3 RESULTS

In the thirty compression fatigue tests conducted, the number of cycles to failure ranged from 3 to 570,000. One specimen showed no failure and was stopped at the latter value.

3.1 Integral characteristics

The integral deformation behaviour under cyclic compression load is characterised by a slight increase in secant modulus within the first five cycles followed by a constant decrease. In addition, an increase of the residual strain and an increa-

sing area of the stress-strain hysteresis loops were observed. The overall course of the experiment can be classified by three stages: A strong increase of inelastic deformations at the beginning followed by a saturation regime and finally a rapid increase of inelastic deformations, which are associated with macroscopic failure at the end of the test. The results for a specimen at a medium load level of $\sigma/E_5 = 0.0075$ are shown in Figs. 1 and 2.

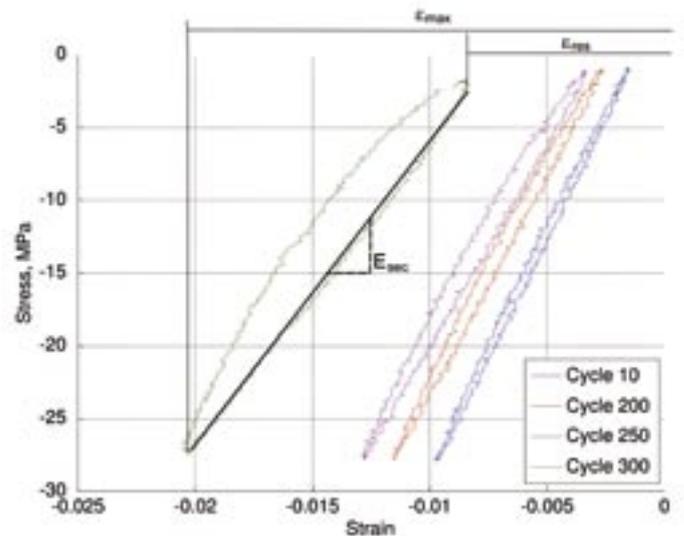


Fig. 1: Stress - strain hysteresis loops for a normalized stress of $\sigma/E_5 = 0.0075$ for the cycles 10, 200, 250 and 300.

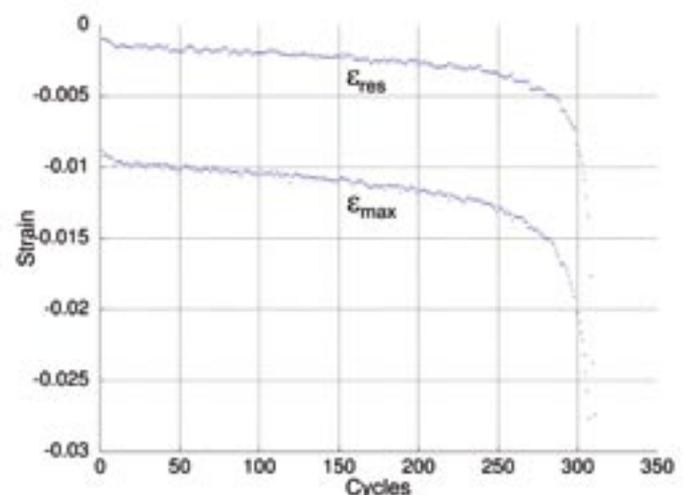


Fig. 2: Residual strain and max strain versus number of cycles for a fatigue test conducted at $\sigma/E_5 = 0.0075$, cf. Fig. 1.

A linear correlation ($\epsilon_{\text{max at failure}} = -1.2994(\sigma/E_s) - 0.0005$, $R^2 = 0.947$) between the maximum strain at failure and the applied load ratio was observed. Inelastic residual strains at failure also indicated a similar linear behaviour but with less good correlation ($R^2 = 0.678$).

A classical power law relationship, $\sigma/E_s = 0.0133N_f^{-0.0939}$, $R^2 = 0.905$, is found between the applied load ratio and the number of cycles to failure (Fig. 3). By using the average BMD value as a scale factor for the applied load ratio a worse correlation was obtained.

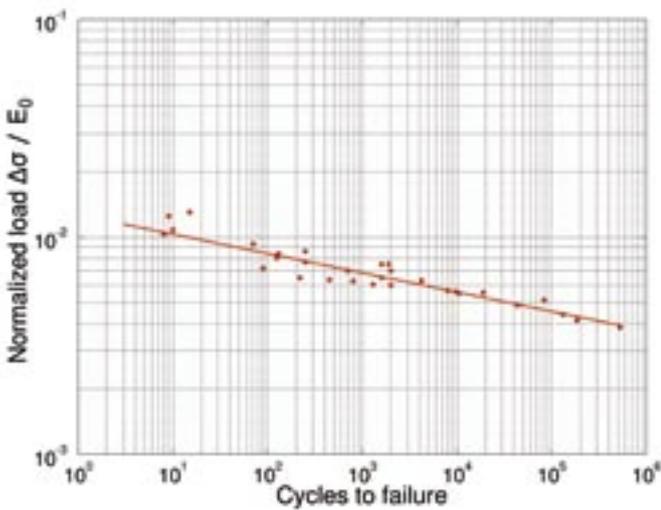


Fig. 3: Log-log plot of σ/E_s versus cycles to failure for different normalized stress levels.

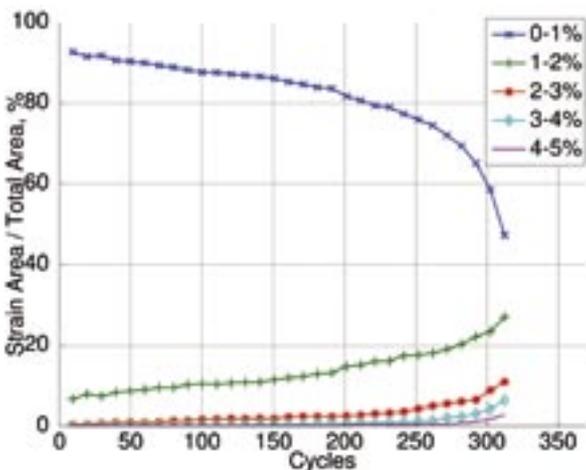


Fig. 4: Evolution of areas strained to given values for a fatigue test conducted at $\sigma/E_s=0.0075$ (all data shown is from the same sample), cf. Figs. 1 and 2.

3.2 Local strain distribution

In order to quantify the local strain distributions, areas with equivalent von-Mises strains within several strain bounds were summed up. The bounds employed were 1%, 2%, 3%, 4% and 5%. An example of the evolution of these cumulated areas in percent of the total surface area versus the number of cycles is given in Fig. 4. The cumulated areas displaying strains between 0-1% decrease almost linearly within the first 200 cycles followed by a more rapid, nonlinear reduction. Areas with higher strain values exhibit a directly opposite behaviour. In the nearly saturated regime of the experiment (20-200 cycles) a slight increase of these areas is obvious, and area fraction becomes significant near the end of fatigue life.

An inhomogeneous distribution of the high-strain areas on the surface was found. At few distinct 'hot spots' an accumulation of inelastic strains can be observed, which later link to form a macroscopic crack and finally lead to structural failure. In Fig. 5a-d the strain distribution at cycle 10, 150, 250 and 300 is shown (cf. Fig. 4). The location of the fatal macroscopic crack is indicated by the dashed line.

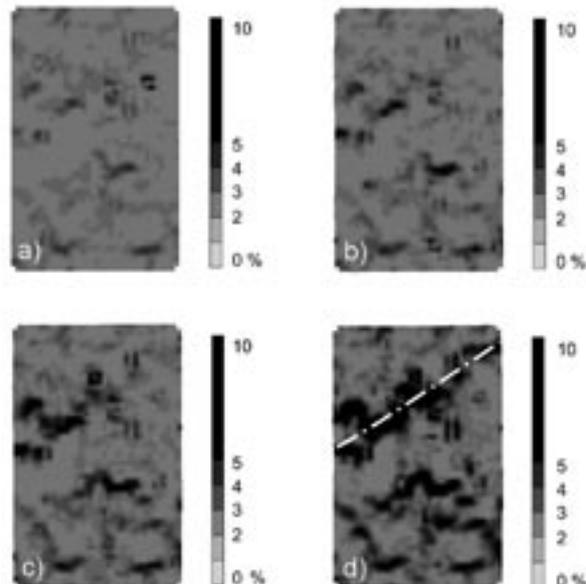


Fig. 5a-d: Surface von-Mises strain distribution (in %) at cycles 10, 150, 250, 300. The line in d) indicates the position of the fatal crack.

Linear relationships were found by correlating the cumulative strained areas at failure with the applied load ratio for all specimens. The percentage of these areas (within a certain bound) with respect to the total surface area is plotted versus the applied load ratio in Fig. 6 a-c. As shown in Fig. 2b the

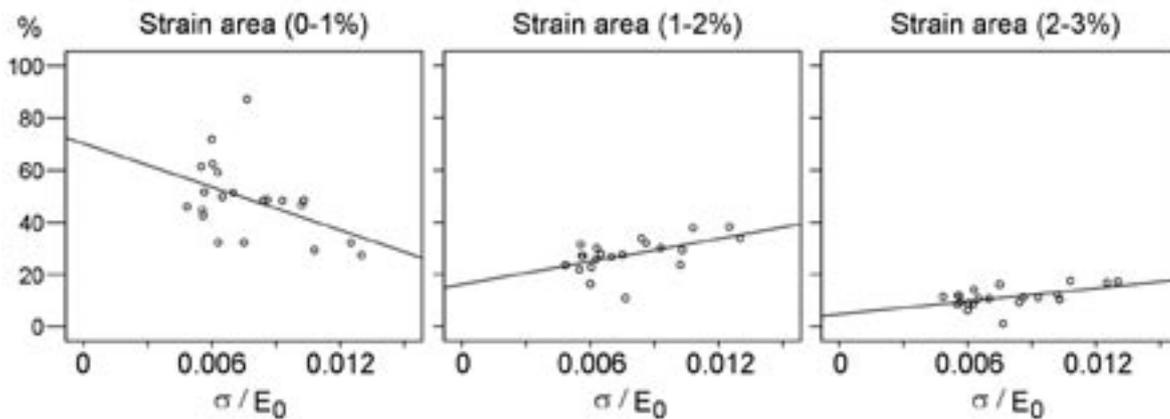


Fig. 6a-c: Area fraction within different strain classes (0-1%, 1-2 %, 2-3%) to total surface area versus applied load ratio.

applied load ratio also corresponds to the inverse of the number of cycles to failure, which as is indicated in Fig. 6.

The less strained areas (0-1%) decrease with increasing applied load ratio. The classes of higher strains show an inverse behaviour. In the high strain classes the slope of the increase is smaller. Results of 3-4% and 4-5% showed a similar tendency. Areas with strains larger than 5% showed no significant gradient. The correlations for these relationships are rather weak but statistically significant ($p < 0.05$).

4 DISCUSSION

The overall cyclic deformation behaviour of bovine vertebral bone can be generally characterised by a continuous decrease in total specimen stiffness and significant accumulations of inelastic strains. The latter are characterised by a shift of the entire hysteresis loops along the strain axis and by an increase of the hysteresis area. The results of the optical strain measurement of the surface indicate very early strain concentrations in areas with strains of higher magnitude ($> 2\%$) within the first few cycles. With increasing number of cycles the main contribution to the overall deformation of the specimen results from significant increases in areas with higher strain concentrations, e.g. up to 5%, whereas the ratio of areas deformed at below 1% von-Mises strain decreases (cf. Fig. 4). These higher strains accumulate constantly in distinct regions during the experiment until macroscopic failure occurs. At the moment, it is not quite clear whether the total inelastic deformation includes significant creep deformations. In recent studies minor creep contributions rather than early brittle micro cracking is proposed [19]. Due to the almost

instantaneous development of the highly localized strain fields inelastic deformations should favour formation of micro cracks within the trabecular structure rather than pure creep mechanisms. Furthermore, the reduction in the overall specimen stiffness indicates micro crack formation and propagation rather than to creep-induced effects.

A greater extent of high-strain areas was observed when high load ratios were applied. For lower load ratios, a more homogenous strain distribution at failure with a major strain component below 1% resulted. This hints to different damage mechanisms acting at different load regimes. Whereas high-cycle fatigue is dominated by low strains and may be associated with micro crack formation and propagation, in low-cycle fatigue strains of higher magnitude prevail and may cause direct trabeculae cracking and junction failure.

A highly correlated power law is observed between the applied load ratio $\Delta\sigma/E_5$ and the number of cycles to failure. This parameter leads to an accurate estimation of the entire fatigue life, while the normalisation by the average specimen density shows less good correlation and therefore seems to be insufficient to accurately predict fatigue life.

In this study a normalisation of the applied load ratio with the secant modulus of the fifth cycle E_5 was used, whereas in literature [20, 31] mainly the pre-testing modulus E_0 is taken as a scaling factor. Applying the normalisation by E_0 to the data of the present study, the structural stiffness potential is underestimated and the correlation with the number of cycles to failure is even worse. One reason for this is the increase of the secant modulus within the first few cycles which is attributed to stress redistributions in the volume directly beneath the surface that compensate for the loss of adjacent trabeculae

due to the specimen preparation. Another issue seems to be the early inelastic deformation caused by bending and the formation of certain "plastic" hinges of unfavourably arranged trabeculae. The superposition of both effects causes the observed almost instantaneous random pattern of locally enhanced strain areas, which result in an integral loss of the specimen height.

Investigations on the fatigue behaviour of bovine trabecular bone [18, 27] suggest a fatigue endurance limit at an applied load ratio σ/E_0 of approximately 0.0035 for compression. One run-out specimen of this study was loaded with $\sigma/E_5 = 0.00385$ without any indication of failure after 570,000 cycles, which seems to support this suggestion.

Although the rectangular specimen geometry specifically chosen for the simultaneous strain determination on two rectangular front faces may induce stress concentrations on the edges, the optical strain measurement and the microscopic failure analysis revealed no indication of pronounced cracking in these areas. The majority of the cracks developed in the planar surface regions. This can be rationalized as the surface areas experiences higher local loads due to the loss of adjacent trabeculae. Therefore, failure initiation is mainly concentrated in these high-strain regions, and thus, clearly detectible before any volume cracks develop. All reported effects concerning stiffness reduction and the shifts of the hysteresis loops can be clearly correlated with the observed macro crack propagation.

5 CONCLUSION

Bovine vertebrae cancellous bone specimens were tested in compression fatigue. An optical deformation measurement system was applied and evolution of the surface strains was analysed. Significant differences in the low-cycle and high-cycle range were observed, which hint to different damage mechanisms. Failure of specimens with a low applied load ratio seem to be dominated by low strains, failure at a high applied load ratio is governed by the damage evolution in high strained localized areas.

ACKNOWLEDGMENTS

BMD measurements were kindly supported by E. Fuchs and Prof. Dr. med. Chr. Eilles, Department of Nuclear Medicine, University of Regensburg, Germany.

REFERENCES

- [1] S. Suresh, *Fatigue of Materials*, University Press, Cambridge (1998)
- [2] D. Radaaj, *Ermuedungsfestigkeit*, Springer Verlag, Heidelberg (2003)
- [3] D. B. Burr, M. R. Forwood, D. P. Fyhrie, R. B. Martin, M. B. Schaffler and C. H. Turner, Bone microdamage and skeletal fragility in osteoporotic and stress fractures, *J Bone Miner Res*, 12(1) (1997), 6-15.
- [4] R. B. Martin, Burr, D.B., Sharkey, N.A., *Skeletal Tissue Mechanics*, Springer Verlag, New York (1998)
- [5] P. J. Prendergast and D. Taylor, Prediction of bone adaptation using damage accumulation, *J Biomech*, 27(8) (1994), 1067-76.
- [6] C. Milgrom, M. Giladi, A. Simkin, N. Rand, R. Kedem, H. Kashtan, M. Stein and M. Gomori, The area moment of inertia of the tibia: a risk factor for stress fractures, *J Biomech*, 22(11-12) (1989), 1243-8.
- [7] T. W. Bauer and J. Schils, The pathology of total joint arthroplasty.II. Mechanisms of implant failure, *Skeletal Radiol*, 28(9) (1999), 483-97.
- [8] W. E. Caler and D. R. Carter, Bone creep-fatigue damage accumulation, *J Biomech*, 22(6-7) (1989), 625-35.
- [9] D. R. Carter and W. E. Caler, Cycle-dependent and time-dependent bone fracture with repeated loading, *J Biomech Eng*, 105(2) (1983), 166-70.
- [10] D. R. Carter, W. E. Caler, D. M. Spengler and V. H. Frankel, Fatigue behavior of adult cortical bone: the influence of mean strain and strain range, *Acta Orthop Scand*, 52(5) (1981), 481-90.
- [11] D. R. Carter, W. E. Caler, D. M. Spengler and V. H. Frankel, Uniaxial fatigue of human cortical bone. The influence of tissue physical characteristics, *J Biomech*, 14(7) (1981), 461-70.
- [12] J. D. Currey, Strain rate and mineral content in fracture models of bone, *J Orthop Res*, 6(1) (1988), 32-8.
- [13] C. A. Pattin, W. E. Caler and D. R. Carter, Cyclic mechanical property degradation during fatigue loading of cortical bone, *J Biomech*, 29(1) (1996), 69-79.
- [14] C. Fleck and D. Eifler, Deformation behaviour and damage accumulation of cortical bone specimens from the equine tibia under cyclic loading, *J Biomech*, 36(2) (2003), 179-89.
- [15] T. L. Arthur Moore and L. J. Gibson, Microdamage accumulation in bovine trabecular bone in uniaxial compression, *J Biomech Eng*, 124(1) (2002), 63-71.

Prof. Dr.-Ing. Joachim Hammer

Tel.: 0941 943-5153

Fax 0941 943-1428

joachim.hammer@maschinenbau.fh-regensburg.de

- [16] S. M. Bowman, T. M. Keaveny, L. J. Gibson, W. C. Hayes and T. A. McMahon, Compressive creep behavior of bovine trabecular bone, *J Biomech*, 27(3) (1994), 301-10.
- [17] T. L. Moore and L. J. Gibson, Fatigue microdamage in bovine trabecular bone, *J Biomech Eng*, 125(6) (2003), 769-76.
- [18] T. L. Moore and L. J. Gibson, Fatigue of bovine trabecular bone, *J Biomech Eng*, 125(6) (2003), 761-8.
- [19] T. L. Moore, F. J. O'Brien and L. J. Gibson, Creep does not contribute to fatigue in bovine trabecular bone, *J Biomech Eng*, 126(3) (2004), 321-9.
- [20] S. M. Bowman, X. E. Guo, D. W. Cheng, T. M. Keaveny, L. J. Gibson, W. C. Hayes and T. A. McMahon, Creep contributes to the fatigue behavior of bovine trabecular bone, *J Biomech Eng*, 120(5) (1998), 647-54.
- [21] A. Odgaard and F. Linde, The underestimation of Young's modulus in compressive testing of cancellous bone specimens, *J Biomech*, 24(8) (1991), 691-8.
- [22] A. Nazarian and R. Mueller, Time-lapsed microstructural imaging of bone failure behavior, *J Biomech*, 37(1) (2004), 55-65.
- [23] E. Verhulp, B. van Rietbergen and R. Huiskes, A three-dimensional digital image correlation technique for strain measurements in microstructures, *J Biomech*, 37(9) (2004), 1313-20.
- [24] B. Van Rietbergen, R. Muller, D. Ulrich, P. Ruegsegger and R. Huiskes, Tissue stresses and strain in trabeculae of a canine proximal femur can be quantified from computer reconstructions, *J Biomech*, 32(4) (1999), 443-51.
- [25] G. L. Niebur, M. J. Feldstein, J. C. Yuen, T. J. Chen and T. M. Keaveny, High-resolution finite element models with tissue strength asymmetry accurately predict failure of trabecular bone, *J Biomech*, 33(12) (2000), 1575-83.
- [26] G. Schaffner G., X.-D. E., Silva M. J., Gibson L. J., Modelling fatigue damage accumulation in two-dimensional Voronoi honeycombs, *International Journal of Mechanical Sciences*, 42((2000), 645-656.
- [27] X. E. Guo, T. A. McMahon, T. M. Keaveny, W. C. Hayes and L. J. Gibson, Finite element modeling of damage accumulation in trabecular bone under cyclic loading, *J Biomech*, 27(2) (1994), 145-55.
- [28] T. H. Smit, The use of a quadruped as an in vivo model for the study of the spine - biomechanical considerations, *Eur Spine J*, 11(2) (2002), 137-44.
- [29] T. M. Keaveny, R. E. Borchers, L. J. Gibson and W. C. Hayes, Trabecular bone modulus and strength can depend on specimen geometry, *J Biomech*, 26(8) (1993), 991-1000.
- [30] T. M. Keaveny, T. P. Pinilla, R. P. Crawford, D. L. Kopperdahl and A. Lou, Systematic and random errors in compression testing of trabecular bone, *J Orthop Res*, 15(1) (1997), 101-10.
- [31] S. M. Haddock, O. C. Yeh, P. V. Mummaneni, W. S. Rosenberg and T. M. Keaveny, Similarity in the fatigue behavior of trabecular bone across site and species, *J Biomech*, 37(2) (2004), 181-7.

BIOMECHANICAL PROPERTIES OF ARTICULAR CARTILAGE AS A STANDARD FOR BIOLOGICALLY INTEGRATED INTERFACES

ABSTRACT

Articular cartilage integration has been described in in-vitro models, which compare mechanical to biochemical behaviour and histological analysis, respectively. The emphasis of these findings is mainly on the biochemical and histological analysis, rather than on the mechanical performance. The complex in vitro loading conditions and high deviations in the mechanical results due to the biological variance, make interpretations difficult.

The aim of this study is to analyse and define the mechanical stress and strain distribution in a single lap configuration by means of an optical strain measurement system. Supportive finite element computation is performed to indicate the heterogeneous stress strain distribution in the integration area. The optical failure analysis of the experiment reveals crack propagation through the integration area comparable to plane shear in fracture mode two. Using the optical strain measurement set up a direct estimation of the shear modulus is achievable by analysing the relative displacement within the bonded joint before the onset of delamination in the adhesive layer.

This results lead to a better interpretation of the mechanical behaviour of articular cartilage integration in vitro.

1 INTRODUCTION

In joint trauma or disuse articular cartilage defects are the first step in the development of osteoarthritis [1, 2]. To prevent osteoarthritis in such cases therapeutic interventions are required in order to achieve direct repair of the native tissue or partial replacement [1-6] of the load bearing capacity of the interface with native-to-native or native-to-tissue-engineered cartilage [7, 8]. In order to achieve complete repair of the joint, it is important that the repaired and surrounding tissue shows homogeneous elastic behaviour at least to the extent of the original cartilage. The mechanical properties of the tissue are related to cell vitality, biochemical composition and structure [5] and therefore to the quality of articular cartilage integration [9, 10]. In vitro analysis of the articular cartilage integration process has identified the key

role of collagen metabolism and structure in determining the mechanical properties of the interface. Cross linking [10-12] and the extent of alignment of the molecules, and hence the structure and morphology of the collagen fibres, influence the mechanical integrity in much the same way as they do in synthetic polymers. Most published mechanical in vitro analysis of integration lacks the comparison with native tissue, although native integrity [13] characteristics are of importance to establish if an adhesive tissue has resulted from the integration. Accordingly, this work focuses on the fracture characteristics of native to native articular cartilage tissue, cultured in a single lap configuration for 14 days [11].

Even with such a simple specimen configuration and monotonic tensile loading (Fig. 1a), the stress distribution in the sample is quite complex, with a transition from pure tensile to shear forces, and these are investigated in this work. The set-up offers loading conditions similar to those in vivo where articular cartilage surfaces oppose each other or in trauma or under surgical interventions [4, 5]. High resolution measurement of local strain distributions in the integration area allows a specific focus on the mechanical properties of the new repair tissue. Generally, the results are analysed in terms of the adhesive strength as this is what ultimately matters in the clinical situation. Whereas, the transition from native to repair tissue induces strain dependent inhomogeneous deformation of the integration specimen [14], the apparent adhesive strength and the gradients in local strains can be regarded as practical parameters, providing useful information concerning the individual quality of the integrated tissue with respect to the mechanical behaviour of native tissue [10].

2 EXPERIMENTAL

2.1 Sample preparation and mechanical testing

Knee joints from 8 to 12 week-old calves were provided by a local slaughterhouse 6 – 18 hours after death. Full-thickness osteochondral cubes (12 mm x 10 mm) were harvested from the patellafemoral groove. Slices parallel to the superficial zone, 250 μ m in thickness were cut by a microtome (Microm HM 440E), and the first two slices discarded to dispose of the top layer of curved articular surface. The next three slices of 250 μ m thickness were preserved in a 24-well culture plate. In all cases, the depth below the surface from which the slices were harvested was documented. Geometrically defined cartilage specimens (8 mm x 2.5 mm x 250 μ m) were punched out of the slices in two steps using two specially designed blade scalpels. During all preparation steps the specimens were kept moist with PBS or stored at 4 C° in PBS.

¹ University of Applied Sciences Regensburg, Department of Mechanical Engineering, Regensburg, Germany

² Hospital of University of Regensburg, Department of Trauma Surgery, Regensburg, Germany

³ Heriot-Watt University, School of Engineering and Physical Sciences, Edinburgh, UK

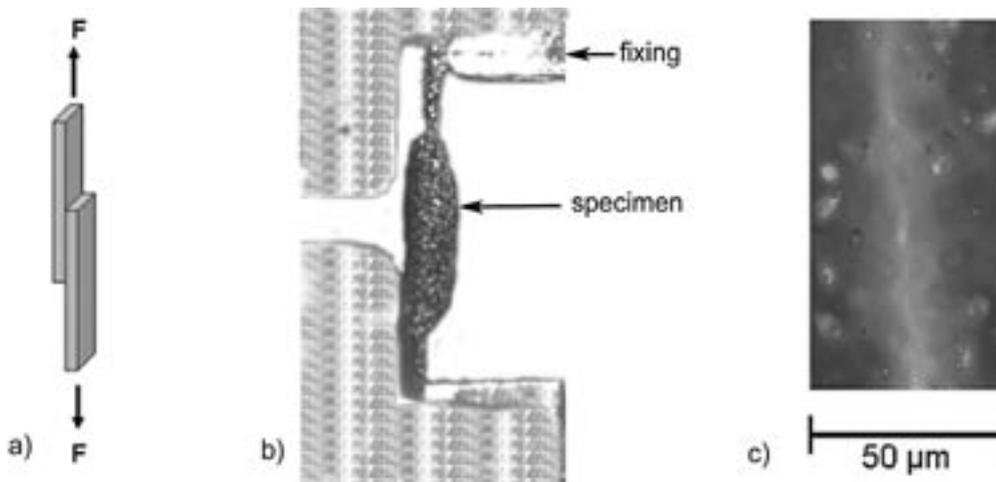


Fig. 1: (a) Sketch of loading conditions of a single lap specimen, (b) lateral view of the experimental set-up: Specimen with typical grey spot pattern for optical deformation measurement and (c) integrated defect of articular cartilage after 2 weeks of in vitro incubation.

For incubation, two strips were positioned one above the other with an overlapping area of $4 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$ (10 mm^2), (Fig. 1a), which results in a total length of 12 mm for all specimens after integration. The adhesive strength of the repaired tissue was measured under tensile loading using a specially modified tensile testing machine (Zwick 1445). Two spring loaded clamps with a defined gripping force adjustable between 0 and 20 N and this, in combination with a vacuum nozzle at each clamp, provided sufficient grip and fixation stability to minimize effects on the registered displacement data and avoid slipping of the specimen. The gauge length of the specimen prior to testing was 7 mm in all experiments, (Fig. 1b). Samples were deformed until rupture at a nominal strain of $2.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. The elongation was recorded by a linear variable displacement transformer (LVDT, HBM WA/10mm). The accuracy of the nominal strain and load signals were $\pm 8 \times 10^{-3}$ and $\pm 0.08 \text{ N}$, respectively. The thickness of the repaired tissue was determined from histological cross sections of the integration area, (Fig. 1c). In parallel with these global measurements an optical deformation measurement system (ARAMIS, GOM) was used to measure the local heterogeneous strains and, particularly, to obtain information on strain distributions normal to the integration area, (Fig. 4c). The required high optical grey-scale contrast of the gauge section was obtained by colouring the samples with toluidin blue and a random pattern of acrylic paint was applied prior to testing. The shear modulus of the repaired adhesive layer was estimated using equation 1 according to ASTM Standard D 3983 [15]. With respect to Equ. 1 the calculation of the shear modulus of the newly grown tissue in the repaired zone was carried out at the stage of the experiment when the force was at 50% of the rupture value. The shear modulus was determined using four specimens. The

integrative property was influenced by ascorbate with standard medium in drug dose response manner. This data showed in a preliminary investigation optimum stimulation of biomechanical integration with a concentration of $100 \mu\text{g}/\text{ml}$ of ascorbate.

Equation 1

$$\hat{G} = \frac{0.5P_{\text{max}} / A}{\delta / \eta}$$

- \hat{G} = estimate of shear modulus
- P_{max} = failure load for the bond
- A = bond area
- η = adhesive layer thickness
- δ = joint slip at $0.5 P_{\text{max}}$

2.2 Finite element computation

Finite element analysis was used to model geometrical effects in more detail and to provide information about the stress - strain distribution in the integration area. The native tissue properties were modelled with a linear elastic material law (Young`s modulus of 25 MPa and a Poisson`s ratio of 0.3) [16]. The newly grown tissue was modelled by using a bilinear isotropic material law with a Young`s modulus of 5 MPa , a Poisson`s ratio of 0.3 , a Yield stress of $0,07 \text{ MPa}$, and a post yield slope of 0.75 MPa , respectively. These parameters are assumptions from results of single lap tests with integral deformation measurement. The thickness of the integration area was taken to be $30 \mu\text{m}$ which is the average determined from histological analysis of the cross sections, (Fig. 1c). It should be noted that crack propagation and element failure were not considered in the model. All computations were performed with the finite element code ANSYS 8.1.

3 RESULTS

3.1 Experimental analysis

3.1.1 Strain behaviour of the single lap specimen

Representative results of the optical strain analysis of a single lap specimen at various stages of tensile loading are shown in Fig. 2. The force displacement diagram shows the typical behaviour, with a nonlinear “toe” region being followed by a relatively linear part until rupture of the integration area occurs [16]. The images A, B, and C show the measured strain distributions in a lateral view of the specimen. As can be seen, strains are concentrated in the upper and lower extremities of the integration area (where the thickness changes from about double to the initial cartilage thickness). In this transition the local strains are up to 50 % higher than those on the free surfaces of the laps. Also, and significantly from the clinical point of view, the repaired tissue (integration) exhibits up to 20% more strain than the native tissue directly adjacent to it under equal loading. At high loads (between point C and rupture) the deformations in the integration area exceed the strain range of the optical system and thus cannot be measured. The optical strain data clearly indicate the onset of delamination in the transition of the integration area at the margins (C) and the beginning of crack propagation through the repaired tissue with increasing load, a phenomenon that is well known in adhesive lap joints. Additionally, directly before rupture, a bending movement of the specimen to align the two extremities along the load axis was observed.

3.1.2 Calculation of the shear modulus

Fig. 3 shows the relative movement of two points with the same initial horizontal positions on the side faces of each of the two overlapping slices (A1, A2 at centre position of the integration area). The relative displacement values allow a determination of the joint slip. The abscissa of the diagram (Fig. 3) shows values for δ (Equ. 1) at increasing load. Given that the thickness of the new tissue due to integration processes is about

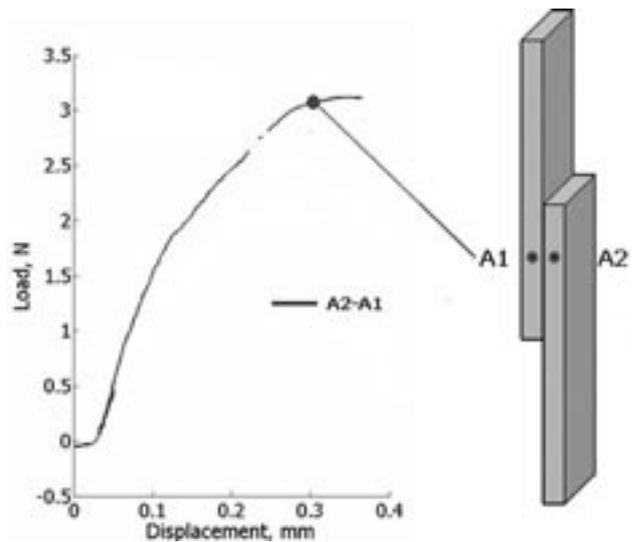


Fig. 3: Load-displacement diagram of the relative deformation of two points in opposition, A1-A2 schematic view of the location of the points on the specimen surface.

30µm, (Fig. 1 c), the shear modulus can be calculated. For the four ascorbate treated specimens a shear modulus of 32 ± 9 kPa (n=4) for the adhesive was obtained.

3.2 Finite element modelling

The finite element computation was focused on assessing how the geometry affects the stress strain distribution along the gauge section of the specimen and the integration area. Fig. 4a shows the calculated strains along the free length of the specimen for a load of 3 N. Clearly the peak strains are at the margins of the integration area, with a high strain gradient, continuously increasing from the centre to the upper and lower margins of the synthesised tissue. The calculated strains in the integration area are somewhat less than the experimental strain data, suggesting that the chosen values of yield stress or

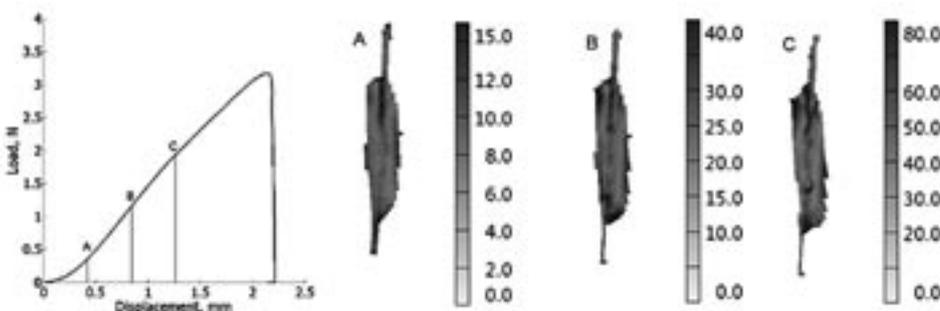


Fig. 2: Typical load-displacement behaviour of a single lap specimen under tensile loading, capital letters indicate the point on the curve where the corresponding von Mises strain distributions (%) have been measured at loads of 0.30, 1.11 and 1.84 N in the lateral view.

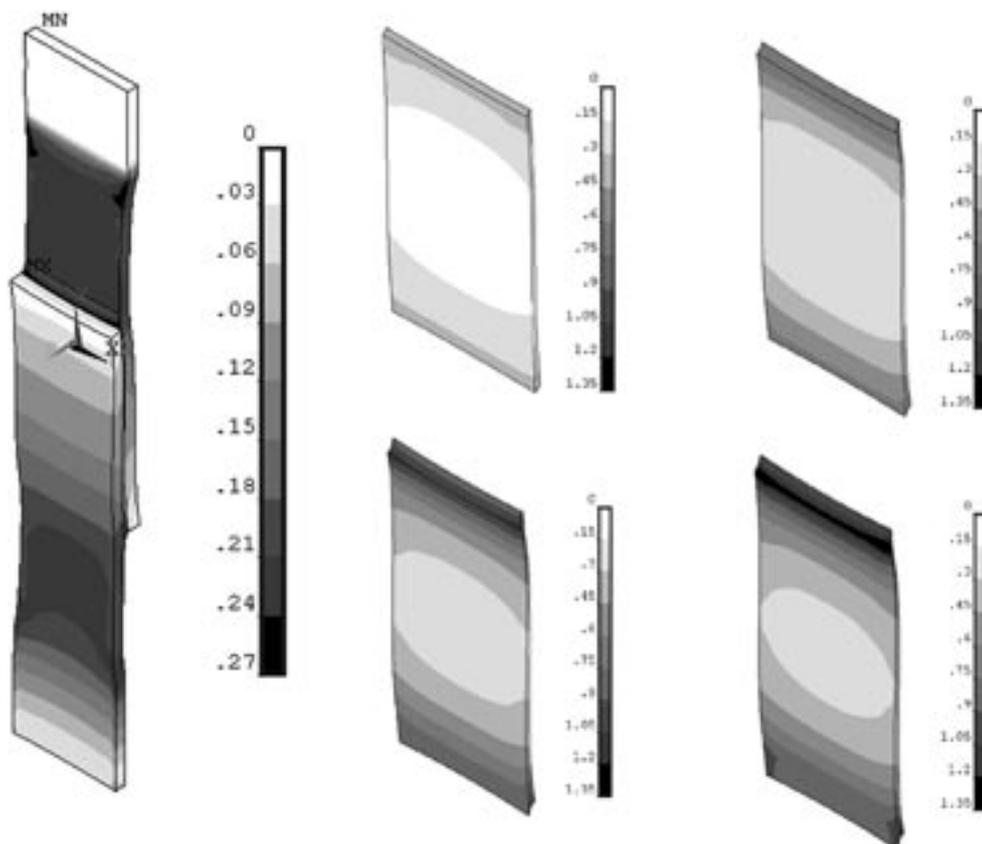


Fig. 4: Von Mises strain distribution (mm/mm) over the whole specimen at the peak load of 3 N and in detail the von Mises stress distribution (MPa) within the integration area for loads of 0.9, 1.8, 2.7 and 3 N.

Young's modulus (or both) are too high. Detailed calculations of the stress distribution at loads of 0.9, 1.8, 2.7 and 3.0 N reveal a highly heterogeneous stress distribution in the integration area, (Fig. 6b-e). With increasing load the equal stress states form the periphery of ellipses with coincident centres. The bending effect caused by the unsymmetrical specimen geometry (double thickness in the integration area) also develops in the calculation for the higher loads of 2.7 and 3 N.

4 DISCUSSION

The single lap integration model is very useful for the analysis of how mechanical stability is affected by modifications during incubation, where different cultivation media result in different rupture stresses. One disadvantage of the model is the requirement for a control group to generate reference data for the experiments, a problem which can be eliminated using a parameter such as the shear modulus, which is directly related to the new tissue in the integration area. The use of the shear modulus also offers the possibility to compare the results to other experimental methods where direct measurements are made on new tissue.

These preliminary results show that such a measurement is feasible, although others will be required to verify the findings. The key to the technique is to concentrate on relative movement of the integration area thus eliminating all effects from the fixings and also from the native tissue. This is of even greater importance when integration at the interfaces improves, and the stress distribution in the integration area is changing from a homogeneous to a more complex state. This shift of the stress distribution is clearly seen in the computational analysis, (Fig. 4) [14]. The results of the numerical simulation are highly dependent on the material properties, chosen for the repaired tissue. But the emphasis of this computation was not to describe the new tissue, but the general situation of such an adhesive bond concerning a high stiffness gradient. The failure stress normalized to the integration area is considered to be an appropriate estimation of the load bearing capacity of the new synthesized tissue. It is expected that the real locally acting failure stresses will be even higher with increasing quality (load capability) of the integration process, although this has yet to be demonstrated experimentally. The global analysis of the experiment using the crosshead displacement data shows

Prof. Dr.-Ing. Joachim Hammer

Tel.: 0941 943-5153

Fax 0941 943-1428

joachim.hammer@maschinenbau.fh-regensburg.de

almost linear behaviour, although, this linearity, especially just before rupture, is probably an accumulation of different nonlinear fracture mechanisms. First, a load case comparable to fracture mode 2 (in-plane shear) occurs, debonding of the adhesive starts and the pull-out of collagen fibres can be expected [14]. The reasons for the linear appearance of the load displacement curve can be interpreted by a higher integration quality in the centre of the specimen which is less heavily loaded at the beginning of the experiment and which becomes the load carrying section at higher load states when failure starts at the margins of the integration area.

If it is necessary to compare the integrative tissue to the native tissue, a single lap configuration is not appropriate as the heterogeneous stress strain distribution prevents a normalisation to tensile or static compressive properties of articular cartilage. At high rupture stresses (close to tensile rupture of the native material) the analysis and interpretation of the mechanics of the single lap model becomes increasing complex so that modern cultivation methods begin to approach the limitations of this model.

5 CONCLUSION

The capabilities of a single-lap test for assessing articular cartilage integration have been assessed using samples at early stages of integration.

It has been found that a simple load-displacement trace is suitable for measuring the integration quality provided that the adhesive strength does not approach that of the native cartilage. As the strength of the integration increases, the strength of the joint becomes more and more affected by the strength of the native material and the stress state in the integration becomes rather complex, requiring more sophisticated measurement techniques, such as those which determine directly the shear modulus in the integration.

Acknowledgements

The authors thank R. Mai, for assistance concerning the performance of the mechanical experiments and for preparing the experimental data. Thanks are also due to, S. Dendorfer for discussions concerning the finite element modelling.

REFERENCES

1. Buckwalter, J.A., Osteoarthritis and articular cartilage use, disuse, and abuse: experimental studies. *J Rheumatol Suppl*, 1995. 43: p. 13-5.
2. Buckwalter, J.A. and E.B. Hunziker, Orthopaedics. Healing of bones, cartilages, tendons, and ligaments: a new era. *Lancet*, 1996. 348 Suppl 2: p. s1118.
3. Buckwalter, J.A., Articular cartilage. *Instr Course Lect*, 1983. 32: p. 349-70.
4. Buckwalter, J.A. and H.J. Mankin, Articular cartilage repair and transplantation. *Arthritis Rheum*, 1998. 41 (8): p. 1331-42.
5. Buckwalter, J.A. and H.J. Mankin, Articular cartilage: degeneration and osteoarthritis, repair, regeneration, and transplantation. *Instr Course Lect*, 1998. 47: p. 487-504.
6. Buckwalter, J.A. and H.J. Mankin, Articular cartilage: tissue design and chondrocyte-matrix interactions. *Instr Course Lect*, 1998. 47: p. 477-86.
7. Obradovic, B., et al., Integration of engineered cartilage. *J Orthop Res*, 2001. 19(6): p. 1089-97.
8. Hunziker, E.B. and L.C. Rosenberg, Repair of partial-thickness defects in articular cartilage: cell recruitment from the synovial membrane. *J Bone Joint Surg Am*, 1996. 78(5): p. 721-33.
9. DiMicco, M.A. and R.L. Sah, Integrative cartilage repair: adhesive strength is correlated with collagen deposition. *J Orthop Res*, 2001. 19(6): p. 1105-12.
10. DiMicco, M.A., et al., Integrative articular cartilage repair: dependence on developmental stage and collagen metabolism. *Osteoarthritis Cartilage*, 2002. 10(3): p. 218-25.
11. Ahsan, T., et al., Integrative cartilage repair: inhibition by beta-aminopropionitrile. *J Orthop Res*, 1999. 17(6): p. 850-7.
12. Reindel, E.S., et al., Integrative repair of articular cartilage in vitro: adhesive strength of the interface region. *J Orthop Res*, 1995. 13(5): p. 751-60.
13. Englert, C., et al., Inhibition of integrative cartilage repair by proteoglycan 4 in synovial fluid. *Arthritis Rheum*, 2005. 52(4): p. 1091-9.
14. Ahsan, T. and R.L. Sah, Biomechanics of integrative cartilage repair. *Osteoarthritis Cartilage*, 1999. 7(1): p. 29-40.
15. ASTM, Standard test method for measuring strength and shear modulus of nonrigid adhesives by the thick-adherent tensile lap specimen. *Annual Book of ASTM Standards*. 1992, Philadelphia: American Technical Publishers. 312-321.
16. Mow, V.C., W.Y. Gu, and F.H. Chen, Structure and Function of Articular Cartilage and Meniscus. 3 ed. *Basic Orthopaedic Biomechanics and Mechano-Biology*, ed. V.C. Mow and R. Huiskes. 2005, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 182-258.

MODELING CONCEPTS FOR MODERN STEERING SYSTEMS

Keywords: Multibody Dynamics, Vehicle Modeling, Real-Time Simulation, Steering System.

ABSTRACT

The steering system is a very important interface between driver and vehicle. Via the steering wheel the driver controls the vehicle and gets a feedback by the steering torque. The traditional steering system of high speed vehicles is a mechanical system consisting of the steering wheel, the steering shaft, the steering box and the steering linkage. Usually the steering torque produced by the driver is amplified by a hydraulic system. The modeling of such power-assisted steering systems already is a demanding task, [5]. In addition to the nonlinear kinematics of the steering linkage, dry friction and the dynamics of the power assistance have to be taken into account. In the future steer-by-wire systems will be used. Here an electronically controlled actuator is used to convert the rotation of the steering wheel into steer movements of the wheels. Steer-by-wire systems are based on mechanics, micro-controllers, electro-motors, power electronics and digital sensors. At present fail-safe systems with a mechanical backup system are under investigation. To cut the development time pre-prototypes are tested in a Component-in-the-Loop (CIL) environment. By including the steering wheel actuator in the simulation a subjective evaluation of the steering system is possible. Steer-by-wire systems provide an enormous potential to improve the handling of vehicles.

The software package veDYNA [11] includes different steering models and provides an interface for external steering models. Thus, via off-line and real-time simulations the handling characteristics of vehicles with modern steering systems can be investigated in an early design stage.

1 INTRODUCTION

For dynamic simulation the vehicles are usually modeled by multi body systems (MBS), [4]. Typically, the overall vehicle model is separated into different subsystems, [6]. The vehicle model which forms the kernel of the software package veDYNA [11] combines the vehicle framework model with different modules and subsystems, Fig. 1.

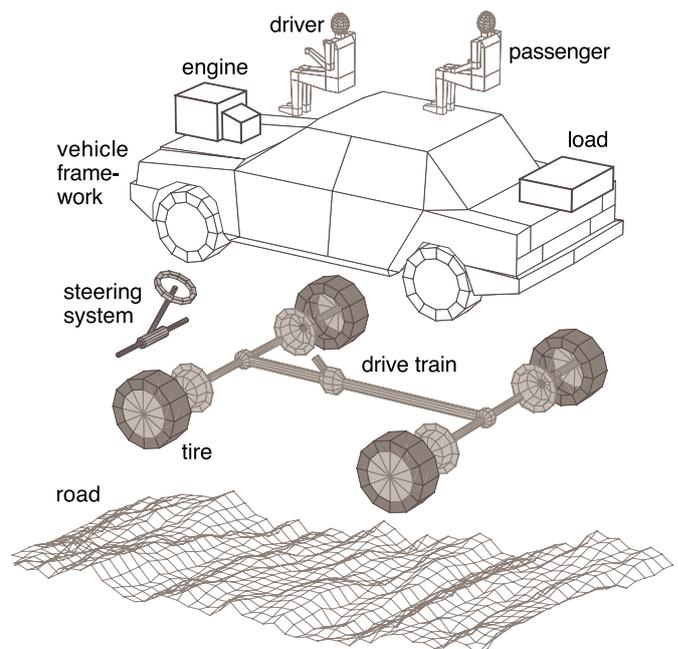


Figure 1: Overall vehicle model structure

The vehicle framework consists at least of a rigid or a flexible chassis module and the axle suspension, [7]. For comfort simulations the vehicle framework can be extended with an elastically suspended engine and passenger models, [8]. The drive train model is generic. It combines front wheel, rear wheel and all wheel drive. Tyre forces and torques are generated via the tyre model TMeasy [3]. The software package veDYNA also includes a sophisticated driver model and a three-dimensional road model, [10], [1]. The steering system consists at least of the steering wheel, a flexible steering shaft and the steering box which may also be power-assisted. The steering system is coupled with the vehicle framework and the drive train by the tyre forces and torques. This paper presents two models with different complexity for the steering system.

2 MODELING ASPECTS**2.1 Minimum Model**

A minimum model for a rack and pinion steering system is shown in Fig. 2.

The rotation angle of the steering wheel and the displacement of the tie rod can be used as generalized coordinates.

Modern steering systems use an overriding gear to amplify or change the steering wheel angle. The rotation angle of the steering shaft is then given by

* FH Regensburg, University of Applied Sciences, Galgenbergstr. 30, D-93053 Regensburg, Germany

e-mail: georg.rill@aol.com, web page: <http://homepages.fh-regensburg.de>

† TESIS DYNAware GmbH, Baierbrunner Straße 15, D-81379 München, Germany

e-mail: cornelius.chucholowski@tesis.de, web page: <http://www.tesis.de>

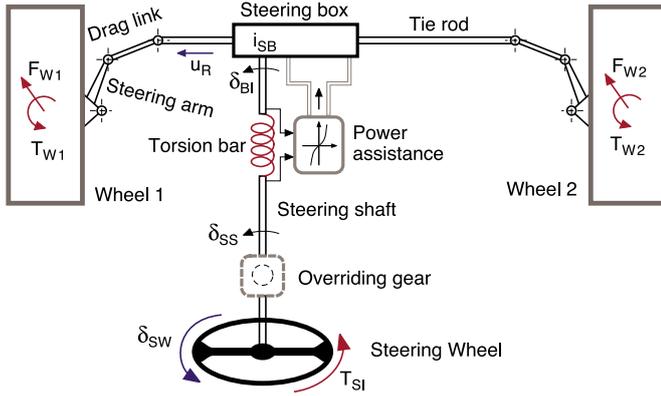


Figure 2: Minimum steering model

$$\delta_{SS} = \lambda_1 \delta_{SW} + \lambda_2 \delta_{OG} \quad (1)$$

where δ_{OG} is an additional steering angle generated by the overriding gear, and λ_1, λ_2 denote the ratios of the overriding gear. The ratio $\lambda_1 = 1$ and a vanishing additional steering angle $\delta_{OG} = 0$ will represent a conventional steering system.

The torque transmitted by the steering shaft is calculated by

$$T_{SS} = c_{TB} (\delta_{SS} - \delta_{BI}) + d_{TB} (\dot{\delta}_{SS} - \dot{\delta}_{BI}) \quad (2)$$

where the constants c_{TB}, d_{TB} approximate the stiffness and the damping properties of the torsion bar. The rotation angle δ_{BI} of the steering shaft at the steering box input and its time derivative are given by

$$\delta_{BI} = i_{SB} u_R \quad \text{and} \quad \dot{\delta}_{BI} = i_{SB} \dot{u}_R \quad (3)$$

where the ratio of the steering box i_{SB} was assumed to be constant here. Now, the equation of motion for the steering wheel reads as

$$\Theta_{SW} \ddot{\delta}_{SW} = T_{SI} - T_{SS} \quad (4)$$

where Θ_{SW} denotes the inertia of the steering wheel and T_{SI} is the steering input torque. The linear momentum for the tie rod results in

$$m_{RG} \ddot{u}_R = F_1 + F_2 + F_S \quad (5)$$

where the generalized mass m_{RG} also includes parts coming from the rotation of the wheels around the king pin axis. The

forces F_{W1}, F_{W2} and torques T_{W1}, T_{W2} applied at the wheels are transmitted via the steering linkage to the tie rod. Their components into the direction of the tie rod are denoted by F_1 and F_2 . The steering force F_S consists of three parts

$$F_S = F_{SF} + F_{SM} + F_{SP} \quad (6)$$

where F_{SF} denotes the friction force,

$$F_{SM} = i_{SG} T_{SS} \quad (7)$$

is the mechanical part and F_{SP} is generated by the power assistance. The twist angle in the torsion bar

$$\delta_{TB} = \delta_{SS} - \delta_{BI} \quad (8)$$

operates a valve which controls the assist force. Hence, in steady state

$$F_{SP} = F_{SP}(\delta_{TB}) \quad (9)$$

holds. Usually, the effect of a power steering is described by a torque boost curve

$$T_{PA} = T_{PA}(c_{TB} \delta_{TB}) \quad (10)$$

Then, the assist force is given by $F_{SP} = i_{SB} T_{PA}$.

The dynamic behavior of the power assistance can be modeled in details, [2]. Here, it will be approximated by a first order differential equation

$$H_{PA} \dot{T}_{PA}^{dyn} = T_{PA} - T_{PA}^{dyn} \quad (11)$$

where H_{PA} denotes a time constant and T_{PA}^{dyn} is the dynamic assist torque.

2.2 Enhanced Model

The drag link, a part of the wheel suspension system, is included in the minimum steering system model. Hence, the wheel axle kinematics cannot be modeled separately from the kinematics of the steering linkage. This restricts the model variety to certain arrangements of wheel/axle suspensions and steering linkages.

If the compliance of the drag link is taken into account, the steer motion of the wheels are no longer kinematically coupled with the steering system. Now, the steering forces F_{S1} and F_{S2} transmitted by the drag links provide the interface between the steering system and the wheels, Fig. 3.

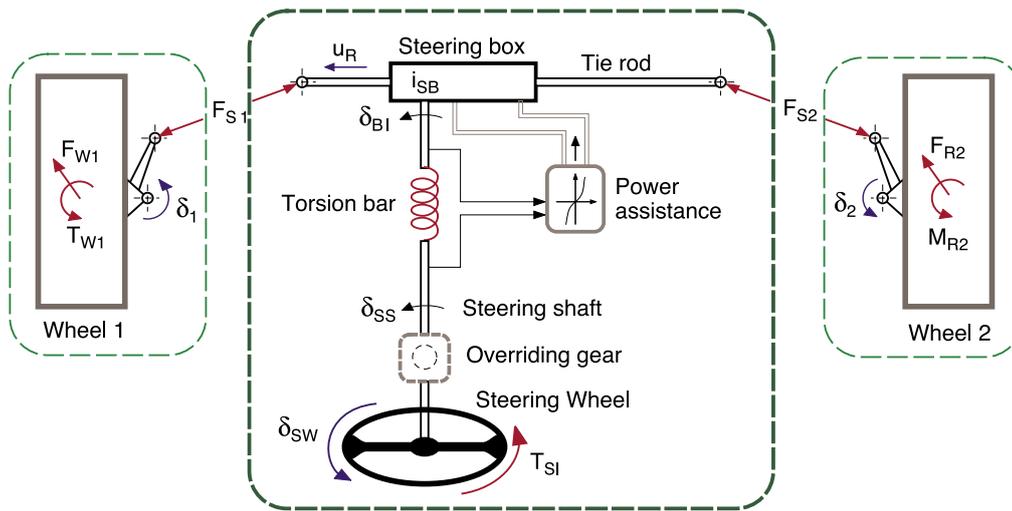


Figure 3: Enhanced model of a steering system

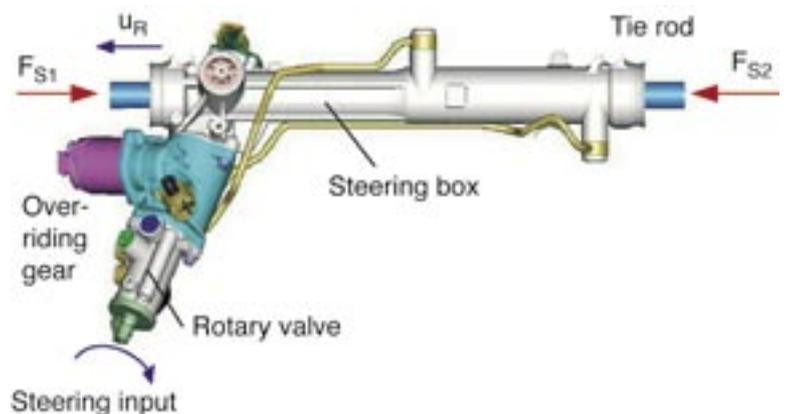


Figure 4: HIL test rig and hardware of a modern steering system

Besides the dynamics of the steering wheel the enhanced steering system model focuses to the steering system itself. As the steering motion of the wheels are no longer included it is possible to integrate third party models of steering systems like the one which is described in [5]. Even hardware in the loop (HIL) applications are possible. A HIL test rig and a modern steering system in hardware are shown in Fig. 4.

The software package veDYNA provides a configurable vehicle model and enhanced models for the driver and the road. Thus, during a HIL application the software provides the steering input and the steering forces and the hardware generates the rack displacement.

3 SIMULATION TECHNIQUE

3.1 Standard Solution

One major design task of a steering system is the investigation of the parking effort. During a static parking maneuver the steering wheel is turned while the vehicle is still in a full stop. In this case the forces and torques applied to the wheels are dominated by the tyre bore torque. The motions of the vehicle can be neglected for a basic study. In addition, we neglect friction and assume that the steering motion of the wheels is a simple rotation around a vertical axis and the kinematics of the steering linkage may be approximated by

$$\delta_1 = \frac{i_{SL} u_R}{1 - \frac{s/2}{a} i_{SL} u_R} \quad \text{and} \quad \delta_2 = \frac{i_{SL} u_R}{1 + \frac{s/2}{a} i_{SL} u_R} \quad (12)$$

where δ_1, δ_2 denote the steering angles of the left and right wheel, a is the wheel base, s the track width, and i_{SL} denotes the average ratio of the steering linkage.

The performance of the minimum steering system model can now be studied in a standalone simulation. The MATLAB-function in A.1 describes the dynamics of the minimum steering system model during a parking maneuver by a set of first order differential equations. The function includes a small part of the TMeasy tyre model, [3] which generates a dynamic bore torque. The power boost curve is approximated by a limited third order polynomial. For this simple application an overriding gear was not taken into account and the friction was neglected. Typical data for a passenger car steering system are given in A.2. A simulation over one period of a sinusoidal steer torque input with an amplitude of $A_{SW}=6.0$ Nm and a frequency of $f_{SW}=0.1$ Hz showed a stiff or moderately stiff system behavior. Therefore, among the standard MATLAB ode solvers `ode23t` and `ode23tb` result in the best run time performance.

3.2 Modular Approach

But, in order to achieve more flexibility the modular structure of the steering system model should be preserved in the numerical solution. In consequence, the model parts steering wheel, power assistance, tyre dynamics and the dynamics of tie rod including the steering linkage and steering motion of the wheels have to be considered separately. Usually, the mechatronic systems within a vehicle communicate in intervals of 1ms. Using an implicit Euler approach makes it possible to integrate each part with a step size of $h = 1ms$. By doing so, the communication between the system parts takes place only when needed. At first the differential equations for the steering wheel are solved. An implicit Euler approach leads to

```
% torque in steering shaft with implicit estimation
davest = dsv + h_step*dsvp;
tsa = c_TB*(davest-dbi) + d_TB*(dsvp-dbip);
% acceleration
dsvpp = ( tsi - tsa ) / ( Theta_SW + h_step*(d_TB*h_step*c_TB) );
% new states
dsvp = dsv + h_step*dsvpp; dsv = dsv + h_step*dsvp;
% new torque
tsa = c_TB*(dsv-dbi) + d_TB*(dsvp-dbip);
```

where h_step denotes the integration step size. The steering torque input tsi as well as the steering gear input angle dbi and its time derivative $dbip$ are given by the corresponding code lines in section A.1. The twist angle of the torsion bar $dsw-dbi$ calculated with the new state of the steering wheel is used to evaluate the dynamics of the power assistance. Using an implicit Euler approach again results in the following statements.

```
% boost curve (polynomial approximation)
tpast = pa_coeff*(c_TB*(dsw-dbi))^3;
% limitation
if abs(tpast) > tpa_mx, tpast=sign(tpast)*tpa_mx; end
% first order dynamics
tpap = ( tpast - tpa ) / ( H_pa + h_step );
% new state
tpa = tpa + h_step*tpap;
```

The tyre forces and torques connect the steering system with the vehicle. Here, the bore torque was considered only. An implicit Euler approach reads as

```
% assume adhesion
galp = -d1p; ga2p = -d2p;
% resulting torque
tbo1 = c_bo*gal + d_bo*galp; tbo2 = c_bo*ga2 + d_bo*ga2p;
% check for sliding condition
if abs(tbo1) > tbo_mx
    galp = ( sign(tbo1)*tbo_mx - c_bo*gal ) / ( d_bo + h_step*c_bo );
end
if abs(tbo2) > tbo_mx
    ga2p = ( sign(tbo2)*tbo_mx - c_bo*ga2 ) / ( d_bo + h_step*c_bo );
end
% new states
gal = gal + h_step*galp; ga2 = ga2 + h_step*ga2p;
```

where the time derivatives $d1p, d2p$ of the steering angles of the wheels are calculated as done in section A.1.

The drive shaft torque tss , the assist torque tpa and the tyre torques $tbo1, tbo2$ are the inputs to the tie rod block. The implicit Euler formalism yields

```
% steering forces
fsg = i_SB*tsa; fpa = i_SB*tpa;
% accelerations (equations of motion)
urpp = ( fsg*fpa + is1*tbo1 + is2*tbo2 ) ...
        / ( m_RG + h_step*(d_TB*h_step*c_TB)*i_SB^2 );
% new states
urp = urp + h_step*urpp; ur = ur + h_step*urp;
```

where the partial derivatives of the steering force

$$\frac{\partial fsg}{\partial ur} = -i_{SB}^2*c_{TB} \quad \text{and} \quad \frac{\partial fsg}{\partial urp} = -i_{SB}^2*d_{TB} \quad (13)$$

where used for the numerical stabilization.

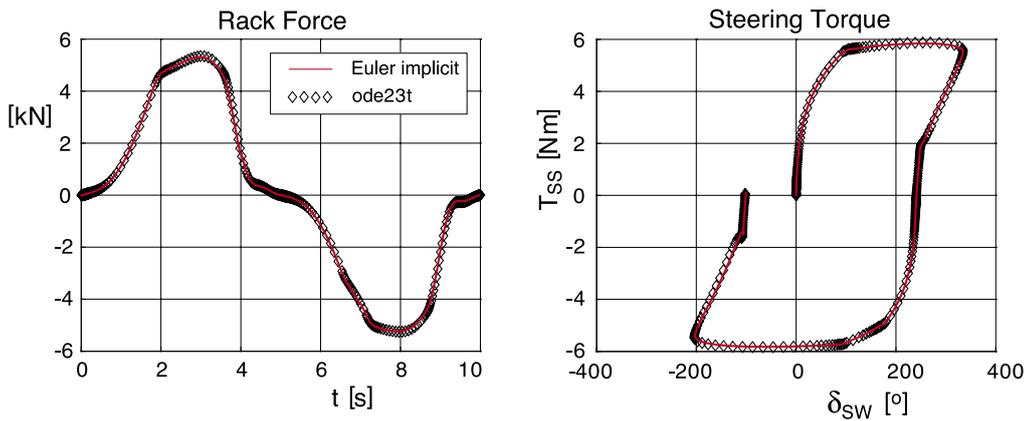


Figure 5: Minimum model simulation results for a sinusoidal steer input

The implicit Euler approach is very stable and accurate. Even for a comparatively large step size of $h = 10ms$ the results are in good conformity with the MATLAB solver ode23t, Fig. 5. The ode23t integration was performed using the default values $RelTol = 1e-3$ and $AbsTol = 1e-6$. The implicit Euler algorithm with $h = 10ms$ was approximately two times faster than the ode23t integration.

This modular approach can also be used for the enhanced steering system model. Due to the stabilizing effect of the implicit Euler approach even complex suspension systems can be solved in real time.

4 APPLICATION

To demonstrate the potential of a modern active steering system the maneuver braking on a μ -split surface was simulated. The coefficient of friction at the left side of the vehicle is supposed to be 10% of the normal friction value at the right side. The vehicle speeds to $v = 130 \text{ km/h}$ and then the driver applies full brake pressure and fixes the steering wheel like he would do at first in a panic reaction. During the whole maneuver the anti-lock brake system

was disabled. The different brake forces at the left and right tyres make the car spin around the vertical axis. The time history of the resulting yaw angle of the car is shown in Fig. 6. Only skilled drivers may be able to stabilize the car by counter steering. The success of the counter steering depends on the reactions in the very first seconds. A controller, who takes appropriate actions at the steering angle, can assist the drivers task.

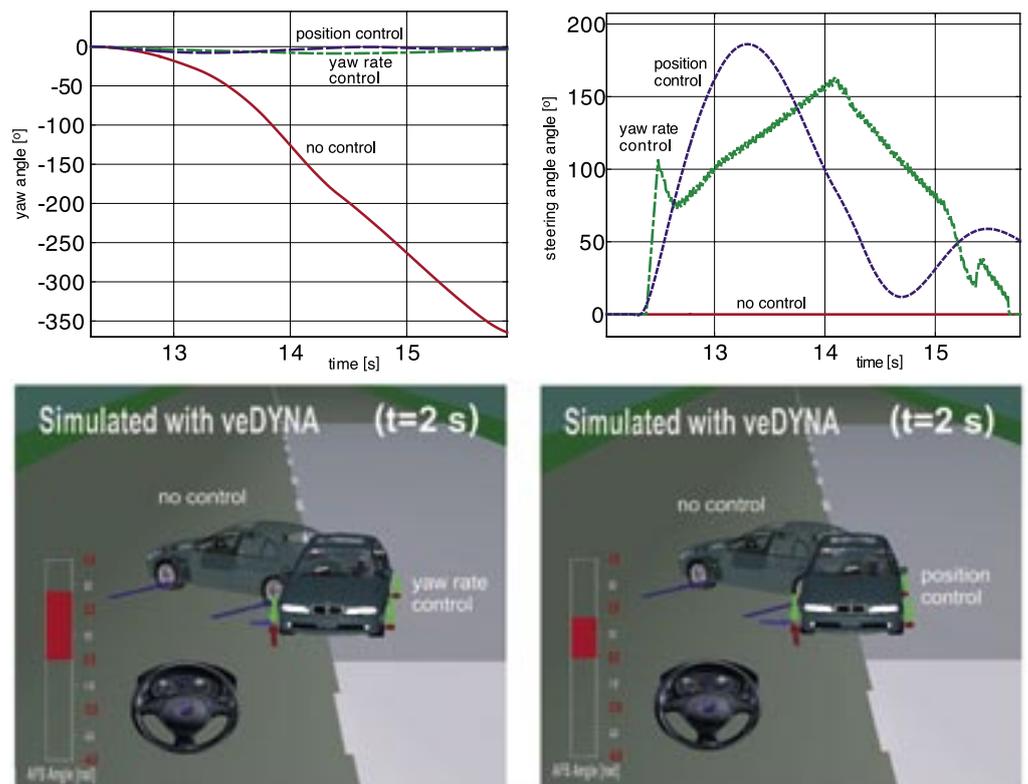


Figure 6: Braking on -split with a standard and an active steering system

Two different control algorithms were investigated. At first a controller with yaw rate feed back was implemented, Fig. 7.

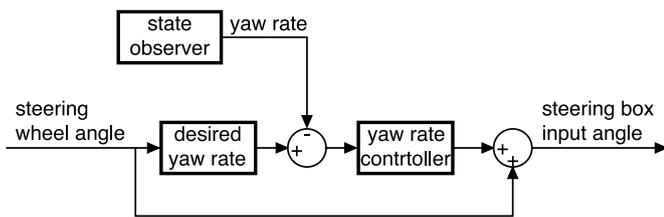


Figure 7: Yaw rate controller

The basic idea of the yaw rate controller is, that the driver sets the desired yaw rate with his input to the steering wheel. In this case the driver fixes the steering wheel which corresponds to a vanishing yaw rate. Even with a very simple PI-structure of the controller the spinning of the car can be avoided, Fig. 6. The needed active steering angle is comparatively large, $\delta_{SW}^{max} \approx 160^\circ$. The driver would have to act very fast and turn a half revolution to achieve the same effect, Fig. 6. A yaw rate controller may avoid the spinning of the car, but not the lateral deviation.

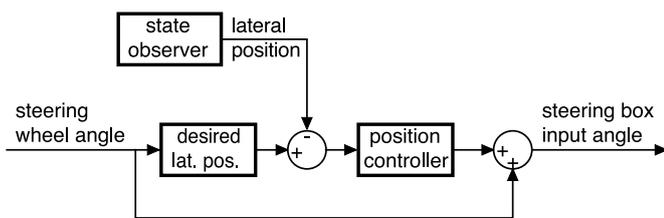


Figure 8: Position controller

Therefore in a second case study a position controller was designed, which takes the lateral deviation as controller input and feeds it back to the overlay steering system, Fig. 7. This controller avoids the spinning of the car too, Fig. 6. As before, the necessary steering wheel angle is comparatively large, $\delta_{SW}^{max} \approx 180^\circ$, and the tendency is very similar to the characteristic of the yaw rate controller. But the position controller starts moderately and acts much smoother. The problem is, that the position controllers requires that there is a way to derive the desired position from the steering input of the driver. Furthermore this kind of controller needs accurate sensors for the position and orientation of the car. At present, these signals are not available. In order to test the efficiency of the controlling algorithms the low friction value was slightly increased at the end of the ice spot.

5 CONCLUSIONS

- A veDYNA off-line simulation shows how the vehicle can be stabilized during a hard braking maneuver on a μ -split surface by a controlled steer motion of the front wheels. An overriding gear in the steering column hereby allows to steer the wheels without rotating the steering wheel.
- This paper demonstrates how the veDYNA vehicle model is used within a steering system test rig. Here a real-time performance is required.
- Using veDYNA in off-line and real-time simulations makes it possible to develop, optimize and test new control strategies for modern steering systems.

REFERENCES

- [1] T. Butz, M. Ehmann, O. von Stryk, T.-M. Wolter: Realistische Straßenmodellierung für die Fahrdynamiksimulation in Echtzeit. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 106, 2, 2004, pp. 118-125.
- [2] Granda, J.J.: Computer Simulation of a Hydraulic Power Steering System with Mechanical Feedback. Proceedings of the 29th Heat Transfer and Fluid Mechanics Institute. CSU, Sacramento. Sacramento, Ca. June 1985.
- [3] Hirschberg, W.; Rill, G.; Weinfurter, H.: User-Appropriate Tyre-Modeling for Vehicle Dynamics in Standard and Limit Situations. Vehicle System Dynamics 2002, Vol. 38, No. 2, pp. 103-125. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- [4] van der Jagt, P.: The Road to Virtual Vehicle Prototyping; new CAE-models for accelerated vehicle dynamics development. PhD-Thesis, Tech. Univ. Eindhoven, Eindhoven 2000, ISBN 90-386-2552-9 NUGI 834.
- [5] Neureder, U.: Untersuchungen zur Übertragung von Radlastschwankungen auf die Lenkung von Pkw mit Federbeinvorderachse und Zahnstangenlenkung. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 518. Düsseldorf: VDI Verlag 2002.
- [6] Rauh, J.: Virtual Development of Ride and Handling Characteristics for Advanced Passenger Cars. Vehicle System Dynamics, 2003, Vol. 40, Nos. 1-3, pp. 135-155.
- [7] Rill, G.: Vehicle Modeling by Subsystems. Proceedings of the XI DINAME, 28th February-4th March, 2005 - Ouro Preto - MG - Brazil. Ed. by D.A. Rade and V. Steffen Jr.
- [8] Rill, G.; Seibert, Th.: Fahrkomfortberechnungen unter Einbeziehung der Motorschwingungen. In: Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau, VDI-Bericht 1411. Düsseldorf: VDI-Verlag 1998.

- [9] Rill, G.: A Modified Implicit Euler Algorithm for Solving Vehicle Dynamics Equation. To Appear In: Multibody System Dynamics, 2004.
- [10] Vögel, M.; von Stryk, O.; Bulirsch, R.; Wolter, T.-M.; Chucholowski, C.: An optimal control approach to real-time vehicle guidance. In: W. Jäger, H.-J. Krebs (eds.): Mathematics - Key Technology for the Future, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2003, S. 84-102.
- [11] Tesis: www.thesis.de.

A APPENDIX

A.1 MATLAB-Function for the Minimum Steering System Model

function xp=f(t,x)

```
% data
global A_SW f_SW
global Theta_SW m_RG whl_b tr_w
global i_SB i_SL
global c_TB d_TB
global pa_coeff tpa_mx H_pa
global c_bo d_bo tbo_mx
% vars
global dbi d1 d2
global fsg fpa
global tbo1 tbo2 tss
% states
dsw = x(1);    % steering wheel angle
dswp= x(2);   % steering wheel angular velocity
ur  = x(3);    % tie rod displacement
urp = x(4);   % tie rod velocity
ga1 = x(5);   % left tyre rotational deflection
ga2 = x(6);   % right tyre rotational deflection
tpa = x(7);   % dynamic power assist torque

% steering torque input
tsi = A_SW*sin(2*pi*f_SW*t);

% steering gear input angle and time derivative
dbi = i_SB*ur;    dbip= i_SB*urp;

% kinematics of steering linkage (approximation)

% steering gear input angle and time derivative
dbi = i_SB*ur;    dbip= i_SB*urp;

% steering motion of wheels
dm  = i_SL*ur;
h   = tr_w / (2*whl_b);  h1 = ( 1 - h*dm );  h2 = ( 1 + h*dm );
d1  = dm / h1;          d2  = dm / h2;
is1 = i_SL / h1^2;      is2 = i_SL / h2^2;
d1p = is1*urp;          d2p = is2*urp;
```

```

% torque in steering shaft (no overriding gear)
tss = c_TB*(dsw-dbi) + d_TB*(dswp-dbip);

% TMeasy tyre model (bore torque only)

% assume adhesion
ga1p = -d1p; ga2p = -d2p;
% resulting torque
tbo1 = c_bo*ga1 + d_bo*ga1p; tbo2 = c_bo*ga2 + d_bo*ga2p;

% check for sliding condition
if abs(tbo1) > tbo_mx, ga1p = ( sign(tbo1)*tbo_mx - c_bo*ga1 ) / d_bo; end
if abs(tbo2) > tbo_mx, ga2p = ( sign(tbo2)*tbo_mx - c_bo*ga2 ) / d_bo; end

% power assistance
tpast = pa_coeff * (c_TB*(dsw-dbi))^3 ; % static boost curve (polynomial approx.)
if abs(tpast) > tpa_mx, tpast = sign(tpast)*tpa_mx; end % limitation
tpap = ( tpast - tpa ) / H_pa ; % first order dynamics

% equations of motion (no friction)
fsg = i_SB*tss; fpa = i_SB*tpa; % steering forces
dswpp = ( tsi - tss ) / Theta_SW ; % steering wheel
urpp = ( fsg+fpa + is1*tbo1 + is2*tbo2 ) / m_RG ; % tie rod

% derivatives
xp = [ dswp; dswpp; urp; urpp; ga1p; ga2p; tpap ];

```

A.2 Typical Data for the Minimum Steering System Model

```

Theta_SW = 0.08; % inertia of steering wheel
m_RG = 2.5; % generalized mass of rack
whl_b = 2.7; % wheel_base
tr_w = 1.5; % track_width
i_SB = 100; % ratio steering wheel angle / rack displacement
i_SL = 10; % ratio wheel steering angle / rack displacement
c_TB = 250; % stiffness of torsion bar
d_TB = 5; % damping of torsion bar
pa_coeff = 0.235; % coefficient for power assistance
tpa_mx = 50; % maximum power assistance torque
c_bo = 1200; % rot. tyre stiffness
d_bo = 90; % rot. tyre damping
tbo_mx = 220; % maximum bore torque
H_pa = 0.05; % time constant for power assistance

```

UNI-Stadt Regensburg

Wir bauen für Sie **Studenten-Appartements** in Spitzen-Lage:

Denn **MIETEN** sind **HOCH**, **ZINSEN** noch **NIEDRIG!**

Hier lohnt sich Ihre **Immobilien-Investition!**



700 m zum Dom, 700 m zur Uni, 500 m zur FH
Studenten-Appartements von 19 bis 38 m²



Die Gelegenheit!
Begehrtes Wohneigentum in Regensburg -
die sinnvolle, inflationsgeschützte Investition!

**UNI-PARK
REGENSBURG
UNIVERSITÄTSSTR.**

z.B.: Wohnung Nr. 02, ca. 19 m², inkl. Einbauküche, nur EUR 58.000,-

Viele zufriedene Kunden
sind von dem guten Konzept begeistert!

Der 2. & letzte Bauabschnitt:

Nach dem schnellen Abverkauf des BA1, nun die letzte Gelegenheit!

LAMBERT



PROJEKT
BAU GmbH

Bischof-von-Henle Str. 2b
93051 Regensburg

rufen Sie an:

Tel.: 0941/ 942 65-55

www.uni-park-regensburg.de



Akademie

Mehr Sicherheit.
Mehr Wert.

www.tuev-sued.de/akademie

Qualifikation

Investieren Sie in Ihre persönliche Entwicklung. Mit einer studienbegleitenden Zusatzqualifikation wachsen Ihre Karrierechancen.

- **Qualitätsmanagement**
 - QM-Fachkraft QMF-TÜV
 - QM-Beauftragter QMB-TÜV
 - Q-Manager QM-TÜV
 - QM-Auditor QMA-TÜV
- **Umweltmanagement**
 - UM-Fachkraft UMF-TÜV
 - UM-Beauftragter UMB-TÜV
 - UM-Auditor UMA-TÜV

■ TQM-Coach

Das Modell für Excellence der E.F.Q.M. umsetzen.

Wir helfen Ihnen mit 15% Studentenermäßigung!

Fordern Sie unser aktuelles Programm an.

TÜV SÜD Akademie GmbH, Im Gewerbepark B65, 93059 Regensburg
Tel. 0941 46406-0, Fax 0941 46406-20, akd.regensburg@tuev-sued.de

Wissen von Anfang an

Gerne stellen wir Ihnen Infomaterialien und technische Dokumentationen zu Pneumatik, Montage- und Transfertechnik für Ihre Studienunterlagen zur Verfügung!



Gehmeyr
Technischer Vertrieb

Systeme in Pneumatik, Montage- und Transfertechnik

Gehmeyr GmbH & Co. KG
Technischer Vertrieb
Auerbacher Straße 2
D-93057 Regensburg

Tel. 0941-69681-0
Fax 0941-69681-49
E-Mail: info@gehmeyr.de
Internet: www.gehmeyr.de



Forschen heißt, Neuland zu betreten...



Justiz
Justizzentrum Schweinfurt
JVA Stralsund
JVA Tonna



Verwaltung
Audi Ingolstadt
Sparkasse Regensburg
Hypo-Vereinsbank Regensburg

...Innovation im Hochbau



Hochschulen, Labors
FH Amberg
Uni Bayreuth
TU Dresden



Industrie
Siemens Regensburg
BMW Regensburg, Dingolfing
Audi Ingolstadt, Győr



DÖMGES ARCHITEKTEN AG
Architektur und Stadtplanung

Boelckestraße 38 D-93051 Regensburg
Telefon +49-(0) 941-99 206-0
Telefax +49-(0) 941-99 206-66

info@doemges.ag
www.doemges.ag

THE SINGLE WAFER ADVANTAGE™



- **Technologieführer in der nasschemischen Reinigung von Wafern**
- **Partner aller führenden weltweiten Mikrochipproduzenten**
- **Mehr als zwei Drittel aller weltweit produzierten Mikrochips wird mit SEZ-Anlagen gefertigt**
- **Globales Top-20 Ranking der Halbleiterequipment-Hersteller**
- **Österreichisches Top-3 Ranking als attraktiver Arbeitgeber**

Für weitere Informationen besuchen Sie unsere Homepage www.sez.com

WET CHEMICAL PRODUCTION OF SPHERIC MICRO LENSES IN BORONFLOATGLASS BY MEANS OF A DOUBLE METALLIC MASK

ABSTRACT

The wet chemical production of spheric micro lenses in boronfloatglass substrates with aspect ratios of 1:16 and diameters of 270 μm are possible by means of a special double metallic mask technology. The mask consist of 3 layers, a thin 100 nm aluminium layer, a 1.5 μm chrome layer and a resist layer with a thickness of 2.6 μm . The used etching mixture consists of fluoric und phosphoric acid. The aluminium layer and the boronfloatglass will be simultaneously etched by the fluoric acid and lenses will be formed in the glass substrate. The form and surface quality of the lenses is dependent on the volume part of phosphoric acid (H_3PO_4) in the acid mixture. The aspect ratio of the lenses is moreover dependent on the mask diameter before the etch process begins and becomes bigger with smaller diameters.

1 INTRODUCTION

The production of glass micro lenses is nowadays limited on methods like thermomodeling. Wet chemical methods are cheaper and faster, because a production in a large scale is possible. The big problem of wet chemical methods is the isotropic (in each direction) etching of the glass substrate. The isotropic etching can be changed into a pseudo anisotropic etching by various factors like acid mixture and glass composition [1].

Another problem represents the mask and its properties [2]. Investigations in underetching of mask structures [3] in combination with a special metallic layer succession allow new possibilities to create structures.

In this work we report about the production of spheric micro lenses in boronfloatglas. The new idea built on a functional mask system which is underetched by an acid mixture. Therefore a mask based on a special layer succession and an acid mixture was developed which makes it possible to adjust the lens parameters and surface conditions. The mask consists of aluminium, chrome and resist. The acid mixture is a combination of fluoric (HF) and phosphoric acid (H_3PO_4).

2 EXPERIMENTAL SECTION

2.1 Sample preparation

The sample and layer sequence which was used to form micro lenses in boronfloatglass (BF-glass) is shown in Figure 1. The mask system consists of aluminium, chrome and a resist layer. The used borofloatglas[®]33 wafer from schott had a

composition of 81 wt% SiO_2 , 13 wt% B_2O_3 , 4 wt% Na_2O and 2 wt% Al_2O_3 . The metal layers were generated by a Leybold magnetron sputter engine UNIVEX 450. Aluminium and chrome was sputtered in DC mode with argon at a chamber pressure of 3.4E-3 mbar. For the 100 nm aluminium layer we sputtered 450 seconds at a power of 250 W. The 1.5 μm chrome layer needs 6000 seconds at a power of 300 W.

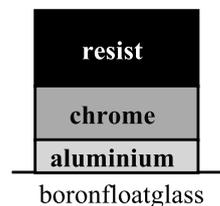


Figure 1: Layer sequence of the mask system on boronfloatglas.

To structure the metallic layers a standard photolithography process with the positive resist Tl35ES was used [4]. We worked with a resist height of 2.6 μm . The resist was developed by AZ400K. The chrome layer was wet chemical etched by a solution of 60

g $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ with 160 ml HClO_4 (70%) in 360 ml $\text{DI-H}_2\text{O}$ at 20 °C. Aluminium was etched by a mixture of 20 ml H_3PO_4 (85%) and 1 ml HNO_3 (65%) at 20 °C. This etching process allows the transfer of 10 μm mask structures on the glass surface. In our experiments we used on the one hand line masks with a width of 398 μm for cylindrical lenses and on the other hand circle masks with diameters of 300, 200, 100 and 50 μm for spheric lenses.

2.2 Sample etching

After dividing the wafer in pieces of 2 x 2 cm the samples come in a beaker out of HF resistant polymer. All samples were etched under equal frame conditions. In table 1 are the various mixtures for cylindrical lenses out of HF and H_3PO_4 shown. For the spheric lenses we took only the composition of $2_{\text{HF}} : 4_{\text{H}_3\text{PO}_4} : 4_{\text{DIH}_2\text{O}}$. The used HF and H_3PO_4 had concentrations of 48 % and 85 %. The etching temperature was in each case 21 °C \pm 0.5 °C. Aluminium and BF-glass will be etched simultaneously by the acid mixture. The chrome and the resist layer prevent the etching of the aluminium form above. The whole etching process was so long executed till

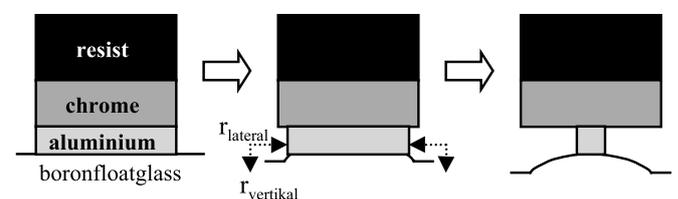


Figure 2: Underetching model to form micro lenses in boronfloatglas

¹ Section Microsystemtechnology, University of Applied Science Regensburg

the mask structure is completely underetched and lifts off. So the etching time is dependent on the acid mixture composition. An underetching model is shown in Figure 2.

2.3 Measurements and visualisation

All etched samples were cleaned for 5 minutes in a super-sonic DI-H₂O bath. The lens profiles and height were measured by means of a profilometer Alphastep from Ten-cor Instruments. The measurement principle based on a thin needle that drives over the surface and registers the height difference.

After the profile measurements the lenses were visualised in a scanning electron microscope (SEM). Therefore each sample was sputtered with a gold layer of a few nm to avoid charge effects on the glass surface. For a better optical visualisation the SEM images in chapter 3 were taken under an angel of 60 degrees to the sample surface.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The first experiments with the line structures show us the dependence on the phosphoric acid part in solution. With rise of the H₃PO₄ part the lens structure height increases like in table 1 is shown. But also with increasing H₃PO₄ the lens form transfer into flat flanks with a peak in the middle where the etching flanks meet. Because of this reasons we used the mixture 2_{HF} : 4_{H₃PO₄} : 4_{DI-H₂O} for the experiments with spheric lenses. In Figure 3 is an etched cylindrical lens structure on a fractured surface for the composition 2_{HF} : 4_{H₃PO₄} : 4_{DI-H₂O} shown. The lens height is 45 µm by a width of 380 µm. It can be seen that the lens width is smaller than the mask width of 398 µm. This is an effect of the lateral etching.

HF 48%	H ₃ PO ₄ 85%	DI- H ₂ O	r _{vertikal} [µm/min]	r _{lateral} [µm/min]	height of structure [µm]
2	1	7	0,36	5,4	13,5
2	2	6	0,48	5,8	16,2
2	3	5	0,58	4,9	23,8
2	4	4	0,75	3,3	45,0
2	5	3	0,80	2,5	≈ 63

Table 1: Various mixtures to underetch a line mask with 398 µm width on a BF-glass substrate.

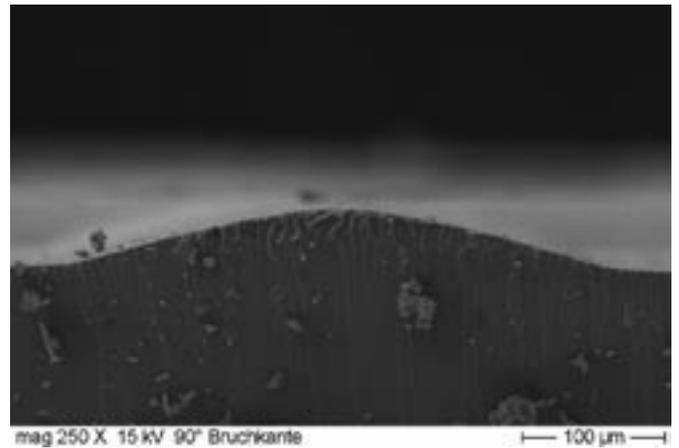


Figure 3: Fractured surface of a cylindrical lens etched with 2_{HF} : 4_{H₃PO₄} : 4_{DI}.

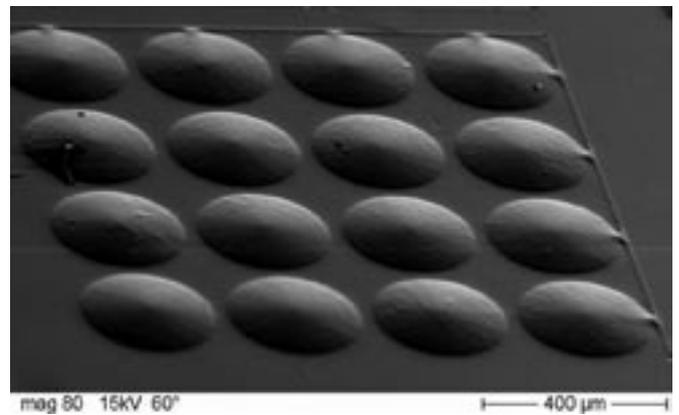


Figure 4: Array of lenses with a diameter of 270 µm and a height of 17 µm (Aspect ratio 1:16). The circle mask diameter was 300 µm.

The knowledge about underetching a line mask was now transferred to circle mask structures. In Figure 4 and 5 are shown the etched lenses with a circle mask diameter of 300 and 100 µm.

As by the cylindrical lenses (Figure 3) is after the etching process the spheric lens diameter smaller than the circle mask diameter. The difference between lens and mask is dependent on the circle mask diameter. The dependence is linear and shown in Figure 6. Out of this result we can calculate the spheric lens diameter with a simple formula 1.

$$\varnothing_{\text{lens}} = 0,9 \varnothing_{\text{mask}} \tag{1}$$

A further interesting realisation is the fact that the aspect ratios of the lenses are dependent on the circle mask diameter. In

Prof. Dr. Alfred Lechner
 Tel.: 0941 943-1271
 Fax 0941 943-1252
 alfred.lechner@mikro.fh-regensburg.de

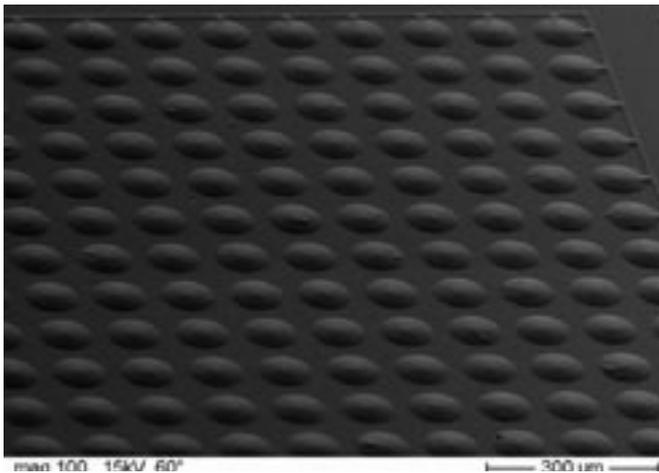


Figure 5: Array of lenses with a diameter of 90 µm and a height of 3µm (Aspect ratio 1:30). The circle mask diameter was 100 µm.

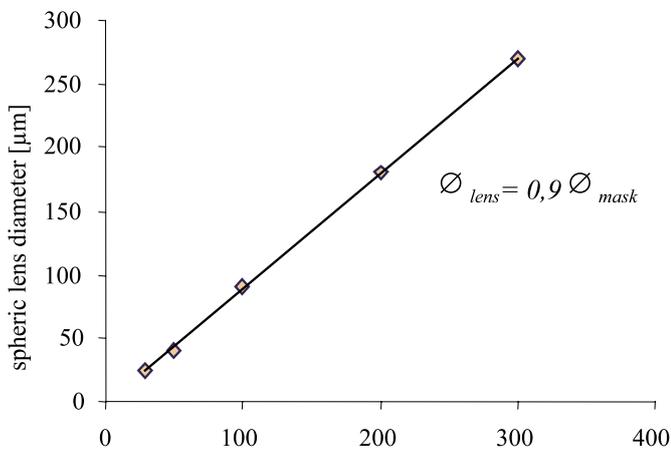


Figure 6: Dependence of circle mask and spheric lens diameter.

figure 7 is shown the aspect ratio value to oppose mask diameter. The curve is approximately linear in the range from 300 µm to 100 µm. Mask diameters smaller than 100 µm bring out lenses with a high aspect ratio (>30). With circle mask diameters bigger than 300 µm we can theoretical reach aspect ratio smaller than 16.

4 CONCLUSION

Based on the results it is possible to produce micro lenses with wet chemical methods. There is a large space to improve the acid mixtures composition and the mask technology. There are many possibilities regarding to vary the volume

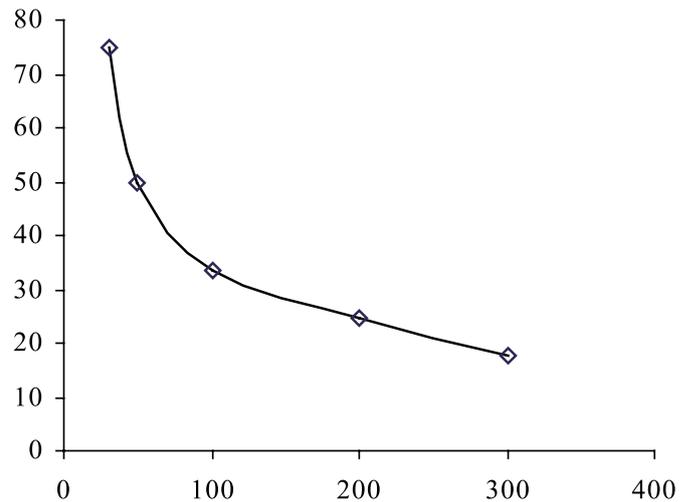


Figure 7: Dependence of circle mask diameter and aspect ratio.

part of H₃PO₄ and additives. Further not examined variables are the thickness of the aluminium layer, higher etching temperature and other acid mixtures. A problem is always the gas development when aluminium is etched by HF, because this reduces the surface quality of the lenses. So it is necessary to find additives which reduce the gas development or solve aluminium in other ways.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was made possible by the University of Applied Science Regensburg in frame of the diploma thesis "Herstellung dreidimensionaler Strukturen in Borsilikatglas mittels nasschemischer Verfahren".

REFERENCES

- [1] K. Espertshuber, diploma thesis, "Anisotropes Ätzen von Borsilikatglas", 1997.
- [2] C. Schwarzmüller, diploma thesis, "Spezielle Maskierungen zur Herstellung von Mikrostrukturen in Glas", 2005.
- [3] T. Wutscher, diploma thesis, "Wet chemical production of spheric micro lenses in glass-ceramic", 2004.
- [4] A. Sonnauer, diploma thesis, "Herstellung dreidimensionaler Strukturen in Borsilikatglas mittels nasschemischer Verfahren", 2005.

Wir gestalten

Forschungsberichte für Hochschulen.

Wir bieten Ihnen eine Partnerschaft
bei der Herausgabe eines attraktiven
und kostenlosen Forschungsberichts.

■ **Kontakt:**

WEKA info verlag gmbh

Lechstraße 2

D-86415 Mering

E-Mail: info@weka-info.de

■ WEKA engagiert sich
für junge Menschen!

Für Hochschulabsolventen
und Auszubildende mit

www.zukunftschancen.de

- Für engagierte Studenten ein wichtiges Kriterium bei der Wahl der Studieneinrichtung.
- Ein Maßstab für die Forschungsleistung und Arbeitsqualität Ihrer Hochschule.
- Ein wichtiges Kriterium bei der Vergabe von finanziellen Mitteln der öffentlichen Hand und privater Unternehmen der freien Wirtschaft bei anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung.
- Lassen Sie Ihre Forschungsberichte qualitativ gestalten:
Mit WEKA als Ihren kompetenten Partner für Print und Design.
In hoher Qualität.
Ohne Kosten.
Mit geringem Aufwand.

Mit WEKA in die Zukunft.

klug integrierte Logistiksysteme



Komplettlösungen in den Bereichen

- Lagerverwaltung
(Soft- und Hardware)
- Kommissioniersysteme
- Versandsysteme
- Staplerleitsysteme
- Visualisierung
- Automatisierung und
Steuerungstechnik



Unternehmen

- Gegründet 1995
- Derzeit ca. 135 Mitarbeiter, davon etwa 30 Ingenieure und 40 Software-Entwickler
- Umsatz 2005: 15 Mio. Euro



Informieren Sie sich bei uns

Wir bieten:

- **Praktika** in den Bereichen Elektrotechnik und Informatik sowohl im ersten als auch im zweiten Praxissemester
- **Diplomarbeiten** aus den Fachbereichen Informatik und Elektrotechnik

Es wurden bereits zahlreiche erfolgreiche Diplomarbeiten bei uns absolviert.

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbungen!

- Direkter Kontakt zu **namhaften Kunden** wie Sony, Swarovski, Knauf, Still ...
- Einsatz **neuester Technologien**
- **Entwicklung und Fehlerdiagnose** über Netzwerk direkt beim Kunden
- Entwicklung **intelligenter Steuerungssysteme** für Regalbediengeräte, Materialflissanlagen, etc.
- Effizienter Einsatz von **JAVA und C++** im Zusammenspiel mit **Web-Technologien**



Bringen Sie der Technik das LEBEN bei.



Für Visionäre:

Elektrotechnik

Nachrichtentechnik

Mikrosystemtechnik

Feinwerktechnik

Physik

Maschinenbau

Werkstoffwissenschaften

Wirtschaftsingenieurwesen

WIR MACHEN DAS LEBEN LEICHTER und stellen die Grenzen des Heute in Frage. Der Alltag wird dabei zum Ausgangspunkt unserer Ideen. Und es entstehen Halbleiter- und Systemlösungen für Automobil-, Industrieelektronik und Multimarket, für Anwendungen in der Kommunikation sowie für Speicherprodukte. Lösungen, die das ganz normale Leben entscheidend verändern. Entwickelt werden sie von mehr als 35.000 Menschen, die auf der ganzen Welt zusammenarbeiten: im Infineon-Team.

DIE FRAGE LAUTET: Welche Position passt am besten zu Ihrer Qualifikation, Ihren Interessen und Ihren Ideen für die Zukunft? Wofür Sie sich auch entscheiden – Infineon bietet Ihnen einen individuellen Weg, der Technik das Leben beizubringen.

CLEVER UND NEUGIERIG auf die High-Tech-Spitze? Unsere aktuellen Stellenangebote bei Infineon Technologies in Regensburg finden Sie unter:

www.infineon.com/careers/regensburg



Never stop thinking