

FORSCHUNGSBERICHT
DER
FACHHOCHSCHULE REGENSBURG
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
WIRTSCHAFT
SOZIALWESEN
2005

IMPRESSUM

- Herausgeber:** Der Präsident
der Fachhochschule Regensburg
Prof. Dr.-Ing. Erich Kohnhäuser
- Redaktion:** Elke Steinberger, Dipl.-Sozialpäd. (FH),
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 2005

Kontaktadressen:

Fachhochschule Regensburg
Prüfeninger Straße 58
D-93049 Regensburg
Internet: www.fh-regensburg.de

Institut für Angewandte Forschung und Wirtschaftskooperationen (IAFW)

Telefon: ++49 (09 41) 9 43 14 98
Telefax: ++49 (09 41) 9 43 14 97
E-Mail: iafw@fh-regensburg.de

ISSN 1860-8655

LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

ein neuer Bericht liegt vor Ihnen, der die Breite der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung an der FH Regensburg veranschaulicht. Fast alle Fachbereiche sind mit spannenden Beiträgen vertreten. Mit Blick auf eine interessierte Öffentlichkeit soll einerseits Information gegeben werden, andererseits wird aber auch um Dialog und Kooperation gebeten.

Zum Profil einer Fachhochschule gehört nicht nur die wissenschaftliche Präsenz in der Lehre, sondern auch die kreative Mitwirkung am Prozess des Schaffens von neuem Wissen. Trotz der durch den Gesetzgeber eng gesteckten Grenzen beschäftigen sich Kolleginnen und Kollegen intensiv mit den Grundlagen ihrer jeweiligen Lehrgebiete. Sie tragen damit zur Steigerung der Problemlösungskompetenz der Fachhochschule bei und stärken auf diese Weise den Wissens- und Technologietransfer. Die Qualität der Absolventen profitiert in hohem Maße von der praxisbezogenen Wissenschaftlichkeit der Arbeitsumgebung der FH.

Das Institut für Angewandte Forschung und Wirtschaftskooperationen (IAFW) sowie das Zentrum für Weiterbildung und Wissensmanagement (ZWW) sind Kristallisationspunkte für Begegnungen der FH mit der externen Fachwelt. Hier geschieht Transfer bilateral. Das Geben und Nehmen liegt bei allen beteiligten Partnern.

Die Hochschulleitung spricht allen, die den Prozess der Wissensvermittlung kontinuierlich und erfolgreich begleiten, großen Dank und hohe Anerkennung aus. Besonderer Dank gilt wiederum Frau Vizepräsidentin Prof. Dr. Christine Süß-Gebhard für Ihre Verdienste um die Erstellung dieses Forschungsberichtes.

Mit bestem Dank für Ihr Interesse

Ihr



Prof. Dr.-Ing. Erich Kohnhäuser
Präsident

BAUINGENIEURWESEN

Stormwater Management in Glasgow 8
O. Birchinger, Dr. Mikail Scholz, Prof. Dr.-Ing. Dimitrios Diamantidis

Risk acceptance criteria for existing structures in seismic regions 16
Prof. Dr.-Ing. Dimitrios Diamantidis, Dr.-Ing., Ph.D. Paolo Bazzurro

Herleitung und Verifizierung eines konsistenten Modells für Fußgängerlasten und seine Anwendung in der Praxis 22
Dr.-Ing. Christian Seiler, Dipl.-Ing. (FH) Susanne Hüttner

aFuE – Projekt: Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Stabilisierungssäulen als Baugrundverbessernde Maßnahme 40
Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart

BETRIEBSWIRTSCHAFT

Rechtliche Fragen bei Business-to-Business (B2B)-Geschäften 44
Prof. Dr. Gabriela v. Wallenberg

ELEKTRO- UND INFORMATIONSTECHNIK

Abschluss des Projekts HASASEM 46
Timur Uludag, Dipl.-Ing. (FH) Olaf Zappa, Michael Schumm, Dr. Stefan Egersdörfer, Prof. Dr. Gareth Monkman

Ein tragbares invivo L-Band EPR-Spektrometer für die Unfalldosimetrie 50
Dr. Stefan Egersdörfer, Andreas Zeidler, Dr. Albrecht Wieser, Prof. Dr. Gareth Monkman.

Das ROSA-Projekt: Ein von der Europäischen Union gefördertes Forschungsprojekt zum Thema:
 "Ultrafast All-Optical Signal Processing in Engineered Quadratic Nonlinear Waveguides" 54
Prof. Dr.-Ing. Roland Schiek

MASCHINENBAU

Sonden-Traversiervorrichtung für Messungen im Windkanal 69
Horst Arzberger, Robert Dinaver, Peter Kraus, Prof. Dr. H. Harald Melzer

Entnahmevorrichtung für Speiseeis 72
Michael Schöwel, Prof. Dr.-Ing. Harald Melzer

Stehvorrichtung für Patienten mit Spitzfuß 82
Natalie Abramow, Heidi Bartlspenger, Katrin Stritzke, Prof. Dr.-Ing. Harald Melzer

Trennung von Lösungen mit Membranverfahren 86
Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Reichmann, Dipl. Ing. (FH) Alexander Albrecht

MIKROSYSTEMTECHNIK

Design of a new Argus, for intensity measurements in megasonic banks	96
<i>Prof. Dr. Alfred Lechner, Dipl.-Ing. Tobias Blineder</i>	
Wet Chemical Production of Spheric Micro Lenses in Glass-Ceramic	102
<i>Prof. Dr. Alfred Lechner, Dipl.-Ing. Thorsten Wutscher, Dipl.-Ing. Stefan Detterbeck, Dr. Gerald Wagner</i>	

SOZIALWESEN

Wie Eltern den begleiteten Umgang bewerten – Eine katamnestische Befragung an Erziehungsberatungsstellen	106
<i>Prof. Dr. Wolfgang Buchholz-Graf und Dipl.-Psych. Claudius Verghe</i>	
Berufseinstieg, Beschäftigungssituation und Weiterbildung von Sozialpädagogen – Eine Befragung von Absolventinnen und Absolventen des Fachbereichs Sozialwesen	118
<i>Prof. Dr. Josef Eckstein</i>	

ELEKTRO- UND INFORMATIONSTECHNIK / MIKROSYSTEMTECHNIK / INFORMATIK / MATHEMATIK

A Novel Multisensoric Smart Pen Assessing Biometric and Neuromotoric Features of Human Hand Movements	125
• Biometric Smart Pen "BiSP" for Biometric Person Authentication	
• Medical and Diagnostic Smart Pen MeDiPen for diagnostic and therapy in health care	
<i>Prof. Dr. Christian Hook, Prof. Dr. Jürgen Kempf, Prof. Georg Scharfenberg</i>	

STORMWATER MANAGEMENT IN GLASGOW

1 PREFACE

The herein presented work has been carried out at the University of Edinburgh and is part of a diploma thesis presented at the University of Applied Sciences in Regensburg in the framework of the cooperation between the aforementioned institutions.

Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) play an important role in reduction and control of flooding and pollution originated from stormwater runoff in highly urbanised areas. The aim of the 'Stormwater Management Project in Glasgow' was to develop a spreadsheet model that evaluates data of sites representing a possible area for an implementation of SUDS. 50 sites within the boundary of Glasgow were identified for a further detailed investigation. By stating different conditions necessary for the specific SUDS methods and comparing the information of all sites with these requirements, an output of different SUDS options practicable on the individual sites was gained. Considering a weighting system, which graduates the importance of the respective settings, as well as an engineering judgement on site, which covers facts not able to be expressed as a condition, the spreadsheet model is programmed to offer the opportunity of a more detailed result classification.

2 INTRODUCTION

In the 21st century, the fast growing demands of development areas for housing, commerce and industry makes it necessary to create and turn out these regions. To make a closed city, unused places, such as closed down buildings and factories as well as wasteland within the border have to be redeveloped. As learned from the past, thoughtless planning can cause many problems concerning flooding especially in cities which are susceptible to that problem. Great Britain's cities had to deal with this problem in 1999.

Engineers and designers must provide an adequate drainage system for every new urbanized site that does not support flooding or pollution. Conventional systems cannot easily control poor runoff quality and may contribute to the problem. The roof, road, car park and yard runoff must be held back and filtered so that the relief of the sewer or the watercourse is guaranteed.

Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) represent an advanced solution of the conventional drainage structure. This new system includes different types of urban drainage that use the capacity of undeveloped ground to infiltrate, store or attenuate the flow of large quantities of surface in a local way. Compared with the original system, which only prevents flooding locally by conveying the water as quickly as possible, it is a good way to improve the

quality of the runoff at source as well as the amenity value of surface water in the urban environment.

The advantages of SUDS compared to the conventional systems are:

- Implementation of an assessable runoff, reducing flooding caused by urbanisation
- Protection of the water quality
- Treatment of polluted water locally, harmonized on the local requirements
- Saving the habitat for wildlife in urban watercourses
- Regeneration of natural groundwater, where appropriated

In summary it can be concluded that SUDS uses the natural process of sedimentation, filtration and adsorption as well as biological degradation to keep up the self-cleaning water cycle in a natural, self-sustaining and local way.

SUDS IN GLASGOW

The EU's Water Framework Directive (Council of European Communities, 2000), which came into force in October 2000, requires all inland and coastal waters to reach 'good status' by 2015. The Directive sets a framework that should provide substantial benefits for the long-term water quality management of waters. The implementation of sustainable urban drainage systems (SUDS) based on current guidelines (CIRIA, 2000; Jefferies et al., 1999; McKissok et al, 1999) in Glasgow can help preventing flooding from watercourses and sewer systems, and combined sewer overflows to spill untreated sewage into receiving watercourses such as rivers and canals during storms (DEFRA, 2000; Scholz, 2004). Furthermore, SUDS can help to reduce the impact of diffuse pollution on urban watercourses by promoting passive treatment (D'Arcy and Frost, 2001).

'The Glasgow SUDS Management Project' shows how this drainage method can contribute to the overall catchment dynamics of Glasgow, ultimately relieving stress on the current predominantly combined sewer system.

The history of most sites selected for this study and the creation of its present situation parallels the growth and decline of Glasgow as an industrial city. The greatest impact of Glasgow's de-industrialisation has been felt in those communities where the infrastructure and processes of the industrial period declined. The selected areas are the focus of development, recreation regeneration and retrofitting efforts aimed at resolving the interlinked social, economic and environmental deficiencies of this former industrial city.

To make a statement about the most fitting and efficient sustainable urban drainage system for each site the following information is necessary:

- General SUDS acceptability
- Fragmentation of ownership
- Land costs
- Size and possible SUDS area
- Average slope
- Percentage of impermeable surface
- Runoff type and quantity
- Possibility of drainage to a nearby watercourse
- Soil condition (groundwater, infiltration, contamination)
- Ecological impact
- Future use (development, recreational, regeneration, retrofitting)

A realizable outcome can be gained by comparing these data with certain conditions that are necessary for the implementation of each SUDS technique. These requirements have to be likely based on facts and logical assumptions.

Because it is very difficult to describe all facts of a site in a subjective way, an engineering judgement about the feasible SUDS techniques is profitable. This objective decision on the site also contributes to an economical and environmental and therefore efficient result.

3 AIMS AND OBJECTIVES

The feasibility to implement different SUDS methods throughout Glasgow and their potential contribution to the overall catchment dynamics has been studied. Therefore, 50 sites have been selected to examine the conditions for suitable SUDS possibilities gaining a reduction of the stormwater problem of the city.

This project aims to come up with a spreadsheet model processing the local reality and finally graduating all SUDS options for each site in detail.

The objectives are to

- Identify variables that determine the suitability of a site for the implementation of SUDS;
- Create a data base that covers all essential information of a site including an engineering judgement about the possible implementation of SUDS;
- Graduate the importance of the requirements for the diverse SUDS technologies by developing a weighting system;
- Program formulas to get a detailed output of all potential SUDS options for every site;
- Classify qualitatively and quantitatively all sites suitable for different SUDS possibilities;

4 RESULTS AND DISCUSSION

4.1 SUDS Technique Condition

Certain conditions for the implementation of each SUDS technique as a stand-alone feature have been set up to get a result about the best fitting possibility by comparing all these requirements with the information of each site. Table 1 shows all applicable SUDS techniques and the corresponding conditions that have to be satisfied totally to guarantee the optimum suitability.

4.2 Data Base – Summary

Based on the site forms, which have been created for each of the 50 sites, the data were transferred into the spreadsheet model to gain a clearly arranged result including all sites. Furthermore, this offered the opportunity to compare and analyze the whole information, which is summarized shown in Table 2.

4.3 Weightings of Conditions

To graduate the importance of the different conditions of each SUDS method, a weighting system was created by distributing factors from 0 to 3 according to their relevance. Table 3 represents the chosen weighting factors leading to a maximum sum for every possibility. The spreadsheet model is programmed to compare the respective conditions for every SUDS possibility out of the classification sheet (Table 1) with the information of each site. All requirements are checked to get either the value shown in Table 3 by fulfilling the condition or 0 in the case of failing. If the site meets all requirements for a SUDS method, the maximum sum is reached.

Because of the weighting system, it is possible to gain a more detailed output by comparing the actual result of each possibility with the maximum sum.

4.4 Detailed Output

Assuming that the maximum sum for each SUDS possibility out of the weighting system represents 100% the actual sum for each possibility and site has to be related to this maximum. The respective percentage must be compared with the division of the percentage-key. If less than or equal 60% of the maximum sum is reached by a site the respective SUDS technique is not possible and thrown out as “-” by the spreadsheet model. More than 60% up to 75% represents a satisfying result shown as a “+”. A good implementation is gained if the actual sum lies between 75% and 95% of the maximum sum and more than 95% stand for an optimum solution. This distribution leads to a most advantageous outcome for the Glasgow Stormwater Management Project but can be changed individually.

Table 4 shows this detailed output of the spreadsheet model.

	Runoff	Catchment size [m ²]	Area of suitability for SUDS feature [m ²]	Serious contamination	Land value ^a	Ownership fragmented	High ground-water level
Wetland	High	>50000	>5000	No	<2	No	N/A
Attenuation/ Detention Pond	High	>15000	>50	No	<3	N/A	N/A
Lined Attenuation/ Detention Pond	High	>15000	>50	N/A	<3	N/A	N/A
Infiltration Basin/ Pond	High	>15000	>100	No	<3	N/A	No
Swale	High	N/A	>200	No	<3	No	No
Shallow Swale	Low	N/A	>200	No	<3	No	N/A
Filter Strip	High	>25000	>500	No	<3	No	No
Soakaway	Low	>2500	>100	No	<3	N/A	No
Infiltration Trench	Low	>2500	>50	No	<3	No	No
Permeable Pavement	Low	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Underground Storage	High	>5000	>50	N/A	N/A	N/A	N/A
Water Playground	Low	>250	>10	No	N/A	N/A	N/A
	Sufficient Slope	Potential of high ecological impact	Soil Infiltration	Slope [x in 100m]	Impermeable Area [%]	Drainage to water-course	
Wetland	N/A	Yes	N/A	<15	<10	Yes	
Attenuation/ Detention Pond	N/A	N/A	N/A	<20	<50	N/A	
Lined Attenuation/ Detention Pond	N/A	N/A	N/A	<20	<50	N/A	
Infiltration Basin/ Pond	N/A	N/A	High	<20	<40	N/A	
Swale	Yes	N/A	N/A	<10	<50	Yes	
Shallow Swale	Yes	N/A	N/A	<15	<50	N/A	
Filter Strip	Yes	N/A	N/A	<30	<50	N/A	
Soakaway	N/A	N/A	High	<25	<80	N/A	
Infiltration Trench	Yes	N/A	High	<15	<50	N/A	
Permeable Pavement	N/A	N/A	N/A	<40	>10	N/A	
Underground Storage	N/A	N/A	N/A	<15	>40	Yes	
Water Playground	N/A	N/A	N/A	<50	N/A	N/A	

^a Land value: 1 = low (<£100/m²), 2 = medium (≥£100/m² and =£200/m²), 3 = high (>£200/m²);

N/A=not applicable.

Table 1: SUDS technique conditions

Number of sites	50 100%									
SUDS acceptable	Yes:	98%	No:	2%						
Ownership	Council:	62%	Private:	28%	Council/Private: 10%					
Land cost ^a	High:	18%	Medium:	54%	Low:	28%				
Size [m ²]	=50,000:	30%	50,000<x=100,000:	26%	100,000<x=200,000:	26%	200,000<x=300,000:	6%	>300,000:	12%
Possible SUDS area [%]	=20:	2%	20<x=40:	8%	40<x=60:	8%	60<x=80:	18%	>80:	64%
Impermeable surface [%]	=20:	54%	20<x=40:	16%	40<x=60:	8%	60<x=80:	12%	>80:	10%
Slope [x in 100m]	=1:	12%	1<x=5:	56%	5<x=10:	12%	10<x=20:	14%	>20:	6%
Roads ^b	M:	10%	A:	38%	B:	28%	C:	100%		
Runoff quantity	High:	78%		Low:	22%					
Roof runoff [%]	0:	6%	0<x=50:	68%	>50:	26%				
Road runoff [%]	0:	4%	0<x=50:	50%	>50:	46%				
Car park runoff [%]	0:	62%	0<x=50:	30%	>50:	8%				
Drainage to watercourse	Yes:	50%		No:	50%					
Ground water	High:	32%	Low:	68%						
Soil infiltration	High:	68%	Low:	32%						
Contamination	Yes:	6%		No:	94%					
Ecological impact	Yes:	32%		No:	68%					
Future use	Development:	36%	Recreational:	16%	Regeneration:	42%	Retrofitting:	6%		

^a Land cost: High =>£200/m²; Medium = =£100/m² and =£200/m²; Low = <£100/m²

^b Roads: M = motorway; A = dual carriageway; B = primary road; C = secondary road

Table 2: Data base summary

	Runoff	Catchment size	Area of suitability for SUDS feature	Serious contamination	Land value	Ownership fragmented	High groundwater level
Wetland	3	2	2	2	3	3	0
Attenuation/ Detention Pond	3	1	2	2	2	0	0
Lined Attenuation/ Detention Pond	3	1	2	0	2	0	0
Infiltration Basin/ Pond	3	2	2	3	2	0	3
Swale	2	0	1	3	1	3	2
Shallow Swale	1	0	1	2	1	2	0
Filter Strip	2	2	1	3	1	1	3
Soakaway	1	2	2	2	2	0	3
Infiltration Trench	2	1	1	3	1	2	2
Permeable Pavement	1	0	0	0	0	0	0
Underground Storage	2	1	2	0	0	0	0
Water Playground	1	1	1	3	0	0	0

	Sufficient Slope	Potential of high ecological impact	Soil Infiltration	Slope	Impermeable Area	Drainage to water-course	SUM
Wetland	0	2	0	1	0	2	20
Attenuation/ Detention Pond	0	0	0	1	1	0	12
Lined Attenuation/ Detention Pond	0	0	0	1	1	0	10
Infiltration Basin/ Pond	0	0	3	1	1	0	20
Swale	2	0	0	2	2	2	20
Shallow Swale	3	0	0	2	1	0	13
Filter Strip	2	0	0	2	3	0	20
Soakaway	0	0	3	1	2	0	18
Infiltration Trench	2	0	3	2	1	0	20
Permeable Pavement	0	0	0	3	2	0	6
Underground Storage	0	0	0	2	2	2	11
Water Playground	0	0	0	2	0	0	8

0 = not applicable, 1 = less important, 2 = important, 3 = very important

Table 3: Weightings of conditions

	-	+	++	+++
Wetland	32%	44%	22%	2%
Attenuation/ Detention Pond	10%	24%	30%	36%
Lined Attenuation/ Detention Pond	14%	18%	32%	36%
Infiltration Basin/ Pond	10%	32%	42%	16%
Swale	6% (6% ^a)	30% (26% ^a)	62% (50% ^a)	2% (18% ^a)
Shallow Swale	4% (4% ^a)	24% (20% ^a)	62% (40% ^a)	10% (36% ^a)
Filter Strip	6%	24%	54%	16%
Soakaway	8%	32%	52%	8%
Infiltration Trench	14% (8% ^a)	40% (44% ^a)	40% (32% ^a)	6% (16% ^a)
Permeable Pavement	20%	12%	58%	10%
Underground Storage	16%	36%	40%	8%
Water Playground	6%	2%	72%	20%

- = not possible, + = satisfying, ++ = good, +++ = optimum solution
^a as part of a network

Table 4: Detailed output

	-	x
Wetland	70%	30%
Attenuation/ Detention Pond	56%	44%
Lined Attenuation/ Detention Pond	56%	44%
Infiltration Basin/ Pond	48%	52%
Swale	66%	34%
Shallow Swale	32%	68%
Filter Strip	70%	30%
Soakaway	58%	42%
Infiltration Trench	50%	50%
Permeable Pavement	28%	72%
Underground Storage	62%	38%
Water Playground	38%	62%

- = not selected; x = selected

Table 5: SUDS engineering judgement (on site)

	-	+	++	+++
Wetland	40%	44%	14%	2%
Attenuation/ Detention Pond	20%	26%	34%	20%
Lined Attenuation/ Detention Pond	18%	26%	36%	20%
Infiltration Basin/ Pond	16%	32%	42%	10%
Swale	10% (10% ^a)	48% (40% ^a)	38% (42% ^a)	4% (8% ^a)
Shallow Swale	16% (14% ^a)	28% (30% ^a)	48% (30% ^a)	8% (26% ^a)
Filter Strip	6%	50%	38%	6%
Soakaway	28%	12%	46%	14%
Infiltration Trench	12% (8% ^a)	46% (34% ^a)	34% (46% ^a)	8% (12% ^a)
Permeable Pavement	24%	14%	56%	6%
Underground Storage	48%	20%	24%	8%
Water Playground	6%	34%	48%	12%

- = not possible, + = satisfying, ++ = good, +++ = optimum solution
^a as part of a network

Table 6: Detailed output including engineering judgement

	-	+	++	+++
Wetland	+8%	±0%	-8%	±0%
Attenuation/ Detention Pond	+10%	+2%	+4%	-16%
Lined Attenuation/ Detention Pond	+4%	+8%	+4%	-16%
Infiltration Basin/ Pond	+6%	±0%	±0%	-6%
Swale	+4% (+4% ^a)	+18% (+14% ^a)	-24% (-8% ^a)	+2% (-10% ^a)
Shallow Swale	+12% (+10% ^a)	+4% (+10% ^a)	-14% (-10% ^a)	-2% (-10% ^a)
Filter Strip	±0%	+26%	-16%	-10%
Soakaway	+20%	-20%	-6%	+6%
Infiltration Trench	-2% (±0% ^a)	+6% (-10% ^a)	-6% (+14% ^a)	+2% (-4% ^a)
Permeable Pavement	+4%	+2%	-2%	-4%
Underground Storage	+32%	-16%	-16%	±0%
Water Playground	±0%	+32%	-24%	-8%

Table 7:
Changes based on Table 4 related to Table 6

- = not possible, + = satisfying, ++ = good, +++ = optimum solution
^a as part of a network

4.5 SUDS Engineering Judgement (on site)

Because it is not possible to express the whole information of a site as conditions, an additional engineering judgement on the site is a helpful option to make a decision about the most suitable and economical SUDS solution.

Concerning the 50 sites in Glasgow, Table 5 shows a summary of these on-site-decisions.

Compared with a temporary output, the engineering judgement allows a more often implementation of all SUDS possibilities. The reason is that the decision on site depends mainly on the fitting of the different features into the landscape and surroundings and neglects some facts, which cannot be stated without detailed research.

4.6 Detailed Output including SUDS Engineering Judgement

This detailed output is based on the classification sheet (Table 1) the weighting system (Table 3), the percentage-key and the engineering judgement on site (Table 5). Due to the subjective on-site-decision, it is possible to choose individual weighting factors for this judgement.

For the Glasgow Stormwater Management Project, the decision on site is weighted with a factor of three. This detailed output including the SUDS engineering judgement is shown in Table 6.

4.7 Comparison of Detailed Outputs

Based on the detailed output, represented in Table 4, Table 7 shows the in- or decrease of the percentages compared with Table 6, containing the detailed results including the on-site-decision.

Attenuation/detention ponds have a maximum change of 16%. This decrease, appearing at the optimum solution is a result of an inappropriate fitting into the landscape and surrounding of some sites. This fact cannot be expressed as a condition and has to be compensated by the decision on site. Lined attenuation/detention ponds show a similar course like the unlined variant.

The decision on site has a decisive influence on the detailed output for an implementation of swales. Due to the fact, that a swale is considered as a stand-alone feature in the Glasgow project and not part of a network, the engineering judgement causes a shift from the good to the satisfying and impossible solution. Among other things, this is a result of preferring more functional SUDS methods at two third of the 50 sites.

Filter strips show a maximum change of 26%. This increase, appearing at the satisfying solution is a result of an inappropriate fitting into the landscape and surrounding of some sites.

Concerning soakaways, the output including the judgement on site leads to a shift of the results towards the impossible solution. This change is caused by a preferred implementation of other SUDS possibilities, e.g. ponds, taking up a larger catchment size, but gaining a more attractive standard of living.

The on-site-decision leads to an increase of 32% for an impossible use of underground storage. Although this method can be built on nearly every site an implementation is very expensive and for that reason just applicable to areas with high impermeable surfaces like shopping centres, retail and car parks.

Water playgrounds are suitable for most of the sites because of their low requirements. The judgement on site increases the percentage of a satisfying implementation up to 32% removing mainly from the good solution. The reason for this is an inappropriate fitting of water playgrounds into uninhabited areas.

5 CONCLUSIONS AND FURTHER STUDIES

A common vision with respect to the basic philosophy of coping with stormwater problems by means of holistically sustainable-based management rather than continuing the traditional expansion of urban drainage systems is recognizable. The 'Stormwater Management Project in Glasgow' is related to this subject by evaluating 50 selected sites concerning their practicability for these environment-friendly systems. Overall, 98% of the sites in Glasgow are representative areas suitable for at least one of the investigated SUDS techniques. A general spreadsheet model programmed as a feasibility matrix and adaptable to different cities has been outlined. By developing a weighting system, the spreadsheet model was refined and a graduation of an impossible, satisfying, good and optimum implementation was resulted. In a modified version, swales and infiltration trenches were considered as part of a network with wetlands, ponds, basins and underground storage due to a more efficient use of these features as a combination. The possible application of this model to other cities is proofed by a present project concerning Stormwater Management in Edinburgh.

6 REFERENCES

- BUTLER, D. AND DAVIS, J. W. Urban Drainage. Spon, 2000.
- BUTLER, D. AND PARKINSON, J. Towards sustainable urban drainage. *Wat. Sci. Tech.*, 1997, 35, (9), 53-63.
- CIRIA. Sustainable Urban Drainage Systems: Design Manual for Scotland and Northern Ireland. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) Report C521, Cromwell Press, 2000.
- COUNCIL OF EUROPEAN COMMUNITIES. Directive of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy (2000/60/EC). *Official Journal L327*, 22 December 2000, P. 0001-0073.
- D'ARCY, B. AND FROST, A. The role of best management practices in alleviating water quality problems associated with diffuse pollution. *The Science of the Total Environment*, 2001, 265, 359-367.
- DEFRA. Second Consultation Paper on the Implementation of the EC Water Framework Directive (2000/60/EC). Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), London, UK, 2000.
- GREEMAN, A. Glasgow Drain Brains. *New Civil Engineer*, section Water and Drainage, 20 May 2004, 31-32.
- GRIEVE, Sir, R. Inquiry Into the Housing of Glasgow. City Press of Glasgow Ltd., Glasgow, UK, 1986.
- GUO, Y. Hydrologic design of urban flood control detention ponds. *ASCE J. Hydrol. Eng.*, 2001, 6, 472-479.
- HYDER CONSULTING. Glasgow Strategic Drainage Plan - East End/Dalmarnock SUDS Solutions. Report Number NE02310/D10/1. Scottish Water, Scottish Environmental Protection Agency, Scottish Enterprise Glasgow (clients). Glasgow City Council, 2004.
- JEFFERIES, C., AITKEN, A., MCLEAN, N., MACDONALD, K. AND MCKISSOCK, G. Assessing the performance of urban BMPs in Scotland. *Wat. Sci. Technol.*, 1999, 39, (12), 123-131.
- MCKISSOCK, G., JEFFERIES, C. AND D'ARCY, B. J. An assessment of drainage best management practices in Scotland. *J. Ch. Instn. Wat. & Envir. Mangt.*, 1999, 13, 47-51.
- REED, P. Beyond the Centre. In Reed, P. (ed), *Glasgow - The Forming of the City*. Edinburgh University Press Ltd, Edinburgh, UK, pp 210-213, 1993.
- SCHOLZ M. AND ZETTEL S. Stormwater quality associated with a full silt trap discharging into urban watercourses. *The Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 2004 (in press).
- SEPA. Protecting the Quality of Our Environment - Sustainable Urban Drainage: An Introduction. Stationary Office, London, UK, 1999.
- Scottish Executive. Scottish Executive Guidance PAN 68 on Design Statements. Scottish Executive development department, 2003b.

RISK ACCEPTANCE CRITERIA FOR EXISTING STRUCTURES IN SEISMIC REGIONS

1. BACKGROUND

Seismic engineering is one of the most rapidly evolving disciplines in the civil engineering profession. Recent seismic events have focussed the attention of governmental agencies, code bodies, insurance companies, the scientific community and the public on earthquake hazards and potential losses. As a result there is a growing national and international emphasis on seismic design of new buildings and seismic retrofit of existing structures.

Especially due to the social and economic need of utilising existing structures problems involving damage assessment and safety evaluation of existing structures in seismic regions are of major concern. In fact one of the greatest challenge facing the civil engineering community is the increasing risk to mega cities of the world due to earthquakes.

The efforts to prevent and mitigate the effects of significant earthquakes is not only a scientific problem but a social economic and political one (Snieder and van Eck, 1997) in which the definition of risk acceptance criteria or target safety levels has a key role.

2. COOPERATION PROJECT

The Bavarian Californian Technology Center BaCaTeC sponsors the cooperation between Californian and Bavarian institutions with the main goal the allowing a transfer of technology between the two regions. Within that framework a collaboration between the John Blume Earthquake Engineering Center of the Stanford University and the Department of Civil Engineering of the University of Applied Sciences has been sponsored by BaCaTeC. The project objectives thereby are a) transfer of Californian experience in the field of seismic requalification of existing structures in California b) evaluation of recent developments in the field of probabilistic reassessment of existing structures in Europe and U.S.A. c) seminars for students and d) input for a module of the master course on structural requalification to be offered at the University of Applied Sciences in Regensburg.

The scope of this contribution is to summarize activities and associated results from the project cooperation especially in the aforementioned important field that pertains to the selection of risk acceptance criteria. The present document describes briefly measures of earthquake induced damage focussing on differences between Californian and European practice, discusses code developments including target safety levels that are inherent in them and states concluding remarks.

3. EARTHQUAKE DAMAGE

3.1 General

Earthquake damage can be defined in particular as building damage or in general as socio-economic damage. Several structural and economical indicators have been proposed to describe building damage. They include for example structural performance indicators such as displacement ductility, interstorey drift etc. or economic damage indicators given by the ratio between repair cost and building cost.

For performance-based design/redesign purposes the quantification of building damage is important since structures are evaluated for certain extent of structural damage that is expected when subjected to earthquake ground motions of specified severity. This level of damage is called performance level. However for the purpose of deriving general risk acceptability criteria the overall socio-economic consequences (damage) including direct losses in terms of structural, environmental and human damage as well indirect losses in terms of impact on society, business etc. shall be considered. Such damage is expressed in monetary value.

The monetary loss (direct costs in US\$) resulting from recent earthquakes in developed countries as percentage points of the gross domestic product (GDP) are shown in Table 1. Estimates of total costs, which include also indirect costs, indicate values almost double reflecting the importance of the problem (Vanzi, 2002).

Country	Earthquake	Year	Costs (billion US\$)	Costs (%GDP)
Japan	Kobe	1995	110	2.3
California, USA	Northridge	1994	20	2.4
California, USA	Loma Prieta	1989	7.1	0.9

Table 1: Earthquake damage expressed in monetary values

¹⁾ University of Applied Sciences Regensburg; ²⁾ PhD Stanford University, Air Consultants, San Francisco, California

2.2 Californian versus European experience

The assessment of seismic hazard and earthquake damage is from the methodological point of view similar in each region of the world, however when assessing the seismic risk of existing structures some interesting differences between Europe and California may be observed:

a) In California earthquake source geometry is described by well-defined fault-planes; it may be assumed that the earthquake focus occurs anywhere along the fault-line with equal probability. The focus may be understood as the center of the rupture zone. In European seismic regions such as Italy or Greece fault locations and their activity are frequently not well known; existing data are sparse that a division of a seismic region into faults or other active zones would be unreliable. Therefore seismotectonic regions with homogeneous seismicity are defined based on the available earthquake data. In both cases temporal recurrence models as a function of magnitude are used.

b) In seismic countries of Europe such as Italy, Greece, Portugal etc. no special public policy is adopted for earthquake risk mitigation for existing structures apart from partial eligibility of retrofitting costs for fiscal deduction. Earthquake insurance is moreover used by a negligible minority and so the costs for repairing the earthquake damages have been taken from state or private sector. The Californian practice is that insurance costs for property owners are a function of risk and so owners are motivated to retrofit their facilities.

c) In Europe and especially in Italy, objective damage cost evaluation is more difficult because many civil engineering works are old or ancient with historical values, and have not been designed for seismic action, and hence the assessment of their safety is subject to a high degree of uncertainty.

4. GUIDELINES REVIEW

4.1 General

Criteria for safety acceptance of existing structures in seismic regions should be based on present guidelines, standards and methodologies. The mere fact that the structure fulfils the code of its time of construction cannot be decisive. Codes have changed due to technology development, experience, etc. This does not mean that if a new code with more severe requirements compared to the old one comes into practice, old buildings should be deemed unsafe. Reductions of the requirements for existing structures might be possible due to economical reasons.

In fact many authorities set the precedent that the acceptable seismic performance objectives for existing buildings maybe somewhat lower than those for new ones. These allowances reflect a realistic recognition of the reduced cost - effectiveness of seismic retrofits versus new construction.

The reduction of requirements for existing structures in seismic regions can be however discussed in terms of a reliability based considerations such as information on the performance of the structure in past earthquakes, desired residual life time, cost-benefit ratio of safety measures, etc.

The above considerations and experience gained in recent code developments for new structures has been used to define performance criteria for existing structures. The state-of-practice in the U.S.A. and Europe are summarized next.

4.2 American state-of-practice

The most common regulatory standard is the Uniform Building Code (UBC) the regulations of which are principally based on the recommendations of the Structural Engineers Association of California (SEAOC). The UBC does not propose to eliminate structural damage in buildings from major earthquakes. Rather, its objective is to avoid structural collapse and loss of life. This objective is approached not through direct estimates of the likelihood of potential life loss but by adopting prescriptive standards that are professionally evaluated to provide a high likelihood that complying structures will not collapse partially or completely when subjected to the design ground motion.

The Federal Emergency Management Agency (FEMA, 1998) is an advanced seismic evaluation procedure for buildings in USA which grew out of earlier document NEHRP. The evaluation procedure is based on rigorous approach to determine existing structural conditions. Structures are thereby evaluated for certain extent of structural damage (performance level) that is expected when subjected to earthquake ground motions of specified intensity. Though the name performance-based engineering is new, the basic concept of developing buildings and structures that will meet expected performance levels is not. It is over 20 years state-of-practice to design structures against earthquake for two levels i.e. the operability/serviceability level and the collapse level. Respectively two different seismic hazard levels are considered the SLE (Strength Level Earthquake) and the RIE (Rare Intense Earthquake). FEMA has considered considers analogously two levels of performance.

The Structural Engineers Association of California SEAOC's Vision 2000 (SEAOC, 1999) and the National Earthquake Hazard Reduc-

tion Program (NEHRP Guidelines, see ATC, 1996) have attempted to provide more quantitative definitions of building performance levels. According to SEAOC1999 properly designed and constructed buildings should be capable of meeting a three-tiered series of performance objectives as shown in Table 2.

Performance Level NEHRP (ATC, 1996)	Performance Level Vision 2000	Short Description
Operational	Fully Functional	No significant damage to structural and non-structural components
Immediate Occupancy	Operational	No significant damage to structure; non-structural components are secure and most could function if utilities available
Collapse Prevention	Near Collapse	Substantial structural and non-structural damage; limit margin against collapse

Table 2: Performance Levels (SEAOC, 1999)

The SEAOC (1999) defines four seismic hazard levels as given in Table 3. The maximum credible earthquake has the same definition as in the NEHRP seismic provisions for new and existing buildings. A combination of seismic hazard level associated to a return period and performance level represents a specific design performance objective.

EQ -Level	Event	Annual Exceedance Probability	Return Period In years
I	Frequent	4%	25
II	Occasional	1.4%	72
III	Rare	0.125% - 0.4%	250 - 800
IV	Max Credible	0.04% - 0.125%	800 - 2500

Table 3: Seismic hazard levels (SEAOC, 1999)

However it is commented here the implementation of four hazard levels might not be necessary. The two basic aforementioned levels might be enough for the seismic performance of a normal structure.

Using the total probability theorem, the performance objective for non-collapse in the event of maximum credible earthquake ground shaking is restated as being less than a 2% chance in 50 years of earthquake-induced structural collapse (Hamburger et. al., 2003). In order to account for a requirement reduction in case of existing buildings the lower value for the return period in case of the maximum credible earthquake could be considered. This has been recommended in the Department of Energy Standard (DOE, 2002), in which it is allowed to perform the reassessment using hazard exceedance probability of twice the value specified for new design.

Finally a process for seismic evaluation of existing structures is given in ASCE (2003).

4.3 European state-of-practice

The European practice is given in the Eurocode 8 the scope of which is to provide criteria for the evaluation of the seismic performance of new and existing buildings. Thereby analysis and requalification objectives for existing structures maybe less restric-

tive than those for new structures based on appropriately modified actions due to smaller remaining lifetimes, smaller uncertainties etc.

Two performance levels are considered in the standard a) the damage limitation and b) the no collapse requirement. Target failure probabilities and consequently target performance levels should be established on the basis of the consequences of failure. Reliability differentiation is implemented by classifying structures into different importance categories. The background work with respect to the risk acceptance/target safety criteria is discussed by the Joint Committee on Structural Safety (JCSS, 1999, 2005).

5. ACCEPTANCE CRITERIA

5.1 Optimisation of Risk Acceptance Criteria

In recent years risk analysis techniques have gained increasing acceptance in many technical fields, including earthquake engineering. General consensus has been reached related to the definition of risk, but when it comes to a decision about risk acceptability controversies can be observed. Nevertheless, the problem of the acceptable level of risk can also be formulated as an economic decision problem. The optimal level of safety corresponds to the point of minimal cost. In order to solve this problem all types of los-

ses (for example in case of seismic damage) shall be considered. Thereby the evaluation of human losses has a significant impact.

The optimisation problem can be solved by using the life quality index approach. The approach is based on a social indicator, which describes the quality of life in dependence of the gross domestic product, the life expectation and the life working time. The Life Quality Index (Nathwani J.S. et.al. 1997) is a compound societal indicator, which is defined as a monotonously increasing function of two societal indicators: the gross domestic product per person per year GDP, and the life expectancy at birth. Using this Life Quality Index Criterion, the optimum acceptable implied cost of averting a fatality, ICAF, can then be deduced. It should be noticed, that the ICAF value is not the value of one life, which is beyond price. ICAF is also not the amount of a possible monetary compensation for the relatives of the victims of the occurrence. ICAF is just the monetary value, which society should be willing to invest for saving one life according to its ethical principles. Target reliability values and associated safety factors for design can be optimized on such basis (Rackwitz, 2002), depending upon type of structure and associated consequences in case of failure.

5.2 Target reliability values in standards

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

The target safety depends mainly on the consequences in case of failure as well as on the relative costs of safety measures. A safety class differentiation principle is usually applied and target reliability values for ultimate limit states are proposed in Table 4. The values in Table 4 are valid for structural components and are obtained based on calibration and cost benefit criteria as also discussed above (JCSS, 1999, 2005) and reflect the background values used in the calibration of the Eurocodes.

As mentioned above according to the American state-of-practice the performance objective for non-collapse in the event of maximum credible earthquake ground shaking is stated as being less than a 2% chance in 50 years of earthquake-induced structural collapse (e.g. system collapse) and corresponds to a target annual failure probability of 4×10^{-4} . In case of existing structures this value can be increased to 8×10^{-4} .

The values of Table 4 have been proposed for the design of new structures. For existing structures the costs of achieving a higher reliability level are usually high compared to structures under design. For that reason the target level of existing structures should be lower. A reduction of the reliability index β by 0.5 can be recommended based on several discussions among the JCSS. Such target reliability values represent performance measures and can be used for seismic requalification purposes.

6. CONCLUDING REMARKS

Risk acceptance criteria for existing structures subjected to earthquake loading have been discussed herein. The following conclusions can be drawn:

- a) The acceptable seismic performance objectives for existing structures may be somewhat lower than those for new ones.
- b) Code and guideline requirements are based on performance measures expressed as Maximum damage levels for given levels of design ground motion.
- c) Risk acceptance criteria are based on optimisation (costs versus safety improvement); a safety class differentiation is thereby considered.
- d) In order to satisfy modern risk acceptance criteria three components of seismic performance objectives are needed:
 - Seismic hazard level
 - Performance level
 - Target reliability of achieving a performance level

Relative cost of safety measure	Minor consequences of failure	Moderate consequences of failure	Large consequences of failure
Large (A)	$\beta=3.1$ ($p_F \approx 10^{-3}$)	$\beta=3.3$ ($p_F \approx 5 \times 10^{-4}$)	$\beta=3.7$ ($p_F \approx 10^{-4}$)
Normal (B)	$\beta=3.7$ ($p_F \approx 10^{-4}$)	$\beta=4.2$ ($p_F \approx 10^{-5}$)	$\beta=4.4$ ($p_F \approx 5 \times 10^{-6}$)
Small (C)	$\beta=4.2$ ($p_F \approx 10^{-5}$)	$\beta=4.4$ ($p_F \approx 5 \times 10^{-5}$)	$\beta=4.7$ ($p_F \approx 10^{-6}$)

Table 4: Target reliability indices β (and associated target failure probabilities p_F)

7. REFERENCES

ATC, 1996, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA-273 Ballot Version.

American Society of Civil Engineers (ASCE), 2003, Seismic Evaluation of Existing Buildings.

CEN, 2001, Eurocode 8,- Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures- Part 3", Brussels.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1988, FEMA 310 – Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings- A Prestandard, Washington DC, USA.

Hamburger R.O., Douglas, A.F. and C.A. Cornell, 2003, Translating Research to Practice: FEMA/SAC Performance-Based Design Procedures, Earthquake Spectra, Vol. 19, No.2.

Joint Committee on Structural Safety (JCSS), 1999, Probabilistic Assessment of Existing Structures, RILEM Publications S.A.R.L., France.

Joint Committee on Structural Safety (JCSS), 2002, Probabilistic Model Code, www.ethz.ch.

Nathwani J.S., Lind N.C. and Pandley, M.D., 1997, Affordable Safety by Choice: The Life Quality Method, Institute for Risk Research, University of Waterloo, Canada.

Rackwitz R., 2002, Optimization and Risk Acceptability based on the Life Quality Index, Journal of Structural Safety, Vol 24., pp. 297-331.

Snieder R. and T. van Eck, 1997, Earthquake Prediction: a Political Problem?, Geologische Rundschau, 86, pp. 446-463.

Structural Engineers Association of California (SEAOC), 1995, Vision 2000 – A Framework for Performance Based Earthquake Engineering, Vol. 1, Sacramento, CA.

Structural Engineers Association of California (SEAOC), 1999, Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Seventh Edition, Seismology Committee, Sacramento, CA.

Vanzi I., 2002, When should seismic Retrofitting of Existing Structures be implemented in order to minimize expected Losses, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 6, No. 1.

HERLEITUNG UND VERIFIZIERUNG EINES KONSISTENTEN MODELLS FÜR FUßGÄNGERLASTEN UND SEINE ANWENDUNG IN DER PRAXIS *

ZUSAMMENFASSUNG

Mit immer kühneren und schlankeren Entwürfen gewinnt die Dynamik von Fußgängerbrücken zunehmend an Bedeutung, da Fußgänger nicht selten durch ihre quasi-harmonischen Lasten Resonanzschwingungen hervorrufen. Gerade bei niedriger Dämpfung können dadurch signifikante Verschiebungen und Beschleunigungen auftreten, die das Wohlbefinden von Personen auf der Brücke empfindlich stören und damit die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen. Um Fußgängerbrücken bezüglich ihrer Schwingungsanfälligkeit zu beurteilen, sind entweder Messungen oder numerische Untersuchungen erforderlich. Entscheidend für letztere Methode sind nicht nur eine genaue Modellbildung, sondern auch möglichst realistische Fußgängerlasten. In diesem Beitrag wird daher ein Lastmodell vorgeschlagen, das auf einem einfachen, analytisch lösbaren nichtlinearen Masse-Feder-System beruht und einheitlich die Einwirkungen von gehenden, laufenden und hüpfenden Fußgängern simulieren kann. Durchgeführte experimentelle Versuche mit Testpersonen zeigen eine gute Übereinstimmung des Modells mit den Messwerten und liefern darüber hinaus notwendige Kennwerte zur Beschreibung von Fußgängerlasten. Mit Hilfe einer Fourierzerlegung der resultierenden Fußgängerlasten wird schließlich ein vereinfachtes Berechnungsverfahren abgeleitet, mit dem die Schwingungsanfälligkeit von Brücken unter der dynamischen Einwirkung von Fußgängern für die praktische Anwendung abgeschätzt werden kann.

1. EINLEITUNG

Die Bemessung von Fußgängerbrücken erfolgt i.A. auf der Basis statischer Lastannahmen, die in den einschlägigen Normen geregelt sind [1], [2]. Neben Eigengewicht, Wind und Schnee sind u.a. auch Verkehrslasten zu berücksichtigen, die in ihrer ungünstigsten Laststellung anzunehmen sind. Sie beinhalten einen dynamischen Erhöhungsfaktor, werden aber rein statisch angesetzt. Darüber hinaus wird in den neueren Normen [2] ein „angemessenes Lastmodell“ für dynamische Berechnungen gefordert, das in [3] als harmonisch pulsierende Wanderlast konkretisiert wird. In [4], [5] findet sich hingegen nur ein Hinweis, dass Schwingungen, die den Komfort der Nutzer einschränken, durch einen geeigneten Entwurf oder Dämpfungsmaßnahmen ausgeschlossen werden sollen.

Mit immer kühneren Entwürfen und zunehmender Schlankheit von Fußgängerbrücken steigt die Schwingungsanfälligkeit gegenüber dynamischen Einwirkungen. Da insbesondere die Eigenfrequenzen schlanker Bauwerke sehr niedrig sind und in den Bereich der Schrittfrequenzen von Fußgängern fallen, können deren quasi-harmonischen Einwirkungen zu Resonanzerscheinungen führen. Wenn die Brücke darüber hinaus eine niedrige Dämpfung aufweist, entstehen folglich signifikante Beschleunigungen und Verschiebungen, die das Wohlbefinden von Fußgängern empfindlich beeinträchtigen. Beeindruckende Beispiele für die Schwingungsanfälligkeit von schlanken Brücken sind die Millennium Bridge in London [6] oder die Solférino Fußgängerbrücke in Paris [7], aber auch weniger bekannte Bauwerke, wie z.B. die Fußgängerbrücke über den Main-Donau-Kanal in Forchheim [8]. In allen drei Fällen war eine zusätzliche Nachrüstung von Dämpfern bzw. Schwingungstilgern erforderlich, um die ausgeprägten, von Fußgängern verursachten Horizontal- bzw. Vertikalschwingungen auf ein erträgliches Maß zu reduzieren.

Ein Kriterium zur Beurteilung der Schwingungsanfälligkeit sind die Eigenfrequenzen einer Fußgängerbrücke, die nicht in den Bereich der Schrittfrequenzen von Fußgängern fallen sollten. Diese Forderung gilt für die Bewegungen Gehen, Laufen und Hüpfen, so dass ein relativ breites Frequenzspektrum zwischen 1.3 und 3.4 Hz vermieden werden sollte [3], [9], [10]. Lässt sich diese Forderung nicht erfüllen, hängen die zu erwartenden Beschleunigungen und Verschiebungen infolge Fußgängerverkehr im Wesentlichen von der strukturellen Dämpfung der Brücke ab. Da die von der Bauart abhängige Dämpfung in den meisten Fällen sehr gering ist (Dämpfungsmaße zwischen 0.2 % und 2.0 % z.B. nach [10], [11], [12], [13]), können Vielfache der quasistatischen Durchbiegung und nicht mehr zu vernachlässigende Beschleunigungen auftreten.

Aus der Literatur bekannte Anhaltswerte für zulässige Verschiebungs- und Beschleunigungsamplituden infolge Fußgänger induzierter Schwingungen sind beispielsweise in [14] zu finden. Diese sind i.A. nicht auf der Basis von zulässigen Bauwerksbeanspruchungen ermittelt worden, sondern hängen von der physiologischen Wirkung auf Personen ab. Nach VDI Richtlinie 2057 [15] wird anhand von rechnerischen Schwingstärken die Wahrnehmung durch den Menschen beurteilt und als „nicht spürbar“ bis „sehr

*Die wesentlichen Grundlagen für diesen Beitrag wurden in der Diplomarbeit von Frau Susanne Hüttner gelegt. Diese Arbeit mit dem Titel „Herleitung eines Modells für Fußgängerlasten und Anwendung auf eine Fußgängerbrücke zur Untersuchung des dynamischen Tragverhaltens“ wurde im WS 2003/04 als „externe Diplomarbeit“ bei der Bilfinger Berger AG in München durchgeführt. Die Betreuer dieser Arbeit waren Dr.-Ing. Christian Seiler von der Bilfinger Berger AG, Tragwerksplanung Ingenieurbau, München und Prof. Dr.-Ing. Andreas Maurial vom Fachbereich Bauingenieurwesen.

stark spürbar“ eingestuft. Dabei wird zwischen Vertikal- und Horizontalschwingungen unterschieden. Nach DIN 4150 [16] wird die Einwirkung auf Menschen in Gebäuden infolge Erschütterungen behandelt. Dort werden ebenfalls rechnerische Schwingstärken ermittelt und anhand von Grenzwerten und in Abhängigkeit des Einwirkungsorts beurteilt. Weitere Anhaltswerte sind in [3], aber auch in internationalen Normen zu finden [17], [18], [19], die sich in der Regel auf Beschleunigungsgrenzwerte in Abhängigkeit der kritischen Eigenfrequenz des Bauwerks stützen. In manchen Normen werden darüber hinaus auch die anzusetzenden dynamischen Lasten für Fußgänger definiert.

Ist eine Fußgängerbrücke auf statische Lasten bemessen, empfiehlt sich eine schrittweise Untersuchung der dynamischen Schwingungsanfälligkeit. Zunächst reicht es aus, die Eigenfrequenzen des Bauwerks mit Hilfe einer Modalanalyse zu ermitteln. Diese sollten nicht in den Bereich der Schrittfrequenzen von gehenden, laufenden oder hüpfenden Fußgängern fallen. Liegen diese jedoch innerhalb des kritischen Frequenzspektrums, sollte eine genauere Berechnung mit einer typischen Anregung erfolgen oder zumindest die Resonanzantwort abgeschätzt werden. Ein konkretes Anwendungsbeispiel ist in [20] zu finden, bei dem die Schwingungsanfälligkeit eines begehbaren Kunstbauwerks sowie die erforderlichen Dämpfungsmaßnahmen zur Schwingungsreduzierung mit Hilfe typischer Fußgängerlasten untersucht wurden. Vereinfachte Berechnungsmethoden sind beispielsweise in [14], [21], [22], [23] angegeben.

Im Gegensatz zur Statik bietet die Dynamik i.A. keine auf der sicheren Seite liegende Berechnung. Während bei der statischen Berechnung und Bemessung von Brückenbauwerken Materialeigenschaften oder auch Festigkeiten ungünstigst angenommen werden, hängt eine zuverlässige Beurteilung der Schwingungsanfälligkeit maßgebend von einer realistischen Modellbildung ab. Nur wenn die wahren Steifigkeits- und Massenverhältnisse sowie die strukturelle Dämpfung bekannt sind, können Eigenfrequenzen und Maximalbeschleunigungen mit ausreichender Sicherheit vorherbestimmt werden. Für die Auslegung von Schwingungstilgern werden aus diesem Grund oftmals Messungen am bestehenden Bauwerk zur Bestimmung der Eigenfrequenzen und der Dämpfung durchgeführt, da die Effektivität der Schwingungstilger entscheidend von der Kenntnis der tatsächlichen Bauwerkseigenschaften abhängt [11], [24], [25], [28].

Wenn genauere dynamische Untersuchungen mit Hilfe von Zeitschrittberechnungen erforderlich sind, stellt die Beschreibung von Fußgängerlasten eine weitere unsichere Größe dar. Im Gegensatz zu maschinellen Lasten, die oftmals harmonischer Natur sind, verursachen Fußgänger „menschliche“ Lasten, deren Charakteristik

sehr subjektiv geprägt sein kann. An dieser Stelle sei beispielsweise der sogenannte „lock-in“ Effekt erwähnt, der gehende Fußgänger unbewusst in Resonanz mit den Brückenschwingungen zwingt, sobald die harmonischen Verschiebungen der Brücke einen gewissen Maximalwert überschreiten [11], [26], [35]. Darüber hinaus ist zu beachten, dass Fußgänger ihren Ort wechseln, mit variierenden Geschwindigkeiten laufen und ihr Aufkommen auf der Brücke zeitlich begrenzt ist. Schließlich können synchron laufende Fußgänger die dynamische Antwort des Bauwerks verstärken oder bei aperiodischer Schrittfrequenz sogar dämpfen.

Zur mathematischen Beschreibung von Fußgängerlasten sind nur einige wenige Formeln zu finden, die teils empirisch und teils aus Versuchsergebnissen abgeleitet wurden [22], [27], [28], [29], [30]. Sie basieren alle auf sinusförmigen periodischen Kraftansätzen, wobei z.T. unterschiedliche Modelle für die Bewegungsarten Gehen und Laufen bzw. Hüpfen verwendet werden. Obwohl den Formeln starke Vereinfachungen zugrunde liegen und diese nicht den „menschlichen“ Charakter berücksichtigen, stellen sie in den meisten Fällen ein geeignetes, wenn nicht einzig verfügbares Hilfsmittel dar, um genauere dynamische Untersuchungen von Fußgängerbrücken mit numerischen Methoden durchführen zu können. Jedoch sind die Lastmodelle für Laufen bzw. Hüpfen in bestimmten Fällen inkonsistent und ermöglichen keinen kontinuierlichen Übergang vom Laufen zum Gehen.

2. LASTMODELLE

Nach [31] hatte sich bereits **Aristoteles** (384 – 322 v. Chr.) mit der Bewegung von Lebewesen auseinandergesetzt und erkannt, dass zur Fortbewegung ein fester „Ankerpunkt“ erforderlich ist, von dem man sich abstoßen muss. Jedoch ermöglichte erst die Entwicklung neuer Techniken, wie z.B. die Chronophotografie, die Messung und Analyse von Bewegungsabläufen. Das Buch [32] von **Otto Fischer** zählt sicherlich zu einem der frühesten Werke, das sich u.a. mit dem Einfluss der Schwere und der Muskeln auf die Schwingungsbewegung des Beins beschäftigt. Seit jüngster Zeit gibt es sogar eine eigene Wissenschaft, die sogenannte Biomechanik, die sich mit den mechanischen Vorgängen bei Lebewesen beschäftigt und einen interdisziplinären Forschungsbereich zwischen der Medizin und den Ingenieurwissenschaften darstellt.

Bei den aus der Literatur bekannten Lastmodellen wird grundsätzlich zwischen den Bewegungsarten Gehen und Laufen (Joggen) unterschieden. Zum einen sind den Bewegungsarten verschiedene Schrittfrequenzen zugeordnet. Zum anderen besteht beim Gehen ständig Kontakt zum Boden, während beim Laufen der Kontakt zum Boden zeitweise unterbrochen werden kann. Die Herleitung

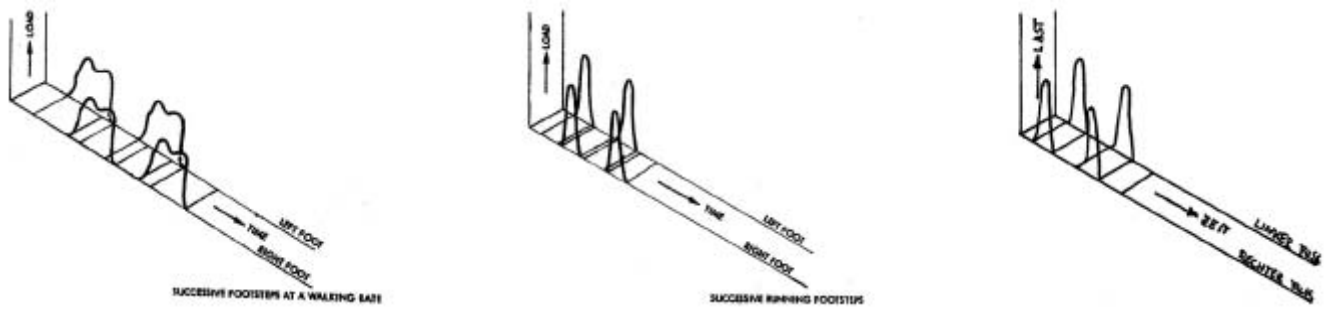


Abbildung 1: Schematische Lastverläufe für die Fortbewegungsarten Gehen, Laufen und Hüpfen (z.T. nach [33])

der Formeln erfolgt entweder empirisch oder wird aus Versuchsergebnissen mit Hilfe einer Fourieranalyse abgeleitet. Während sich die mathematische Beschreibung i.A. auf den zeitlich veränderlichen Lastanteil $F(t)$ beschränkt (s. Abb. 1), ist zugleich zu beachten, dass die Last durch die Fortbewegung der Fußgänger auch eine örtliche Komponente $\Phi(x)$ besitzt, so dass die Fußgängerlast durch $P(t,x) = F(t) \cdot \Phi(x)$ beschrieben wird. Bei einer konstanten Geschwindigkeit lässt sich die Gleichung mit $x = v \cdot t$ auf eine Unbekannte zurückführen. Die Bewegungsart Hüpfen lässt sich mit dem Lastansatz für Laufen beschreiben, wobei dieser in der Regel keine ortsabhängige Komponente aufweist.

2.1 Gehen

Erste Lastmodelle für die Bewegungsart Gehen sind beispielsweise bei **Kramer** [27] oder **Matsumoto** [28] zu finden. Beide Autoren geben die vom Menschen ausgehende Erregerkraft in der Form

$$F(t) = W + \Delta W \cdot \sin(\omega t) \tag{1}$$

an, wobei W das statische Eigengewicht der Person und ΔW die Amplitude der dynamischen, als sinusförmig angenommen Lastkomponente darstellt. **Matsumoto** erweitert seinen Ansatz noch durch Multiplikation mit der örtlichen Veränderung der Last $\Phi(v \cdot t)$, wobei eine konstante Fußgängergeschwindigkeit vorausgesetzt wird. Allerdings sind in [27] keine Angaben zur dynamischen Lastamplitude zu finden, während in [28] ein Berechnungsbeispiel mit $\Delta W = 0.342 \cdot W$ vorgestellt wird.

Eine wesentlich genauere Beschreibung der Fußgängerlasten gibt **Bachmann** in [9], [29], [34] an, indem er gemessene Kraftverläufe in Fourierreihen zerlegt. Der Wert G stellt das Eigengewicht des Fußgängers dar, φ_i die Phasenverschiebung und f_s die Schrittfrequenz, die im ungünstigsten Fall mit der Eigenfrequenz bzw. mit einem Vielfachen der Eigenfrequenz des Bauwerks zusammenfällt (Resonanz)

$$F(t) = G + \sum_{(i)} \Delta G_i \cdot \sin(i \cdot 2\pi f_s \cdot t - \varphi_i). \tag{2}$$

Auch wenn der Kraftverlauf von der Beschaffenheit des Schuhs und des Bodens sowie vom Laufstil der Person abhängt, wird die Fußgängerlast mit drei Harmonischen bereits ausreichend genau angenähert. Die Phasenverschiebungen der einzelnen Messungen variieren stark und hängen von unterschiedlichen Parametern ab. Typische Koeffizienten ΔG_i und Phasenverschiebungen φ_i sind in Tab. 1 für verschiedene Bewegungsarten zusammengestellt.

Bewegungsart	$\Delta G_1/G$	φ_1 [rad]	$\Delta G_2/G$	φ_2 [rad]	$\Delta G_3/G$	φ_3 [rad]
Gehen	0.4	0.00	0.1	1.57	0.1	1.57
Laufen	1.6	0.00	0.7	0.00	0.2	0.00
Hüpfen	1.7	0.00	1.1	1.73	0.5	1.73

Tabelle 1: Fourierkoeffizienten und Phasenverschiebungen für Gehen, Laufen und Hüpfen

Eine andere mathematische Beschreibung der Fußgängerlasten gibt **Petersen** in [22] an. Er beschreibt den dynamischen Lastanteil in Abhängigkeit der durch die vertikale Bewegungskomponente beschleunigten Körpermasse m_s mit

$$\Delta F(t) = m_s \cdot \hat{y}_s \cdot \omega_s^2 \cdot \sin(2\pi f_s \cdot t), \tag{3}$$

wobei \hat{y}_s die Amplitude des Körperschwerpunktes und f_s die Schrittfrequenz darstellen. Bei einer angenommenen Amplitude von ca. 0,025 m und einer typischen Schrittfrequenzen von 2 Hz beträgt die Maximalkraft somit ca. 40% des Eigengewichts der Person. Darüber hinaus werden auch hier die resultierenden Lasten in Form von Fourierreihen angegeben, die aus der Zerlegung von gemessenen Kraftverläufen [33] herrühren. Gemäß den Aus-

wertungen schwanken die Amplituden der ersten Harmonischen zwischen dem 0,1- und 0,5-fachen des Eigengewichts, während die höheren Harmonischen nur noch Werte von 0,01 bis maximal 0,3 erreichen. Die Phasenverschiebungen streuen ebenfalls sehr stark und liegen – individuell abhängig vom Laufstil der Personen – zwischen $-0,2\pi$ und $\pi/2$.

Darüber hinaus werden in der Literatur und in manchen Normen Koeffizienten für die resultierenden Horizontalkräfte von gehenden Fußgängern angegeben, z.B. [10], [14], [35]. Auch wenn sie nur einen Bruchteil der vertikalen Amplituden betragen, sind sie bei Brücken, die gegenüber Horizontalschwingungen anfällig sind, nicht zu vernachlässigen. Weitere Messergebnisse von Lasten infolge gehender Personen sind beispielsweise in [30], [36] zu finden.

2.2 Laufen und Hüpfen

Zu den Bewegungsarten Laufen und Hüpfen gibt es weniger Untersuchungen als zum Gehen. Bei **Kramer** [27] findet man bereits einen Fourieransatz, jedoch ohne Angaben von Koeffizienten. Stattdessen schlägt **Bachmann** in [9], [29] zur Beschreibung der Lasten von laufenden oder hüpfenden Fußgängern ein Halbsinus-Modell (s. Abb. 2) vor, das gemessenen Kraftverläufen in der Regel sehr ähnlich ist (s. auch [13]). Während der Kontaktzeit t_p werden dabei Kräfte vom Fußgänger auf den Untergrund übertragen, deren Höhe mit Hilfe eines Stoßfaktors k_p definiert wird. In der Flugphase $[t_p; k_p]$ besteht kein Kontakt zum Boden, so dass die Kräfte zu null gesetzt werden.

Wird die abschnittsweise definierte Funktion für den halbsinusförmigen Lastverlauf mit dem Eigengewicht G

$$F_p(t) = \begin{cases} k_p \cdot G \cdot \sin\left(\frac{\pi}{t_p} t\right) & \text{für } t < t_p \\ 0 & \text{für } t_p < t \leq T_p \end{cases} \quad (4)$$

in die Bedingung eingesetzt, dass das Integral über die Last während einer Schrittdauer T_p dieselbe sein muss wie beim Ruhen (statische Last), lässt sich der Stoßfaktor k_p explizit in Abhängigkeit des Verhältnisses von Kontaktzeit zur Schrittdauer t_p/T_p ermitteln (s. Abb. 2)

$$k_p = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{t_p/T_p} \quad (5)$$

Mit abnehmendem Verhältnis von Kontaktzeit zur Schrittdauer t_p/T_p nimmt demnach der Stoßfaktor k_p und damit auch die Lastamplitude $F_{p,max}$ zu. Für den Grenzzustand $t_p \rightarrow T_p$ nimmt der Stoßfaktor den Wert $\pi/2$ an, wobei der resultierende Kraftverlauf in eine direkte Aneinanderreihung von Halbsinuswellen übergeht.

Der zeitliche Verlauf der halbsinusförmigen Last kann auch in eine Fourierreihe zerlegt werden. Für die Bewegungsarten Laufen und Hüpfen sind dazu in Abb. 3 die resultierenden Koeffizienten ΔG_i in Abhängigkeit vom Verhältnis t_p/T_p dargestellt [29]. Hüpfen stellt dabei eine stationäre Last dar, während die Last infolge Laufen eine zusätzliche ortsabhängige Komponente besitzt.

Um den Geltungsbereich für die verschiedenen Bewegungsarten einzugrenzen, sind in Abb. 3 die t_p/T_p -Verhältnisse und Lastamplituden dargestellt, die anhand von Messungen von laufenden

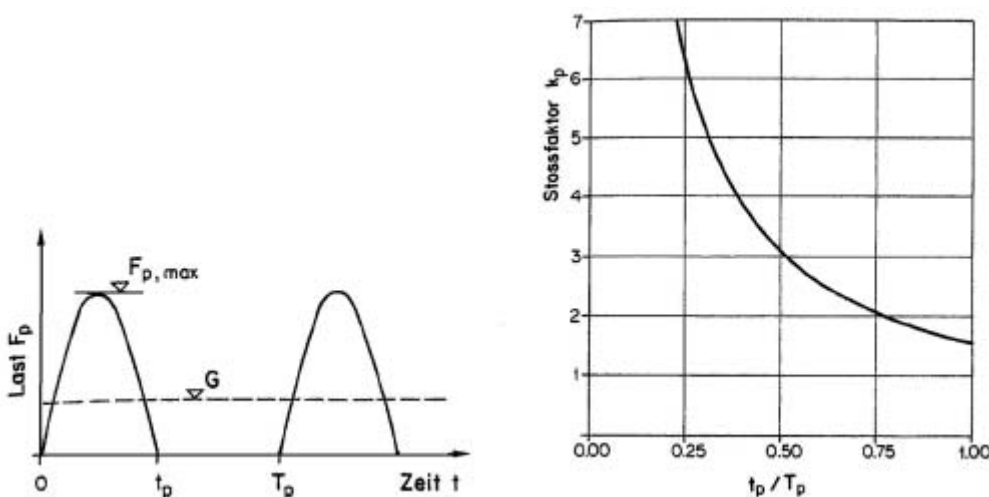


Abbildung 2: Schematischer Lastverlauf und Stoßfaktor gem. Halbsinusmodell nach [9]

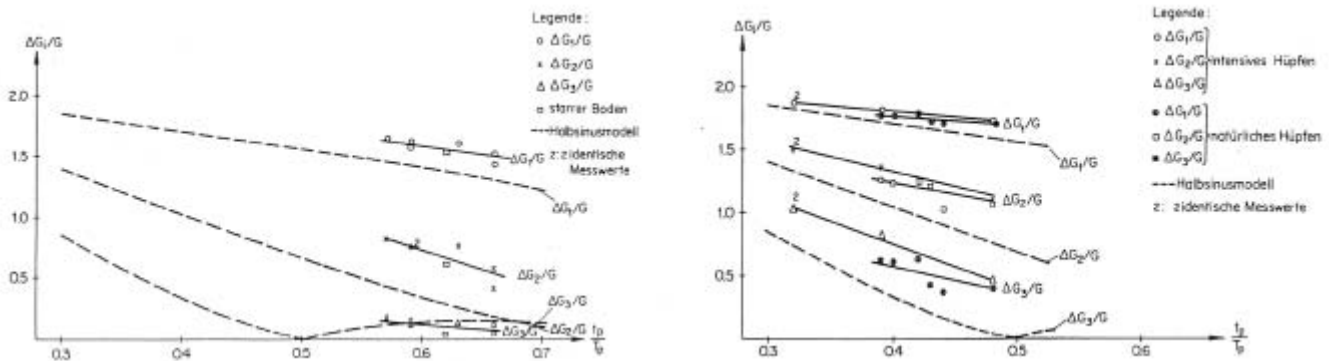


Abbildung 3: Fourierkoeffizienten für Laufen (links) und Hüpfen (rechts) in Abhängigkeit von t_p/T_p nach [29]

und hüpfenden Fußgängern ausgewertet wurden. Laufende Personen haben demnach während einer Schrittdauer längeren Kontakt zum Boden als hüpfende Personen und induzieren damit gleichzeitig kleinere Kräfte. Ein Vergleich mit den Fourierkoeffizienten des Lastmodells zeigt, dass die Messungen in der Regel höhere Amplituden aufweisen.

In Tab. 1 werden auf der Basis der gemessenen Lastverläufe typische Fourierkoeffizienten für die Bewegungsarten Laufen und Hüpfen angegeben. Demnach ist für die erste Harmonische eine Amplitude von 1,6 bzw. 1,7 anzusetzen. Unter Zugrundelegung des Halbsinusmodells entspricht dies in etwa einem t_p/T_p -Verhältnis von 0,48 bzw. 0,42 und einer Maximalkraft des 3,2- bzw. 3,8-fachen Eigengewichts des Fußgängers während der Kontaktzeit. Allerdings können bei kraftvollerem Hüpfen auch größere Lastamplituden erreicht werden.

Weitere Messungen und Lastangaben sind beispielsweise in [30] zu finden.

2.3 Einfluss mehrerer Personen

Da sich in der Regel nicht nur eine Person auf der Brücke aufhält, sollte der Einfluss mehrerer Personen bei einer dynamischen Untersuchung berücksichtigt werden. Dies kann beispielsweise durch eine Erhöhung des Eigengewichts G erfolgen, das für eine Person mit ca. 800 N bzw. 80 kg angenommen werden kann. Allerdings ist es nicht sinnvoll, das Eigengewicht entsprechend der Anzahl der zu erwartenden Personen zu erhöhen, da es sehr unwahrscheinlich ist, dass sich alle Fußgänger im Gleichschritt und zugleich in der kritischen Eigenfrequenz der Brücke bewegen. Vielmehr werden die querenden Personen zufällig und nur ein gewisser Prozentsatz von ihnen mit derselben Schrittfrequenz laufen, während andere z.T. aperiodisch marschieren und damit die Schwingung

sogar dämpfen. Bei bestimmten Schwingungsmoden (v.a. bei Durchlaufträgern) kann dieser Effekt auch dann auftreten, wenn Fußgänger mit der kritischen Schrittfrequenz von einem Feld ins nächste laufen und ihre Lasten dann aperiodisch zur Brückenschwingung aufbringen. Darüber hinaus muss beachtet werden, dass sich die Fußgänger über die Brückenspannweite verteilen und dadurch nicht jene dynamische Anregung hervorrufen können, die sich ergeben würde, wenn sie alle in Feldmitte konzentriert wären.

Die Gesamtanzahl n der sich auf der Brücke bewegend Personen kann mit Hilfe der Ankunftsrate λ und der erforderlichen Überquerungszeit T_0 der Brücke oder anhand der Personendichte q und der Brückenfläche A ermittelt werden

$$n = \lambda \cdot T_0 \quad \text{bzw.} \quad n = q \cdot A. \tag{6}$$

Die Ankunftsrate λ ist dabei als Anzahl der passierenden Personen pro Sekunde definiert. Nach [9], [28] kann die Ankunftsrate mit einem oberen Wert zwischen 1,0 und 1,5 pro Meter Brückenbreite angenommen werden. In [21] ist die Ankunftsrate mit niedrigeren Werten beziffert und liegt nach Messungen auf einer 5 m breite Brücke zwischen 1,0 und 2,3. Bei größeren Menschenansammlungen kommt die Bewegung ins Stocken, so dass auch die Anzahl der anzusetzenden Fußgängern begrenzt ist. Die Passierzeit T_0 kann mit Hilfe der Brückenspannweite und einer durchschnittlichen Fußgängergeschwindigkeit abgeschätzt werden. In [26] wird für einen flüssigen Verkehrsstrom eine maximale Personendichte von 1,5/m² angegeben. Bei einer mittleren Schrittgeschwindigkeit von ca. 1,0 ÷ 1,5 m/s für gehende Personen sind die o.a. Grenzwerte für die Ankunftsrate und die Personendichte äquivalent.

Mit Hilfe von Messungen hat **Matsumoto** in [28] festgestellt, dass unter normalen Bedingungen die Häufigkeitsverteilung des Eigen-

gewichts, der Schrittfrequenz und der Fußgängerverteilung über die Spannweite der Brücke nahezu der Poisson - Wahrscheinlichkeit entspricht. Mit dieser Annahme kann dann die Schwingungsantwort infolge einer Person mit dem Faktor $m = \sqrt{n}$ multipliziert werden, um die zu erwartenden Schwingungsamplituden für größere Menschenansammlungen auf der Brücke abzuschätzen. Ist die Auftretenswahrscheinlichkeit von synchron laufenden Fußgänger groß (z.B. Soldaten, Brücken mit „lock-in“ Effekt, Vandalismus), sollte der Faktor m ungünstiger im Intervall $[\sqrt{n}; n]$ gewählt werden. Der obere Grenzwert stellt die perfekte Synchronisation dar, wird aber praktisch nie erreicht. Für laufende und hüpfende Fußgänger wird in [11] ein Faktor von $m=3$ vorgeschlagen. Abhängig von der Lage des Bauwerks (z.B. hoch frequentierte Fußgängerbrücken in Stadtlage oder schwach frequentierte Fußgängerbrücken im Hinterland) können natürlich auch andere Szenarien bzgl. des Fußgängeraufkommens festgelegt werden.

Ein probabilistisches Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Synchronisationswahrscheinlichkeit auf der Grundlage von zulässigen Beschleunigungsamplituden ist darüber hinaus in [21] angegeben.

2.4 Lastmodelle in Normen

In DIN Fachbericht 101 [2], der die Einwirkungen auf Brücken regelt, sind keine Angaben zu dynamischen Lasten enthalten, während die statisch anzusetzenden Fußgängerlasten bereits mit einem dynamischen Erhöhungsfaktor beaufschlagt sind. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass Fußgänger- und Radwegbrücken durch die Benutzer zu dynamischen Schwingungen angeregt werden können. In diesem Falle sind für verschiedene Situationen (wandernde, laufende und springende Fußgänger) angemessene Lastmodelle zu wählen und mit dem Bauherrn abzustimmen.

Stattdessen wird im Kapitel „Begrenzung der Schwingungen und dynamischen Einflüsse“ des DIN Fachberichts 102 [3] eine pulsierende Einzellast F vorgegeben, die sich mit konstanter Geschwindigkeit v über das Mittelfeld bewegt:

$$F = 180 \cdot \sin(2\pi f_0 \cdot t) \text{ [N]}, \quad v = 0,9 \cdot f_0 \text{ [m/s]}, \quad (7)$$

wobei die Schrittfrequenz f_0 der kritischen Eigenfrequenz der Brücke gleichgesetzt wird. Diese Lastangaben entsprechen im Wesentlichen den Vorgaben nach [18]. Vergleicht man diesen Lastansatz mit dem Lastmodell für Gehen nach [22] oder [9], sind nach DIN Fachbericht 102 wesentlich kleinere dynamische Lasten anzusetzen. Darüber hinaus wird weder zwischen verschiedenen Bewegungsarten unterschieden, obwohl gerade beim Laufen oder Hüpfen weitaus größere Lastamplituden zu erwarten sind, noch wird der Einfluss von mehreren Personen berücksichtigt.

In Eurocode 5 [10] wurden ebenfalls zeitabhängige Lastangaben zu Fußgängern aufgenommen. Die Maximalamplitude der sinusförmigen Last ist mit 280 N etwas höher als in [3], [18]. Aufgrund des angegebenen Frequenzbereichs kann darüber hinaus geschlussfolgert werden, dass auch dieses Lastmodell nur für gehende Fußgänger anwendbar ist.

3. EIN NEUES EINHEITLICHES LASTMODELL

Zur Beschreibung von laufenden und hüpfenden Fußgängern existieren nur wenige Lastmodelle (s. Kapitel 2.2), die im Wesentlichen auf Messungen basieren. Auch wenn die Lastmodelle sicherlich für die meisten Fälle angewendet werden können, sind sie in bestimmten Grenzbereichen inkonsistent. Aus diesem Grund entstand die Idee, anhand des beobachteten Bewegungsablaufs eines laufenden Fußgängers ein einfaches Lastmodell abzuleiten, das auch einen kontinuierlichen Übergang zum Gehen schafft. Eine relativ genaue Messmethode ermöglicht zudem die Aufzeichnung einer ungestörten Bewegung von gehenden, laufenden und hüpfenden Fußgängern, mit der einerseits das neue Modell verifiziert werden kann und andererseits bestimmte Kennwerte identifiziert werden können.

3.1 Mathematisch-physikalisches Modell

Betrachtet man rein visuell den Bewegungsablauf von laufenden (joggenden) und hüpfenden Fußgängern, sind bei den meisten Personen zwei charakteristische Intervalle während einer Schrittdauer T zu beobachten (s. Abb.4). Nach dem Aufsetzen des Fußes herrscht in einem bestimmten Zeitintervall t_c Kontakt zwischen der Person und dem Boden, während dem auch Kräfte auf den Untergrund übertragen werden. Nachdem sich der Fußgänger wieder mit einer bestimmten vertikalen Geschwindigkeitskomponente abgestoßen hat, besteht im zweiten Intervall t_{nc} kein Kontakt mehr zum Boden. Der Fußgänger befindet sich in der „Flugphase“ und erreicht dabei die maximale Höhe h .

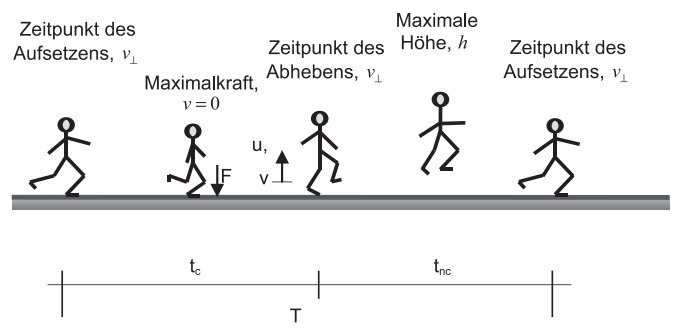


Abbildung 4: Prinzipieller Bewegungsablauf bei laufenden und hüpfenden Fußgängern

Ein simples Modell, das diesen Bewegungsablauf vereinfacht beschreiben kann, ist ein nichtlineares Masse-Feder-System, bei dem die Feder keine Zugkräfte aufnehmen kann. Die Masse der Person wird vereinfacht in einem Punkt konzentriert. Die Muskulatur entspricht zwar nicht der tatsächlichen Wirkungsweise einer Feder (während die Feder die Möglichkeit bietet, Energie zu speichern, kann der Muskel potenzielle Energie lediglich absorbieren und muss diese Energie erneut aufbringen, um den Körper wieder vom Boden abzustoßen [31]), kann ihr aber in Bezug auf die resultierende äußere Kraftwirkung näherungsweise gleich gesetzt werden.

Während der Periode t_{nc} ohne Kontakt zum Boden ist die Bewegung über den Energieerhaltungssatz beschreibbar. Dabei geht die kinetische Energie, die durch die vertikale Geschwindigkeit v_{\perp} unmittelbar zum Zeitpunkt des Abhebens bestimmt ist, in potentielle Energie mit der Höhe h über (s. Abb. 4). Damit steht die Nichtkontaktzeit t_{nc} mit der Geschwindigkeit v_{\perp} des Fußgängers und der Maximalhöhe h in folgendem Zusammenhang:

$$h = \frac{v_{\perp}^2}{2g}, \quad v_{\perp} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{nc}. \tag{8}$$

Bei gleich bleibender Horizontalgeschwindigkeit entspricht die beschriebene Bahn einer typischen Flugparabel. Nimmt man an, dass während der Flugphase keine Energie verloren geht, kommt der Fußgänger wieder mit derselben Geschwindigkeit v_{\perp} am Boden auf, mit der er zuvor „abgehoben“ ist.

Während der Kontaktzeit t_c zum Boden können die Kraftverhältnisse beispielsweise mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes

$$\int_0^{t_c/2} F(t) \cdot dt = m \cdot v_{\perp} + \int_0^{t_c/2} G \cdot dt \tag{9}$$

beschrieben werden. Die resultierende Kontaktkraft $F(t)$ auf den Boden ist dabei abhängig vom Impuls infolge der Masse m mit der vertikalen Geschwindigkeit v_{\perp} und dem während der Kontaktzeit wirkenden Eigengewicht G . Allerdings muss für den Verlauf von $F(t)$ eine Annahme getroffen werden, ohne die Gleichung (9) nicht lösbar ist. Geht man von dem vereinfachten Masse-Feder-System aus, ist die Kraft während der Kontaktzeit mit dem Boden sinus- bzw. cosinusförmig, so dass folgender parametrisierter Ansatz gewählt wird

$$F(t) = G \cdot [1 + s \cdot \cos(2\pi f_G \cdot t)]. \tag{10}$$

Die Amplitude der Kraft ist dabei abhängig vom Eigengewicht G und einem Stossfaktor s . Die Frequenz f_G entspricht nicht der Schritt-

frequenz f_s , sondern ergibt sich aus der Forderung, dass die resultierende Lastkurve das Eigengewicht (statische Ruhelage) in den Wendepunkten schneiden soll. Dadurch können zum einen die aus Messungen beobachteten Wendepunkte bzw. die Ausrundungen der Kraftverläufe beim Abheben und Aufkommen des Fußgängers abgebildet werden. Zum anderen wird mit dieser Formulierung gewährleistet, dass der Lastverlauf im Grenzbereich, in dem gerade kein Abheben mehr erfolgt, in eine reine Sinusschwingung übergeht.

Setzt man den Lastansatz für $F(t)$ nach Gleichung (10) und die Vertikalgeschwindigkeit v_{\perp} nach Gleichung (8) in Gleichung (9) ein, kann ein mathematischer Zusammenhang zwischen dem Stossfaktor s und dem Verhältnis von Kontaktzeit zur Schrittperiode t_c/T bestimmt werden (Gleichung (11)), dessen Verlauf in Abb. 5 abgebildet ist.

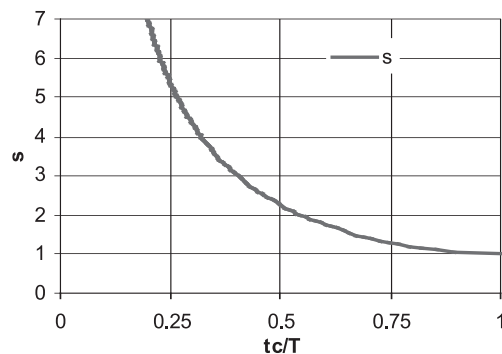


Abbildung 5: Stossfaktor in Abhängigkeit von t_c / T

$$\frac{t_c}{T} = \left(1 + \frac{\sqrt{s^2 - 1}}{\arccos(-1/s)} \right)^{-1} \tag{11}$$

Je kürzer die Kontaktzeit im Verhältnis zur Schrittperiode wird, desto größer wird der Stossfaktor s . Gleichzeitig wächst auch die Periode t_{nc} (kein Kontakt zum Boden), die vertikale Geschwindigkeit v_{\perp} beim Abstoß und die Sprunghöhe h . Der überproportionale Anstieg des Stossfaktors ist darauf zurückzuführen, dass größere Sprunghöhen größere Muskelkräfte erfordern, die wiederum während einer kürzeren Kontaktzeit t_c aufgebracht werden müssen. Für $t_c \rightarrow T$ hingegen geht der Stossfaktor gegen den Wert 1, so dass die Lastfunktion in eine reine Sinusschwingung übergeht, bei der die Masse gerade nicht mehr abhebt, sondern in ständigem Kontakt zum Boden bleibt.

Wird die resultierende Lastfunktion $F(t)$ und die vertikale Bewegung $u(t)$ derart transformiert, dass für $s \leq 1$ die Last auf dem Niveau des Eigengewichts und für $s > 1$ zu Beginn der Kontaktperiode beginnt, ergeben sich in Abhängigkeit des Stossfaktors die folgenden Zusammenhänge:

$$s \leq 1: \quad F(t) = G \cdot [1 + s \cdot \sin(2\pi f_s \cdot t)] \quad (12a)$$

$$u(t) = -\frac{g}{(2\pi f_s)^2} \cdot [1 + s \cdot \sin(2\pi f_s \cdot t)] \quad (12b)$$

$$s > 1: \quad F(t) = \begin{cases} G \cdot [1 + s \cdot \sin\left(\frac{\pi}{t_G} t + \arcsin\left(\frac{-1}{s}\right)\right)] & \text{für } 0 < t \leq t_c \\ 0 & \text{für } t_c < t \leq T \end{cases} \quad (12c)$$

$$u(t) = \begin{cases} -\frac{g \cdot t_G^2}{\pi^2} \cdot [1 + s \cdot \sin\left(\frac{\pi}{t_G} t + \arcsin\left(\frac{-1}{s}\right)\right)] & \text{für } 0 < t \leq t_c \\ -\frac{g}{2} \left(t - t_c - \frac{t_c}{2}\right)^2 + \frac{g \cdot t_c^2}{8} & \text{für } t_c < t \leq T \end{cases} \quad (12d)$$

Für zwei unterschiedliche Schrittfolgen $f = 3.3\text{Hz}$ und $f = 2.0\text{Hz}$ sind in Abb. 6 beispielhaft die resultierenden Kraftverläufe mit den gewählten Verhältnissen $t_c / T = 0.73$ bzw. $t_c / T = 1$ dargestellt. Die zugehörigen Stoßfaktoren betragen nach Gleichung (11) $s = 1.34$ bzw. $s = 1$.

Für $s = 1$ entspricht sowohl der Kraft- als auch die Verschiebungsverlauf einer reinen Sinuskurve. Für Stoßfaktoren $s > 1$ entsteht eine abschnittsweise definierte Sinuskurve, wobei sich der Wendepunkt immer auf Höhe des Eigengewichts einstellt. Der Verformungsverlauf setzt sich aus einem sinus- (Kontaktdauer) und einem parabelförmigen Anteil (Flugphase) zusammen. Dadurch entspricht die Eigenfrequenz f_G des sinusförmigen Last- bzw. Verformungsanteils nicht der Schrittfrequenz $f_s = 1/T$. Jedoch lassen sich folgende Zusammenhänge zwischen der Frequenz f_G , der Kontaktzeit t_c und dem Stoßfaktor s herleiten

$$f_G = \frac{1}{2t_G} \quad \text{mit} \quad t_G = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{t_c}{\arccos(-1/s)} \quad (13)$$

Mit den in den Gleichungen (12) angegebenen Formeln können verschiedene Bewegungsarten von Fußgängern beschrieben werden. Für Stoßfaktoren $s > 1$ sind die typischen Fußgängerlasten infolge Hüpfen und Laufen darstellbar, wobei beim Laufen zusätzlich die örtlich veränderbare Laststellung berücksichtigt werden muss. Für den Stoßfaktor $s = 1$ geht die Lastfunktion in eine reine Sinusschwingung über. Da Gleichung (12a, b) für Stoßfaktoren $s < 1$ gilt, ist damit die Bewegungsart Gehen und - abhängig vom Laufstil - auch Laufen beschreibbar (s. Kapitel 3.2). Um typische Kraftverläufe für Gehen zu beschreiben, können bei Bedarf höhere Harmonische ergänzt werden, auch wenn i.A. nur die erste Harmonische für kritische Resonanzschwingungen maßgebend ist.

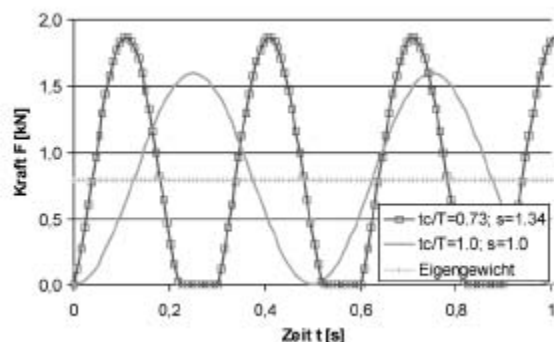
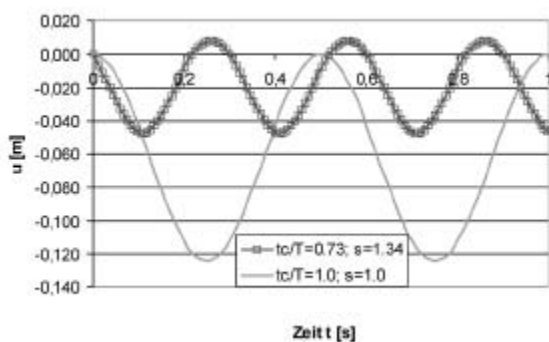


Abbildung 6: Kraft- und Verschiebungsverläufe für Stoßfaktoren $s = 1$ und $s = 1.34$

3.2 Versuche und Vergleich mit Lastmodell

Um die Lastfunktion von gehenden, laufenden oder hüpfenden Fußgängern nach den Gleichungen (12) explizit berechnen zu können, ist die Kenntnis des Stoßfaktors s und der Schrittfrequenz f_s erforderlich. Beide Kennwerte sind jedoch individuelle, vom Laufstil der jeweiligen Person abhängige Größen, so dass sie anhand von experimentellen Versuchen ermittelt werden müssen. Gleichung (11) stellt in diesem Zusammenhang lediglich eine Korrelation zwischen dem Stoßfaktor und dem Verhältnis von Kontaktzeit zur Schrittdauer dar, auf deren Basis das theoretische Lastmodell hergeleitet wurde und die anschließend mit Hilfe der Messungen überprüft werden kann. Zu diesem Zweck wurden mehrere Testpersonen ausgewählt, die mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bzw. Schrittfrequenzen Geh-, Lauf- und Hüpfbewegungen ausführten. In die Schuhe der Personen wurden spezielle Druckmesssohlen eingelegt (s. Abb. 7), die normalerweise in der Orthopädietechnik eingesetzt werden. Die Sohlen sind mit einer relativ hohen Anzahl von Drucksensoren bestückt (64 Stück pro Sohle), die ihre Messwerte mit einer Abtastrate von 60 Hz über Funk an einen Computer übertragen. Der Vorteil dieser Messmethode liegt v.a. darin, dass der Fußgänger völlig ungestört seine Bewegungen ausführen kann und damit verlässliche Messergebnisse liefert.

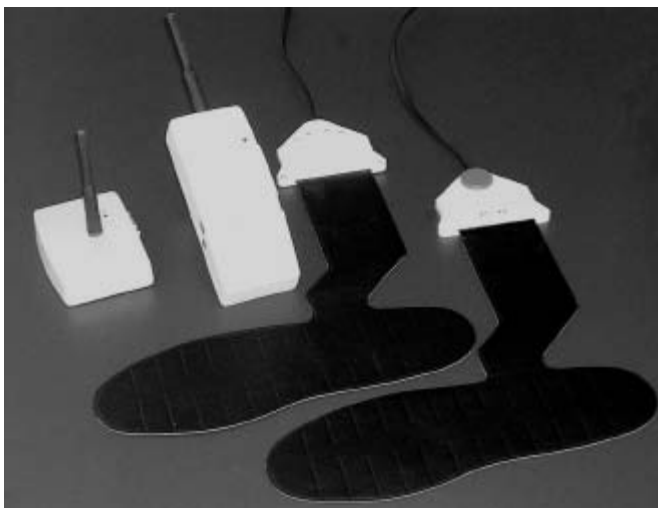


Abbildung 7: Messsohlen mit Drucksensoren (Fa. T & T medilogic Medizintechnik GmbH)

Über MS-EXCEL können anschließend für jeden gemessenen Zeitpunkt die resultierenden, vom Fußgänger auf den Boden ausgeübten Kräfte durch Integration des Drucks eines jeden Sensors über seine zugehörige Fläche berechnet werden (eine Auswertung über Multiplikation des gemittelten Drucks mit der Gesamtfläche der Sohle erbrachte in etwa dieselben Ergebnisse). Eine Überprüfung der Aus-

wertung erfolgte mit Messungen am stehenden Fußgänger, bei dem die resultierende Kraft gerade dem Eigengewicht entsprechen muss.

Mit Hilfe der gemessenen Kraftverläufe können dann mehrere charakteristische Kenngrößen von gehenden, laufenden und hüpfenden Fußgängern ausgewertet werden. Zum einen ist das jeweilige Spektrum der Schrittfrequenzen bestimmbar, das zugleich das kritische Frequenzspektrum für die Anregung von Fußgängerbrücken darstellt. Des Weiteren können in Abhängigkeit der Schrittfrequenzen typische Lastamplituden mit Hilfe einer Fourierzerlegung oder charakteristische Stoßfaktoren anhand der gemessenen Maximalkraft ermittelt werden.

Die Überprüfung des neuen Lastmodells erfolgt ebenfalls auf der Grundlage der gemessenen Kraftverläufe. Zunächst wird für jeden Versuch die Schrittfrequenz f_s und das t_c / T -Verhältnis (für laufende und hüpfende Personen) ausgewertet. Anschließend wird der theoretische Stoßfaktor s nach Gleichung (11) und die resultierende Lastfunktion nach den Gleichungen (12) und (13) berechnet. Über einen Vergleich des Stoßfaktors und des Lastverlaufs mit den Messergebnissen kann schließlich eine Verifizierung des Lastmodells und der zugrunde gelegten Annahmen erfolgen.

Grundsätzlich ist zwischen Bewegungen mit und ohne Abheben zu unterscheiden. Bei den durchgeführten Messungen erfolgte Gehen immer ohne Abheben und Hüpfen stets mit Abheben. Beim Laufen hingegen wurden Kraftverläufe mit und ohne Abheben aufgezeichnet. Kraftverläufe ohne Abheben werden mit Hilfe einer Fourierzerlegung ausgewertet, wobei als Stoßfaktor die Amplitude der ersten Harmonischen definiert wird. Bei Kraftverläufen mit Abheben werden die resultierenden Stoßfaktoren mit $s = (F_{max} - G)/G$ berechnet, so dass sie der Definition des theoretischen Stoßfaktors nach Gleichung (10) entsprechen.

In Abb. 8 (linkes Bild) sind die anhand der Messungen ausgewerteten Stoßfaktoren in Abhängigkeit der Schrittfrequenz dargestellt. Wie zu erwarten erreichen die Stoßfaktoren für Hüpfen die größten Werte zwischen 1,7 und 3,2. Die Maximalkräfte erlangen damit in etwa das 4-fache des Fußgängereigengewichts. Eine Abhängigkeit von der Schrittfrequenz existiert offensichtlich nicht. Vielmehr scheinen die Stoßfaktoren willkürlich verteilt zu sein. Die niedrigsten Amplituden wurden erwartungsgemäß beim Gehen gemessen. Sie bewegen sich zwischen 0,25 und 0,5 und liegen damit in demjenigen Bereich, der aus der Literatur bekannt ist. Die Amplituden der höheren Harmonischen (Abb. 8, rechtes Bild) liegen im Bereich von 0 bis 0,25. Auch hier ist keine Abhängigkeit der Lastamplituden von der Schrittfrequenz erkennbar. Die Phasenverschiebungen weisen eine große Streuung auf, so dass kein eindeutiger Wert angegeben werden kann.

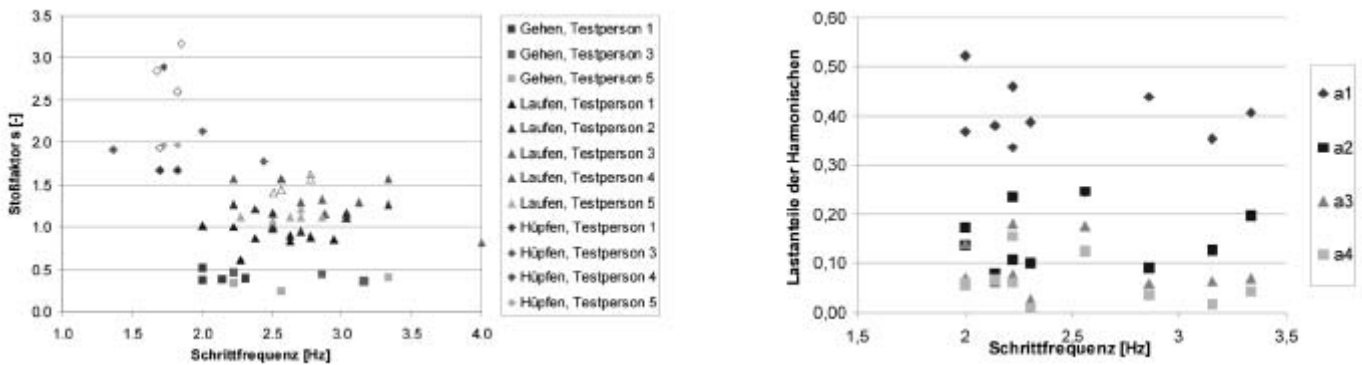


Abbildung 8: Stoßfaktoren in Abhängigkeit der Schrittfrequenzen für Gehen, Laufen und Hüpfen (links) bzw. Fourierkoeffizienten für Gehen (rechts)

Beim Laufen wurden interessanterweise sowohl Kraftverläufe mit Abheben ($s > 1$) als auch ohne Abheben ($s < 1$) aufgezeichnet. Dieser Effekt scheint stark vom jeweiligen Laufstil der Testperson abhängig zu sein. Bekannt ist in diesem Zusammenhang, dass Sportler besonders effektiv laufen, wenn sie sich möglichst wenig vom Boden abstoßen (Energiminimierung) und ständig in Bodenkontakt bleiben, um Kräfte für die Vorwärtsbewegung übertragen zu können. Weiterhin ist überraschend, dass sich die von einer Testperson ausgeübten Maximalkräfte nur unwesentlich mit der Schrittfrequenz verändern. Damit besteht offensichtlich keine

Abhängigkeit zwischen den beiden Kenngrößen. Vielmehr scheinen die Maximalkräfte im wesentlichen vom Laufstil der individuellen Testperson abhängig zu sein.

In Tab. 2 sind neben den gemessenen Stoßfaktoren auch die Bereiche der ausgewerteten Schrittfrequenzen in Abhängigkeit der Bewegungsart zusammengestellt. Die Schrittfrequenzen fallen dabei im Wesentlichen in den Bereich, der aus der Literatur bekannt ist, wobei infolge der beschränkten Anzahl der Testpersonen eher ein größeres Frequenzspektrum zu erwarten ist.

Bewegungsart	Schrittfrequenzen f_s [Hz]	Stoßfaktoren s [-]
Gehen	2,0 ÷ 3,4	0,25 ÷ 0,5
Laufen	2,0 ÷ 3,4 (4,0)	0,6 ÷ 1,6
Hüpfen	1,4 ÷ 2,5	1,7 ÷ 3,2

Tabelle 2: Gemessene Schrittfrequenzen und Stoßfaktoren

In Abb. 9 sind in Abhängigkeit des t_c / T -Verhältnisses die gemessenen Stoßfaktoren und die auf der Grundlage des neuen Lastmodells ermittelten Stoßfaktoren nach Gleichung (11) für laufende und hüpfende Fußgänger gegenübergestellt. Bis auf wenige Versuche, bei denen tendenziell größere Maximalkräfte ausgewertet wurden, ist eine außerordentlich gute Übereinstimmung zwischen den Messergebnissen und den theoretischen Werten festzustellen.

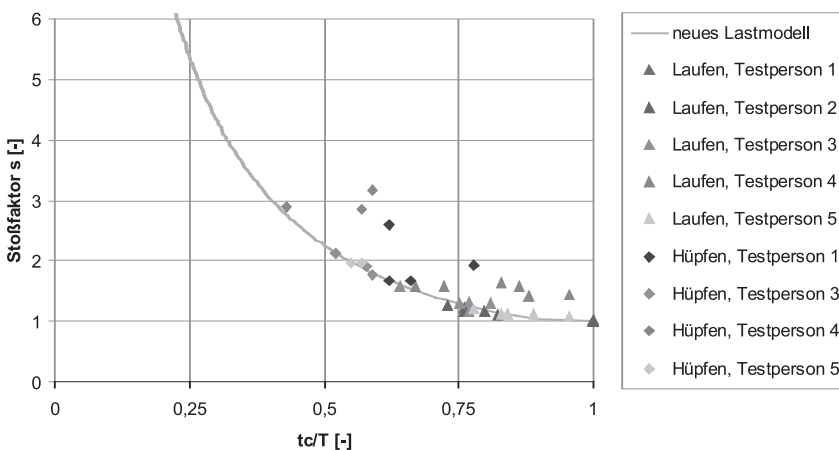


Abbildung 9: Gemessene und gemäß neuem Lastmodell berechnete Stoßfaktoren

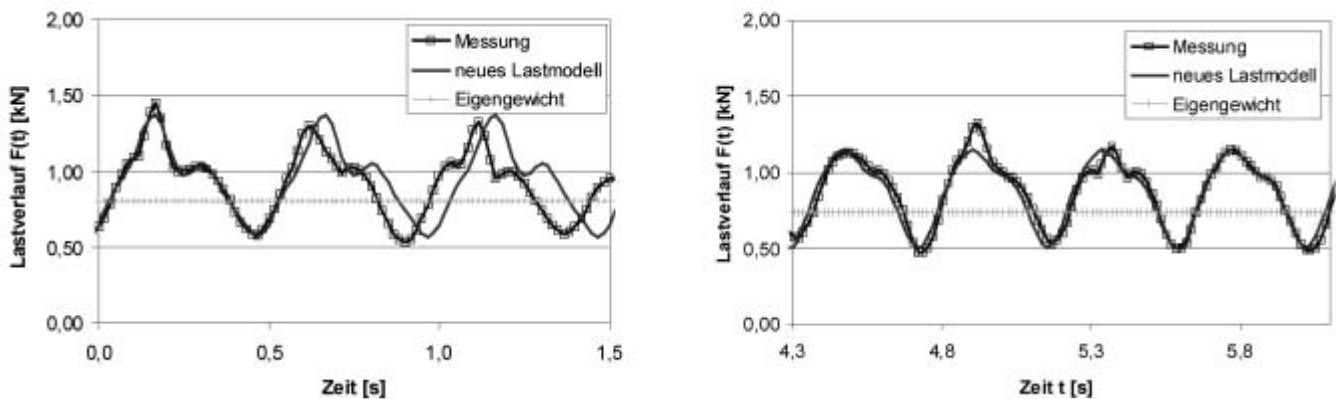


Abbildung 10: Theoretische und gemessene Kraftverläufe für Gehen: links $f = 2,0\text{Hz}$, rechts $f = 2,33\text{Hz}$

Nur bei zwei von fünf Testpersonen und wiederum nicht bei allen Tests dieser Personen sind Abweichungen zu beobachten. In diesen Fällen scheinen die Fußgänger kraftvollere Bewegungen auszuführen, so dass die Annahmen des Lastmodells nicht mehr vollständig zutreffen. Die überwiegende Anzahl der gemessenen Stoßfaktoren folgt jedoch relativ genau dem theoretischen Funktionsverlauf.

Die Beschreibung der resultierenden Lasten für Gehen erfolgt nach Gleichung (12a), wobei jedoch höhere Harmonische ergänzt werden (i.A. drei Harmonische ausreichend), um den charakteristischen Lastverlauf realistisch abbilden zu können. Die Amplituden können für diese Bewegungsart nicht anhand Gleichung (11) berechnet werden, sondern wurden mit Hilfe einer Fourieranalyse der gemessenen Kraftverläufe ermittelt. Die Amplituden der 1. Harmonischen liegen zwischen dem 0,25- und 0,5-fachen des Eigengewichts und diejenigen der 2. und 3. Harmonischen bei jeweils etwa 0,1 bis 0,2. Damit korrespondieren sie im Wesentlichen mit den Angaben aus der Literatur. In Abb. 10 sind beispielhaft zwei resultierende Kraftverläufe für eine Schrittfrequenz von $f = 2,0\text{Hz}$ und $f = 2,33\text{Hz}$ dargestellt.

Im linken Bild wurde die Auswertung der Fourierkoeffizienten im Intervall $[0;0,5\text{ s}]$ vorgenommen. Bereits mit drei Harmonischen ist dabei eine gute Übereinstimmung zwischen dem gemessenen und dem berechneten Lastverlauf festzustellen. Allerdings ist erkennbar, dass die Testperson nicht besonders gleichmäßig ging (Änderung der Schrittfrequenz), so dass bereits während des zweiten Schritts eine Phasenverschiebung auftritt. Allerdings ergeben sich im weiteren Verlauf in etwa dieselben Lastamplituden, so dass das Lastmodell auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse liefert.

Im rechten Bild wurden die Schritte einer Testperson aufgezeichnet, deren Laufstil sehr gleichmäßig ist. Ein Vergleich mit dem Lastmodell liefert deswegen auch über einen längeren Zeitraum eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen. Während des Gehens treten lediglich ein paar lokale Lastabweichungen auf, die sich jedoch in den Lastamplituden der einzelnen Harmonischen kaum bemerkbar machen (Einfluss höherer Harmonischer).

In Abb. 11 sind zwei Lastverläufe einer laufenden Testperson mit Schrittfrequenzen von $f = 2,5\text{Hz}$ und $f = 3,0\text{Hz}$ dargestellt. Im linken Bild handelt es sich um einen Laufstil mit ständigem Kontakt zum Boden, während im rechten Bild der Bewegungsablauf mit einer ausgeprägten Flugphase erfolgte, in der keine Kräfte auf den Untergrund übertragen wurden.

Beim Laufen ohne Abheben wurde anhand der Messergebnisse ein Stoßfaktor von $s = 1,0$ ermittelt, so dass die theoretische Lastfunktion einer reinen Sinusschwingung um die statische Ruhelage entspricht. Bei einem Vergleich mit dem gemessenen Kraftverlauf ist eine gute Übereinstimmung festzustellen, auch wenn in kleinen Zeitintervallen geringe Abweichungen auftreten, die jedoch für die Anregung von Fußgängerbrücken nicht von Bedeutung sind.

Beim Laufen mit Abheben (rechtes Bild) ist ebenfalls eine gute Übereinstimmung zwischen den Messwerten und den Ergebnissen des neuen Lastmodells zu beobachten, auch wenn die maximalen Lastamplituden nicht bei jedem Schritt konstant sind. Für die Ermittlung des theoretischen Lastverlaufs nach Gleichung (12) und (11) berechnet sich anhand des gemessenen Verhältnisses von t_c / T zunächst ein Stoßfaktor von $s = 1,15$, der mit der gemessenen Maximalamplitude korrespondiert. Gleichzeitig ergibt sich mit Gleichung (14) eine Periode T_G des sinusförmigen Lastverlaufs im Zeitintervall $[0 < t \leq t_c]$ von etwa 0,32 s, der auch anhand der Messungen abgelesen werden kann.

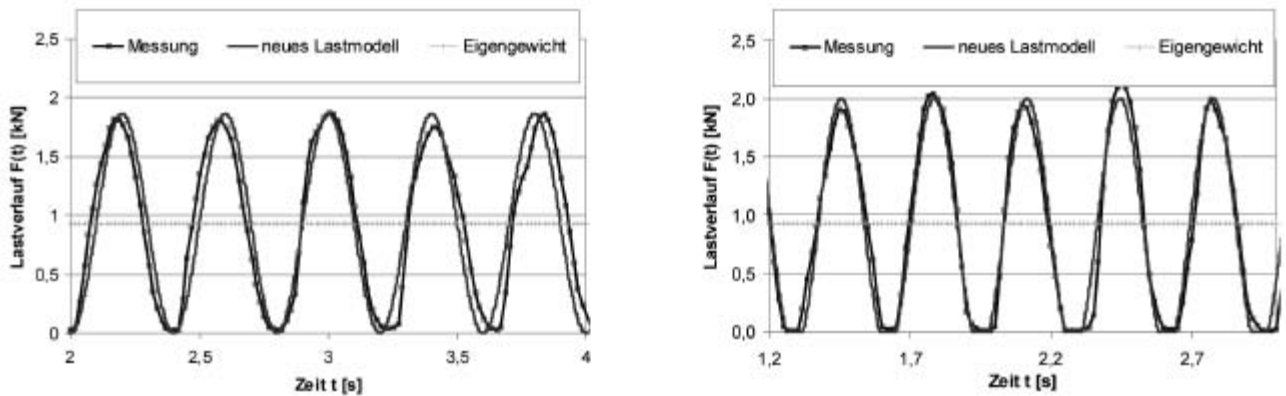


Abbildung 11: Theoretische und gemessene Kraftverläufe für Laufen: ohne Abheben (links), mit Abheben (rechts)

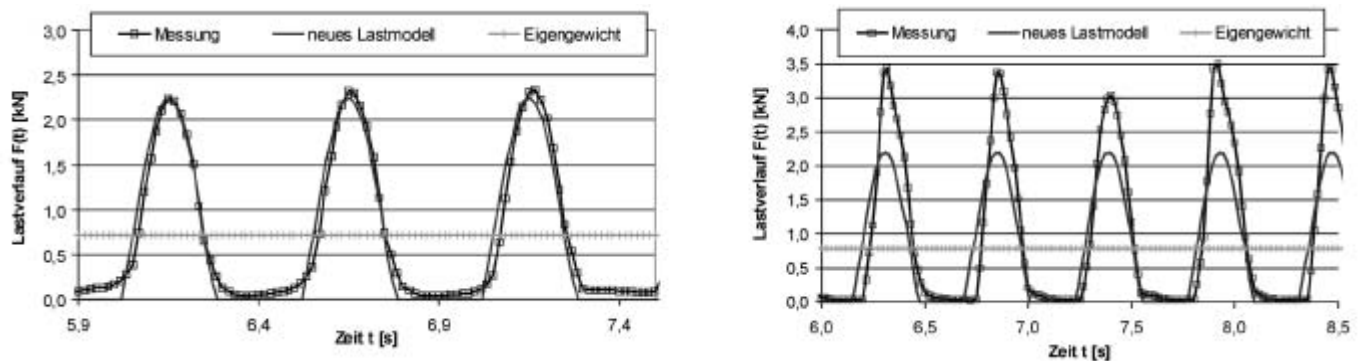


Abbildung 12: Theoretische und gemessene Kraftverläufe für Hüpfen

Hüpfbewegungen sind gegenüber dem Laufen durch längere Perioden ohne Bodenkontakt geprägt. Gleichzeitig treten auch höhere Maximallasten auf, die während der Kontaktphase auf den Untergrund übertragen werden. So erreichen die gemessenen Maximallasten in Abb. 12 (linkes Bild) bis zu 2,3 kN und damit das 3,1-fache Körpergewicht. Der Kraftverlauf gemäß Lastmodell wird wiederum mit Hilfe des theoretischen Stoßfaktors s nach Gleichung (11) ausgewertet, der auf der Basis der gemessenen Kontaktzeit t_c und Schrittdauer T berechnet wird. Der stark ausgerundete Verlauf der Kontaktkraft zum Zeitpunkt des Abstoßens und Aufkommens wird dabei nicht zur Kontaktzeit gerechnet, sondern lediglich die tangentielle Verlängerung des steil abfallenden Astes. Auch wenn die gemessenen Lasten nicht ganz sinusförmig verlaufen, ist trotzdem eine gute Übereinstimmung mit dem theoretischen Kraftverlauf zu erkennen. Wie bei allen anderen Bewegungsarten können jedoch die Maximallasten von Schritt zu Schritt leicht variieren.

Abb. 12 (rechtes Bild) zeigt eine gemessene Kraftkurve, die mit dem theoretischen Lastmodell nicht mehr abgebildet werden kann. In diesem Fall werden wesentlich größere Lastamplituden erreicht als durch das Lastmodell vorhergesagt werden können. Offensichtlich kann hier das Federmodell für die Funktionsweise des Muskels nicht mehr herangezogen werden, da der Muskel beim Abbremsen der Energie sowie beim Abstoßen größere Kräfte erzeugt. Allerdings wird auf der Basis der Messergebnisse in Abb. 9 deutlich, dass es sich nur um einzelne Personen handelt, die kraftvollere Hüpfbewegungen ausführen. Da sich die Mehrheit der Testpersonen durch das Lastmodell beschreiben lässt, kann auch davon ausgegangen werden, dass es sich für realistische Untersuchungen der Schwingungsanfälligkeit von Fußgängerbrücken eignet. Insgesamt ist festzustellen, dass sich die gemessenen Kraftverläufe von gehenden, laufenden und hüpfenden Fußgängern sehr gut durch das neue Lastmodell beschreiben lassen, auch wenn lokale

Abweichungen auftreten können, die jedoch für die Anregung von Fußgängerbrücken von untergeordneter Bedeutung sind. Die jeweiligen Schrittfrequenzen und Stoßfaktoren bzw. Fourieramplituden, die zur Berechnung der resultierenden Lasten notwendig sind, können anhand Abb. 8 abgelesen werden, wobei der Stoßfaktor als Mittelwert oder auch als Maximalwert abgeschätzt werden kann. Jedoch sind auch höhere Lastamplituden, insbesondere bei kraftvollerem Hüpfen möglich, die aber eher die Ausnahme bilden dürften.

4. VEREINFACHTE BEURTEILUNG DER SCHWINGUNGSANFÄLLIGKEIT FÜR DIE PRAKTISCHE ANWENDUNG

Im Zuge des Entwurfs und der Bemessung von Fußgängerbrücken sollte generell eine Untersuchung der Schwingungsanfälligkeit erfolgen, insbesondere wenn eine oder mehrere Eigenfrequenzen des Bauwerks in das Spektrum der Schrittfrequenzen von gehenden, laufenden oder hüpfenden Fußgängern fallen. Zur Simulation der einwirkenden Lasten kann dazu das Lastmodell nach Gleichung (12) herangezogen werden, wobei die zur kritischen Frequenz gehörende Lastamplitude (Stoßfaktor bzw. Amplituden der Fourierharmonischen) jeweils mit Hilfe der Messergebnisse in Abb. 8 abzuschätzen ist. Eine Untersuchung wird man entweder an einem Modell des Gesamtsystems oder an einem vereinfachten Ersatzsystem (z.B. äquivalenter Einmassenschwinger) durchführen. Je nach Modell bzw. Genauigkeitsanspruch sind jedoch zusätzliche Überlegungen zur Simulation sich bewegender Fußgänger erforderlich. Während die örtliche Veränderung der Last noch einfach berücksichtigt werden kann, ist die Frage, wie viele Personen sich in welchem Abstand und mit welcher Schrittfrequenz bewegen, bereits äußerst schwierig zu beantworten. Vielmehr müssten probabilistische Verfahren zum Aufkommen der Fußgänger zum Einsatz kommen, zumal bisher noch zu wenige aussagekräftige Messergebnisse vorliegen. Für die meisten praktischen Anwendungsfälle empfiehlt sich daher ein vereinfachtes Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Schwingungsanfälligkeit von Fußgängerbrücken (s. z.B. [23]), das sich gerade hinsichtlich des Fußgängeraufkommens auf eine durch Messungen abgeleitete Wahrscheinlichkeitsverteilung stützt [28] und die analytische Lösung der Resonanzschwingung des Einmassenschwingers unter harmonischer Anregung nutzt.

4.1 Beschreibung von Fußgängerlasten mit Fourierreihen

Die Beschreibung der Fußgängerlasten mit Hilfe von Fourierreihen bietet für die praktische Anwendung mehrere Vorteile. Zum einen können bei den meisten Programmen sinusförmige Lasten in Abhängigkeit der Frequenz, der Amplitude und der Phasenverschiebung eingegeben werden. Zum anderen existiert für den Ein-

massenschwinger unter harmonischer Anregung eine analytische Lösung der maximalen Schwingungsantwort im Resonanzfall, die für ein vereinfachtes Berechnungsverfahren genutzt werden kann.

Für die einwirkenden Lasten infolge gehender, laufender oder hüpfender Fußgänger wird ein cosinusförmiger Lastansatz $F(t)$ mit dem Eigengewicht G , den Fourierkoeffizienten a_i , der Schrittfrequenz f_s und der Phasenverschiebung φ_i gewählt

$$F(t) = G \cdot \left\{ 1 + \sum_{(i)} a_i \cdot \cos(i \cdot 2\pi f_s \cdot t - \varphi_i) \right\} \tag{14}$$

Die resultierende Kraft wird dabei als Schwingung um das Eigengewicht G beschrieben. Als Eigengewicht kann eine Last von 800 N angesetzt werden. Für die Bewegungsarten Hüpfen und Laufen werden die Fourierkoeffizienten auf der Basis des Lastverlaufs nach Gleichung (12c) berechnet, wobei die Amplituden analytisch hergeleitet werden können. Betrachtet werden dabei nur Bewegungen, die durch eine Abhebeperiode gekennzeichnet sind, da diese ungünstigere Lasten liefern und von der Mehrheit der Fußgänger ausgeführt werden (s. Kap. 3.2). Für Gehen wurden die Amplituden der Harmonischen bereits anhand der Versuchsergebnisse berechnet (s. Abb. 8).

In der praktischen Anwendung ist beim Laufen und Hüpfen zunächst der Stoßfaktor s in Abhängigkeit der kritischen Schrittfrequenz abzuschätzen. Zu diesem Zweck sind in Abb. 13 (linkes Bild) die Maximal- (Umhüllende) und Mittelwerte der Messergebnisse dargestellt. Da aufgrund der begrenzten Anzahl der durchgeführten Messungen nicht alle Schrittfrequenzen beim Hüpfen erfasst werden konnten, wurde darüber hinaus das Spektrum auf die aus der Literatur bekannten Bereiche erweitert. Zudem wird angenommen, dass der maximale Stoßfaktor über den gesamten Frequenzbereich konstant bleibt, da bei den Messungen festgestellt wurde, dass sich die Amplituden nur unwesentlich mit der Schrittfrequenzen ändern.

Die Amplituden der Fourierreihen können für den gewählten Stoßfaktor anschließend aus Abb. 13 (rechtes Bild) abgelesen und in Gleichung (14) eingesetzt werden. Dargestellt ist der Verlauf der ersten vier Fourierharmonischen in Abhängigkeit des Stoßfaktors. Wenn mit den tatsächlichen Lasten gerechnet werden soll, sind die Vorzeichen der Amplituden und darüber hinaus auch die jeweiligen Phasenverschiebungen zu berücksichtigen, die in Tab. 3 angegeben sind. Allerdings ist in den meisten Fällen nur eine Harmonische für die Anregung der Brücke verantwortlich, so dass zur Beschreibung der Fußgängerlasten nur das zur kritischen Frequenz korrespondierende Fourierreihenglied mit der entsprechenden Amplitude angesetzt werden muss. Die Phasenverschiebung spielt dann keine Rolle mehr.

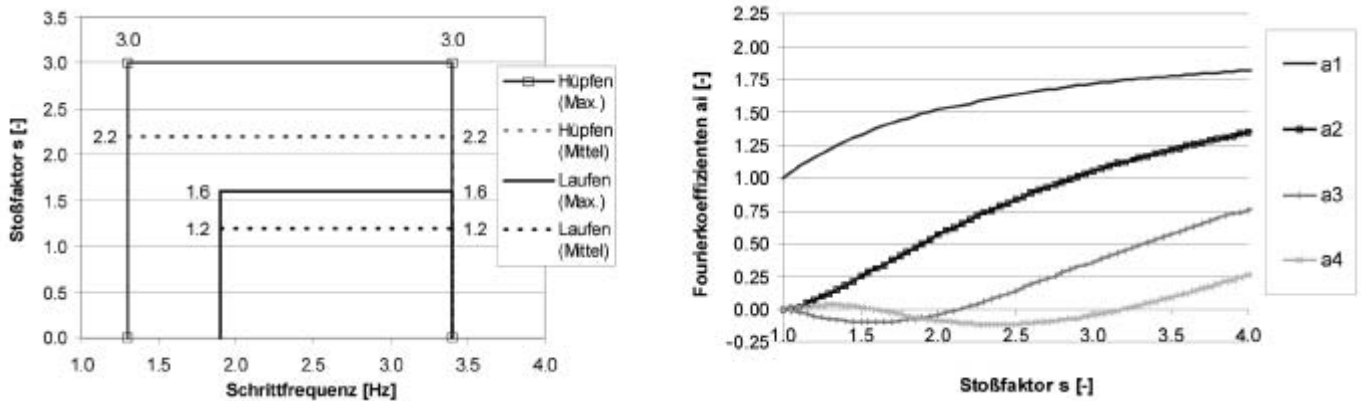


Abbildung 13: Maximal- und Mittelwerte der Stoßfaktoren für laufende und hüpfende Fußgänger (links) und resultierende Fourierkoeffizienten (rechts)

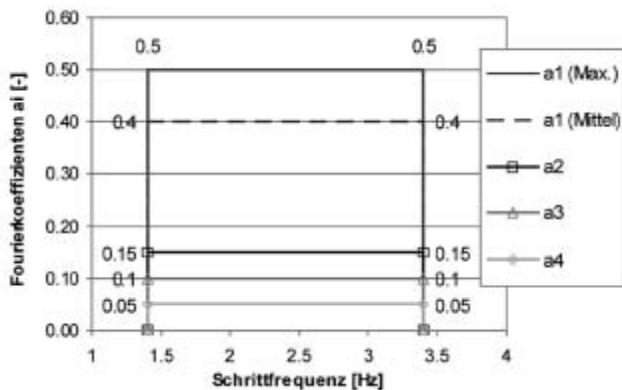


Abbildung 14: Maximal- und Mittelwerte der Fourierkoeffizienten für gehende Fußgänger

In der praktischen Anwendung sind auch für Gehen die Fourierkoeffizienten in Abhängigkeit der maßgebenden Schrittfolgen abzuschätzen und in Gleichung (14) einzusetzen. Drei Fourierreihenglieder sind in der Regel für eine Beschreibung der resultierenden Lasten von gehenden Fußgängern ausreichend, wobei die in Tab. 3 angegebenen Werte für die Phasenverschiebungen eingesetzt werden können (Mittelwerte aufgrund der starken Streuung). Jedoch gilt auch für Gehen, dass in den meisten Fällen nur eine Harmonische für die Anregung von Fußgängerbrücken verantwortlich ist. In diesem Fall kann die Phasenverschiebung vernachlässigt und als Amplitude die zur kritischen Frequenz des Bauwerks gehörende Amplitude eingesetzt werden.

Für die Bewegungsart Gehen wurden die Fourierkoeffizienten bereits auf der Basis der Versuchsergebnisse ausgewertet. In Abb. 14 sind für die erste Harmonische wiederum die Maximal- und Mittelwerte der Messergebnisse angegeben, während die höheren Harmonischen lediglich als Mittelwerte dargestellt sind. Das gemessene Spektrum der Schrittfolgen ist in diesem Fall größer als der aus der Literatur bekannte Bereich.

Bewegungsart	Schrittfrequenzen [Hz]	a ₁ [-]	a ₂ [-]	a ₃ [-]	a ₄ [-]
Gehen (Mittelwerte)	1,4 ÷ 3,4	0,4	0,15	0,10	0,05
Laufen (Maximalwerte)	1,9 ÷ 3,4	1,38	0,31	-0,10	0,00
Hüpfen (Maximalwerte)	1,3 ÷ 3,4	1,72	1,05	0,36	-0,04

Tabelle 3: Vorschlag für Schrittfolgen, Fourierkoeffizienten und Phasenverschiebungen für Gehen, Laufen und Hüpfen

Bewegungsart	Phasenverschiebung φ _i [rad]			
	i=1	i=2	i=3	i=4
Gehen	π	-π/3	π	-π/3
Laufen (s = 3,0)	$\varphi_i = i\pi \left(1 + \frac{\sqrt{s^2 - 1}}{\arccos(-1/s)} \right)^{-1}$			
Hüpfen (s = 1,6)				

In Tab. 3 sind nochmals das Spektrum der Schrittfrequenzen, die Fourierkoeffizienten und die Phasenverschiebungen für die verschiedenen Bewegungsarten zusammengefasst. Für gehende Fußgänger wird vorgeschlagen, Mittelwerte der Amplituden zu verwenden, da für Schwingungsuntersuchungen i.d.R. mehrere Personen berücksichtigt werden sollten. Für die Bewegungsarten Laufen und Hüpfen werden hingegen Maximalwerte empfohlen, da i.A. nur eine geringere Anzahl an Personen angesetzt wird (s. Kapitel 4.2).

4.2 Vereinfachtes Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Schwingungsanfälligkeit

Da die Fußgängerlasten gemäß Kapitel 4.1 als Fourierreihen vorliegen, kann ein vereinfachtes, aber effektives Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Schwingungsanfälligkeit auf der Basis der bekannten Resonanzantwort eines – zur kritischen Eigenfrequenz des Bauwerks äquivalenten – Einmassenschwingers abgeleitet werden. Allerdings ist in der Regel ein geeignetes Finites Element Programm erforderlich, mit dem eine Modalanalyse der Fußgängerbrücke zur Bestimmung der Eigenfrequenzen durchgeführt werden kann. Für einfache Systeme können natürlich auch bekannte oder Näherungslösungen verwendet werden.

Zunächst sind die Eigenfrequenzen der Fußgängerbrücke zu bestimmen. Sie sollten möglichst realistisch berechnet werden, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Dies bedeutet, dass tatsächliche Materialkennwerte und Massenbelegungen und nicht etwa Designwerte (auf der sicheren Seite liegend) verwendet werden sollten. Kleinere Abweichungen sind jedoch nicht tragisch, da eine Untersuchung der Schwingungsanfälligkeit stets im Resonanzbereich der numerisch berechneten Brückenfrequenzen erfolgt. Falls eine oder mehrere Eigenfrequenzen des Bauwerks in den Schrittbereich von gehenden, laufenden oder hüpfenden Fußgängern (s. Tab. 3, Abb. 13, 14) fallen und die jeweils korrespondierende Eigenform eine Komponente in Richtung der Fußgängerlasten besitzt, sollte die maximal zu erwartende Antwort der Fußgängerbrücke abgeschätzt und mit Hilfe von Kriterien beurteilt werden. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass auch Bauwerksfrequenzen außerhalb der Schrittfrequenzen kritisch sein können, die durch höhere Harmonische nach Gleichung (14) angeregt werden.

Zunächst ist die Maximalantwort der Brücke im Resonanzfall unter der Annahme einer stationären, dynamisch wirkenden Fußgängerlast am ungünstigsten Ort der Brücke zu bestimmen. Dazu ist die quasistatische Durchbiegung der Brücke unter einer Last zu ermitteln, deren Amplitude $G \cdot a_i$ (s. Gleichung (14)) zur kritischen Bauwerksfrequenz f_B korrespondiert. Die maximale dynamische Durchbiegung u_{dyn} im Resonanzfall (ungünstigster Fall) sowie die zugehörige Geschwindigkeit v_{dyn} und Beschleunigung a_{dyn} können dann mit Hilfe

$$u_{dyn} = m \cdot u_{stat} / (2\zeta_B), \quad v_{dyn} = u_{dyn} \cdot 2\pi f_B, \quad a_{dyn} = v_{dyn} \cdot 2\pi f_B. \quad (15)$$

berechnet werden, wobei das Dämpfungsmaß ζ_B der Brücke in der Regel anhand von Erfahrungswerten auf der sicheren Seite liegend bestimmt werden muss (z.B. [10], [11], [12], [13]).

Der Einfluss von mehreren Personen kann im Falle gehender Fußgänger mit Hilfe der sich auf der Brücke befindlichen Personenanzahl n nach Gleichung (6) abgeschätzt werden. Nach Kapitel 2.3 sollte dann die Maximalantwort (Gleichung (15)) infolge einer Person mit dem Faktor $m = \sqrt{n}$ multipliziert werden (Tab. 4). Die Abminderung berücksichtigt u.a., dass nicht alle Personen mit derselben Schrittfrequenz bewegen und sich nicht alle an der ungünstigsten Stelle der Brücke aufhalten. Bei Schrittfrequenzen größer als $f = 2,5Hz$ kann der Vergrößerungsfaktor weiter reduziert werden, da schnelles Gehen nur bei einer geringeren Personendichte möglich ist und darüber hinaus seltener vorkommen wird. Für laufende oder hüpfende Fußgänger wird in Anlehnung an Literaturangaben eine Gesamtanzahl von drei synchron bzw. zehn sich zufällig bewegenden Personen vorgeschlagen, so dass sich ein Vergrößerungsfaktor von $m = 3 \approx \sqrt{10}$ ergibt. Ist jedoch Vandalismus zu befürchten oder zu erwarten, dass sich infolge Synchronisationseffekten („lock-in“ Effekt) eine größere Anzahl an Personen im Gleichschritt bewegt, ist auch eine Erhöhung des Vergrößerungsfaktors in Erwägung zu ziehen. Abhängig von der Lage des Bauwerks können natürlich auch andere Szenarien bzgl. des Fußgängeraufkommens festgelegt werden.

Bewegungsart	Vergrößerungsfaktor m
Gehen	\sqrt{n} mit $n=\lambda \cdot T_0$ (s. Kap. 2.3)
Laufen / Hüpfen	3

Tabelle 4: Vergrößerungsfaktor für den Einfluss von mehreren Personen

Eine Untersuchung der Schwingungsanfälligkeit für horizontale Schwingungen kann analog erfolgen, wobei die Lastamplituden der Fourierharmonischen beim Gehen beispielsweise nach [14], [35] angenommen werden können. Zu beachten ist, dass die Schrittfrequenz im Resonanzfall der halben Bauwerksfrequenz entspricht. Der Einfluss von mehreren gehenden Personen kann wiederum mit dem Faktor $m = \sqrt{n}$ berücksichtigt werden, wobei der Vergrößerungsfaktor erhöht werden sollte, wenn Synchronisationseffekte befürchtet werden müssen.

Kriterien zur Beurteilung des Schwingungsverhaltens von Fußgängerbrücken beziehen sich i.A. auf die Gebrauchstauglichkeit und speziell auf das Wohlbefinden von Fußgängern. Da Menschen

auf Verschiebungen und insbesondere auf Beschleunigungen empfindlich reagieren, werden für sie üblicherweise Grenzwerte angegeben. Werden diese überschritten, sollten entsprechende Maßnahmen getroffen werden (z.B. Einbau von Schwingungstilgern, Konstruktionsänderung).

Grenzwert	Vertikalschwingung	Horizontalschwingung
Beschleunigungen [m/s ²]	0,5 ÷ 1,0	0,2
Verschiebungen [mm]	10	2

Tabelle 5: Empfohlene Grenzwerte für Vertikal- und Horizontalschwingungen

Nach DIN Fachberichte 102 [3] sollten die resultierenden Vertikalbeschleunigungen der Brücke den Grenzwert von $0,5 \cdot \sqrt{f_B}$ nicht überschreiten, wobei f_B die kritische Bauwerksfrequenz darstellt. Diese Grenzwerte entsprechen im Wesentlichen den Vorgaben des British Standards BS 5400 [18]. Die kanadische Norm [19] schlägt hier strengere Werte vor und beschränkt die Beschleunigungen auf $0,25 \cdot f_B^{0,78}$. Für eine typische Schrittfrequenz von 2 Hz ergibt sich demnach eine maximal zulässige Bauwerksbeschleunigung von $0,7 \text{ m/s}^2$ bzw. $0,43 \text{ m/s}^2$. Ähnliche Anhaltswerte sind in ISO 10137 [17] oder im Eurocode 5 [10] zu finden, in denen im typischen Schrittfrequenzspektrum ein Bereich von $0,5 \div 1,0 \text{ m/s}^2$ zugelassen bzw. ein Grenzwert von $0,7 \text{ m/s}^2$ ($0,2 \text{ m/s}^2$ für Horizontalschwingungen) gefordert wird. Darüber hinaus kann auch die VDI-Richtlinie VDI 2057 [15] herangezogen werden, die anhand von bewerteten Schwingungsstärken das Wohlbefinden von Menschen beurteilt. Die Anwendung der DIN 4150 [16] erscheint eher ungeeignet, da sie die Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden infolge allgemeiner Erschütterungen behandelt. In der Literatur (z.B. [11]) findet man neben Grenzwerten der Beschleunigungen auch einen oberen Wert für die Verschiebungen, u.a. um Synchronisationseffekt („lock-in“ Effekt) zu vermeiden. Die Verschiebungen sollten in diesem Zusammenhang den Grenzwert von 10 mm für Vertikalschwingungen und 2 mm für Horizontalschwingungen nicht überschreiten, während für die Beschleunigungen ein Maximalwert von 0,1g bzw. 0,02g empfohlen wird. Die Grenzwerte sind nochmals in Tab. 5 zusammengefasst.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Auf der Basis eines einfachen, analytisch lösbaren nichtlinearen Masse-Feder-Systems wurde ein Lastmodell vorgestellt, dass die dynamischen Einwirkungen von gehenden, laufenden und hüpfenden Fußgänger realistisch abbilden kann. Mit experimentellen Messungen an Testpersonen konnte das Lastmodell verifiziert und charakteristische Größen, wie z.B. die Spektren der Schrittfre-

quenzen, abgeleitet werden. Damit steht dem Anwender ein Lastmodell zur Verfügung, mit dem im Entwurfs- und Planungsstadium Schwingungsuntersuchungen an einem Bauwerk infolge Fußgänger induzierter Lasten durchgeführt werden können. Mit Hilfe einer Fourierzerlegung wurden anschließend die resultierenden Lasten derart umgeformt, dass sie bei kommerziellen Programmen einfacher berücksichtigt werden können. Auf der Basis der Fourieramplituden kann zusätzlich die resultierende Maximalantwort im Resonanzfall abgeschätzt werden, mit der die Schwingungsanfälligkeit von Brücken unter Fußgängereinwirkung beurteilt werden kann. Als Grenzwerte dienen dabei die aus der Literatur bzw. den Normen angegebenen Anhaltswerte.

LITERATUR

- [1] DIN 1072, Straßen- und Wegbrücken, Lastannahmen, Dezember 1985.
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN-Fachbericht 101 – Einwirkungen auf Brücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, 2003.
- [3] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN-Fachbericht 102 – Betonbrücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, 2003.
- [4] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN-Fachbericht 103 – Stahlbrücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, 2003.
- [5] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN-Fachbericht 104 – Verbundbrücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, 2003.
- [6] P.A. Dallard et al.: The London Millennium Footbridge. The Structural Engineer, Vol. 79, 22, 2001, pp. 17-35.
- [7] Francoise, Fromonot: Marc Mimram, Passerelle Solferino Paris, Birkhäuser Verlag, 2001.
- [8] Neuner, F.: Geh- und Radwegbrücke über den Main-Donau-Kanal in Forchheim: Entwurf und Ausarbeitung des ausgeführten Sondervorschlags, Stahlbau 73 (2004), Heft 1, S. 15-19.
- [9] Bachmann, H., Ammann, W.: Schwingungsprobleme bei Bauwerken – Durch Menschen und Maschinen induzierte Schwingungen, Structural Engineering Documents 3d, Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau (IVBH), Zürich, 1987.
- [10] Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 2: Brücken, August 1999.
- [11] Bachmann, H.: Lebendige Fußgängerbrücken – eine Herausforderung, Bautechnik 81 (2004), Heft 4, S. 227 – 236.
- [12] Tilly, G., P., Cullington, D. W., Eyre, R.: Dynamic Behaviour of Footbridges. IABSE-Surveys, S-26/84, S. 13-24, 1984.

- [13] Wheeler, J., E.: Prediction and Control of Pedestrian-induced Vibration in Footbridges, *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol. 108, No. ST9, 1982, S. 1045-2065.
- [14] Bachmann, H.: Schwingungsprobleme bei Fußgängerbauwerken, *Bauingenieur* 63 (1988), S. 67-75.
- [15] VDI Richtlinie 2057: Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Schwingungseinwirkung auf den menschlichen Körper, 2002.
- [16] DIN 4150: Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf den Menschen, Ausgabe Juni 1999.
- [17] ISO 10137: Grundlagen für die Planung von Tragwerken, Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei Erschütterungen, Beuth Verlag, 1992.
- [18] BS 5400: Steel, concrete and composite bridges, Part 2: Specifications for loads, Appendix C: Vibration serviceability requirements for foot and cycle track bridges, 1978.
- [19] Ministry of Transportation: Ontario Highway Design Code, Toronto, 1983.
- [20] Schäpertöns, B., Schäfer, D.: Begehbare Doppelhelix – Eine unendlich lange Fußgängerbrücke, DACH Tagung, September 2003, Zürich, S. 27 – 34.
- [21] Grundmann, H., Kreuzinger, H., Schneider, M.: Schwingungsuntersuchungen von Fußgängerbrücken, *Bauingenieur* 68 (1993), S. 215 – 225.
- [22] Petersen, C., *Dynamik der Baukonstruktionen*, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden, 1996.
- [23] Kreuzinger, H.: Dynamic design strategies for pedestrian and wind actions, *Proc. of the conference Footbridge 2002*, Paris, France, 2002.
- [24] Seiler, C., Fischer, O. and Huber, P.: Semi-active MR dampers in TMD's for vibration control of footbridges, Part 2: Numerical analysis and practical realisation, *Proc. of the conference Footbridge 2002*, Paris, France, 2002.
- [25] Petersen, C.: *Schwingungsdämpfer im Ingenieurbau*, Hrsg. Maurer Söhne GmbH & Co. KG, Merkle Druck, Donauwörth, 2001.
- [26] Wilford, M.: Dynamic Actions and Reactions of Pedestrians, *Proc. of the conference Footbridge 2002*, Paris, France, 2002.
- [27] Kramer, H., Kebe, H.-W.: Durch Menschen erzeugte Bauwerkschwingungen, *Bauingenieur* 54, Springer-Verlag, 1979.
- [28] Matsumoto, Y., Nishioka, T., Shiojiri, H., Matsuzaki, K.: Dynamic Design of Footbridges, *IABSE Proceedings*, August 1978.
- [29] Baumann, K., Bachmann, H.: Durch Menschen verursachte dynamische Lasten und deren Auswirkungen auf Balkentragwerke, Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Mai 1988.
- [30] Rainer, J., H., Pernica, G., Allen, D., E.: Dynamic Loading and Response of Footbridges, *Canadian Journal of Civil Engineering* 15 (1), 66, 1988.
- [31] Schewe, Heidi: *Biomechanik – wie geht das?*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 2000.
- [32] Fischer, O.: *Der Gang des Menschen*, B. G. Teubner, Leipzig, 1904.
- [33] Galbraith, F. W., Barton, M. V.: Ground Loading from Footsteps, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Volume 48, Number 5 (Part 2), 1970.
- [34] Bachmann, H. et al.: *Vibration problems in structures – Practical guidelines*, 2nd Edition Birkhäuser Verlag, Basel Berlin Boston, 1997.
- [35] Harper, F. C.: *The Mechanics of Walking*, *Research Applied in Industry*, Volume XV, Number 1, January 1962.
- [36] McRobie, A., Morgenthal, G.: Full-scale Section Model Tests on Human-Structure Lock-in, *Proc. of the conference Footbridge 2002*, Paris, France, 2002.

aFuE-PROJEKT: STEIGERUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT VON STABILISIERUNGSSÄULEN ALS BAUGRUND VERBESSERENDE MAßNAHME

Wohn- und Industriegebiete erstrecken sich zunehmend auch in Bereiche mit schlechten bis sehr schlechten Baugrundverhältnissen, die deshalb auch in den letzten Jahrhunderten nicht besiedelt und überbaut wurden. Beim Bau von Landverkehrswegen müssen oft Flussauen, Moore und Uferbereiche von Seen in Dammlage gequert werden. Aber auch Flughäfen werden u.a. wegen des Fluglärms zunehmend weit außerhalb von Städten in Gebieten mit sehr schlechten Baugrundverhältnissen errichtet. Dabei stehen häufig Weichschichten (Auelehm, Seeton, Klei, Mudde, organische Böden, etc.) mit großer Mächtigkeit und einem Grundwasserspiegel mit nur wenigen Dezimeter Abstand zur Geländeoberfläche an. Vor der Bebauung müssen die Weichschichten durch Baugrundverbesserungsmaßnahmen so weit ertüchtigt werden, dass eine Bebauung möglich wird.

In diesen zuvor genannten Situationen scheiden klassische Baugrundverbesserungsverfahren – wie z. B. der Bodenaustausch – häufig aus wirtschaftlichen Gründen und aus Gründen des Umweltschutzes aus. Baugrundverbesserungsverfahren wie Vorbelastung durch Aufschüttungen und/oder in Kombination mit setzungsbeschleunigenden Maßnahmen (Vertikaldrains) zur Kompression der Weichschichten (Konsolidierung) sind ebenfalls häufig unwirtschaftlich und stark umweltbelastend wegen den erforderlichen Massentransporten für die Aufschüttungen. Trotz dem Einsatz von setzungsbeschleunigenden Maßnahmen wird der Baufortschritt immer noch stark behindert, was bei den heutigen Verträgen und den zur Verfügung stehenden Bauzeiten aus wirtschaftlichen Gründen zur Vermeidung dieser Baugrundverbesserungsmaßnahmen führt. Im Allgemeinen wird bei diesen relativ häufig anzutreffenden Verhältnissen der Baugrund dann durch säulenartige Lastabtragungselemente – sogenannte Stabilisierungssäulen (StS) – verbessert. Die StS sind deutlich steifer als die Weichschichten und tragen die Lasten zumeist in tiefere gut tragfähige Schichten ab. StS werden direkt unter Einzel- oder Streifenfundamenten aus Stahlbeton angeordnet. Unter Dammbauwerken werden z.B. nach Kempfert et al. (1997) geokunststoff-bewehrte Tragschichten zwischen Damm und StS angeordnet, die für die Verteilung bzw. Konzentration der Lasten auf die STS sorgen und den weichen Boden dazwischen weitgehend entlasten.

Aufgabenstellung des aFuE-Vorhabens war die Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Baugrundverbesserungsmaßnahmen mittels Stabilisierungssäulen. Um dieses Gesamtziel zu erreichen, waren im Wesentlichen folgende Punkte abzuarbeiten:

- Entwicklung und Einsatz geeigneter Mess- und Gerätetechnik zur Erfassung des Last - Verformungsverhaltens von Stabilisierungssäulen bei Probelastungen in situ.
- Entwicklung und Einsatz einer vorschubgesteuerten Belastungseinheit für die Durchführung der Probelastungen.
- Durchführung und Auswertung von Probelastungen in situ.

- Genauere Erfassung des Lastabtragungsverhaltens von Stabilisierungssäulen auf Basis der ermittelten Versuchsdaten.
- Entwicklung von praxistauglichen Modelle für die Bemessung von Stabilisierungssäulen.

Im Rahmen des Vorhabens war die intensive Zusammenarbeit mit Unternehmen und Ingenieurbüros Voraussetzung für das Gelingen des Projektes:

- Die bereits vorhandenen Daten zur Belastungsversuchen an CSV-Stabilisierungssäulen von der Hochgeschwindigkeitsstrecke Köln – Rhein/Main der DB AG wurden vom Ingenieurbüro ARCADIS, Darmstadt zur Verfügung gestellt.
- Den wesentlichsten Teil an Unterstützung bei diesem Projekt wurde von der Fa. Bauer Spezialtiefbau, Schrobenhausen geleistet. Die Fa. Bauer modifizierte ihre Gerätetechnik, stellte Infrastruktur zur Verfügung und errichtete die Probefelder in Schrobenhausen und auf der A20 inklusive der Stabilisierungssäulen mit und ohne Messtechnik. Ein großer Kostenfaktor war neben der Modifizierung insbesondere die Verbrauchsmaterialien, die Baustoffe, der Treibstoff sowie die Wartung und die Vorhaltung der kompletten Gerätetechnik für die Säulenherstellung und die Probelastungen.
- Die CRP-Belastungseinheit (CRP := Constant Rate Penetration) für die Probelastungen wurde gemeinsam mit der Fa. Wille Geotechnik, Göttingen entwickelt. Die Entwicklung der mobilen CRP-Belastungsanlage konnte recht zügig abgeschlossen werden, so dass 1-te Feldeinsätze möglich waren. Gegenüber der ursprünglich angedachten Triaxialtechnik wurde eine Hochleistungshydraulik mit einer SPS-Steuerungseinheit eingesetzt (Bild 1). Zusätzlich konzeptionierte und lieferte die Fa. Wille eine 16-Kanal-Messanlage.
- Aufgrund fehlender Mittel im Projekt für den Erwerb der Belastungseinheit durch die FHR nach deren Entwicklung, wurde auf Wunsch des Entwicklungspartners Fa. Wille Geotechnik der Kollege Prof. Dr.-Ing. W. Reitmeier von der FH Konstanz mit einbezogen. Prof. Reitmeier ist Obmann des Arbeitskreises „Stabilisierungssäulen“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) und verfügte über Mittel, die Anlage zu erwerben. Als Ausgleich wurde die Belastungseinheit für einige Feldversuche von der FH Konstanz kostenlos zur Verfügung gestellt.
- Die Entwicklung der in den STS integrierten Messtechnik (Bild 2) erfolgt gemeinsam und völlig reibungslos mit der Fa. Glözl Baumesstechnik, Rheinstetten bei Karlsruhe. Verschiedenen kleinere Geräte wurden von diesem Partner ggf. auch kurzfristig und kostenlos zur Verfügung gestellt.

Da die Untersuchungen schwerpunktmäßig direkt auf der Baustelle stattfinden, musste ein Großteil der Entwicklungen direkt von den Partnern getragen werden.



Bild 1: Entwickelte mobile CRP-Belastungsanlage. Hochleistungshydraulik und Steuerelektronik im Aluminiumkoffer. Im Vordergrund: blaue Kraftmessdose, gelb ölhydraulischer Kolben, silber Krafteinleitungs- und Setzungsmesseinrichtung mit Seilzuggeber im "Tunnel" erkennbar.



Bild 2: Auf dem Versuchsfeld Schrobhausen eingesetzte Messtechnik: Integralgeber als Messkette. Der Messbereich eines Gebers liegt zwischen den Messingringen bzw. der Spitze und den Messingringen. Vorne schraubenförmige Verankerungsspitze zur Fixierung am Verpresskopf.

Für die Untersuchungen wurde als Stabilisierungssäulentyp wurde das sog. CSV-Verfahren des Partners Bauer Spezialtiefbau ausgewählt, da dieses aufgrund einer rohrartigen Schnecke zum Einbringen von Messtechnik geeignet war (Bild 3). Die Idee, der Ausnutzung der rohrartigen Schnecke zum Einbringen von Messtechnik, bot die Grundlage für eine grundsätzliche Weiterentwicklung des CSV-Verfahrens. Nach dem gleichen Prinzip können auch z. B. Bewehrungstäbe, Rohre, Dochte und Flüssigkeiten gezielt ins Säulenzentrum eingebracht werden. Deshalb wurde im April 2002 wurde gemeinsam mit der Fa. Bauer Spezialtiefbau ein Patentantrag mit dem Titel: „Verfahren und Tiefbauvorrichtung zur Herstellung einer Gründungssäule in einem Boden“ beim Patentamt in München eingereicht. Erfinder sind der PL, Prof. Dr.-Ing. Th. Neidhart und Dipl.-Ing. F.-W. Gerressen von der Fa. Bauer Spezialtiefbau. Die Offenlegung der Patentschrift erfolgte am 20. 11. 03 unter dem Zeichen DE 102 19 862 A1.

Neidhart & Mossallamy (2000) zeigten, dass das Last - Verformungsverhalten von STS-Gründungen mit mehr oder minder aufwändigen Berechnungsverfahren zu ermitteln ist, die Tragfähigkeit jedoch nur sehr schwer abschätzbar ist. Deshalb wurde nach der Durchführung der Felduntersuchungen ein Bemessungsverfahren für STS basierend auf den Kennwerten von Drucksondierungen entwickelt. Ähnliche Verfahren wie z. B. von Rollberg (1976) und die am Anfang dieses Abschnitts erwähnte niederländische Pfahlnorm – z. B. Te Kamp (1977) - verwenden ausschließlich den Spitzendruck der Drucksondierung. Vermutlich liegt das an der in den 70-er Jahren zur Verfügung stehenden Drucksondiertechnik, die zumeist ohne Messung der lokalen Reibung (f_s) an der Sondierspitze ausgeführt wurden. Inzwischen sind Reibungsmessungen an der Sondierspitze mittels sog. Reibungshülsen Standart und können folglich im Hinblick auf die Mantelreibung der CSV-Säulen

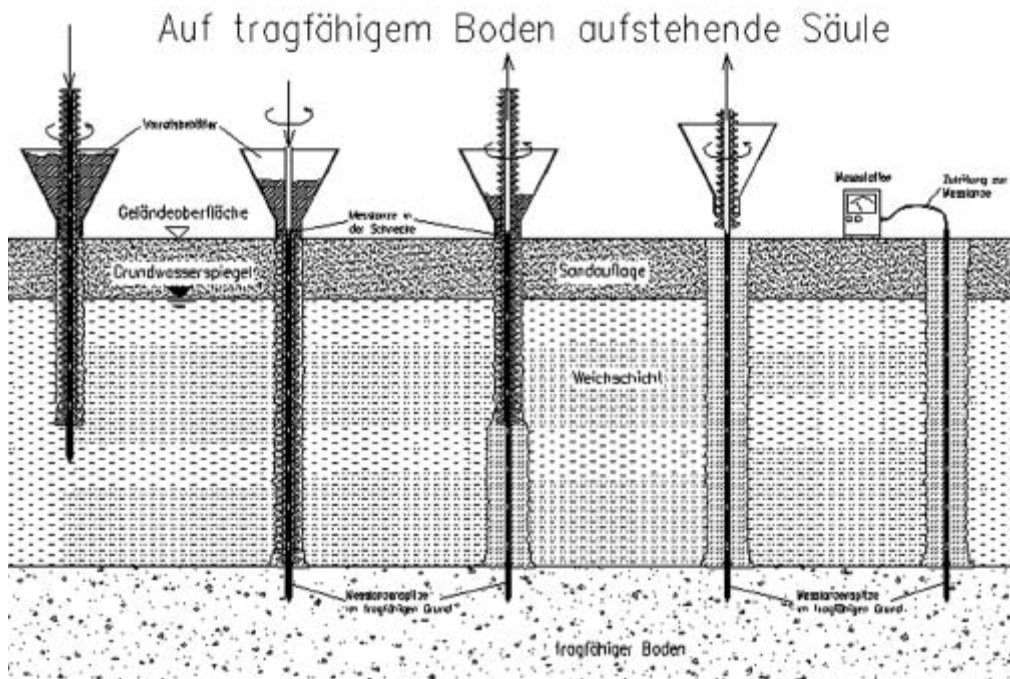


Bild 3: Prinzipieller Einbau einer Messkette aus Integralgebers mit der CSV-Schnecke.

mit ausgewertet werden. Als pragmatischer Ansatz wurde für die weiteren Untersuchungen

$$q_s^* \approx \sigma_{s,F} \quad \text{und} \quad f_s \approx \tau_{m,F} \quad (1)$$

gewählt, wobei q_s dem Spitzendruck der Drucksonde, $\sigma_{s,F}$ dem Sohlspannung der Säule und $\tau_{m,F}$ der Mantelreibung der Säule jeweils im Bruchzustand entsprechen.

In Anlehnung an die Vorgehensweise bei Rollberg und in der niederländischen Norm wurde für q_s^* ein mittlerer Wert der Spitzendrücke bis in eine Tiefe $4 \cdot d_s$ unter den Säulenfuß gewählt. Eine Durchmesserabhängigkeit des Spitzendrucks zwischen Sondierspitze und CSV-Säule kann noch vernachlässigt werden, wie aus Vergleichen bei Franke (1997) hervorgeht. Die Ergebnisse dieses Ansatzes sind in Diagramm 1 dargestellt.

Der Zusammenhang lässt sich relativ gut mit der im Diagramm angegebenen Gleichung der Ausgleichsgeraden annähern. Ergänzend wurde in Diagramm 1 eine gestrichelte Grenzgerade eingezeichnet, die etwa mit $y = 1,36 \cdot x$ verläuft; Wertepaare über dieser Gerade wurden bisher nicht ermittelt.

Auf Basis der in Diagramm 1 dargestellten Ergebnisse kann für die Bemessungspraxis der CSV-Säulen folgende Vorgehensweise empfohlen werden, falls die Grenztragfähigkeit der Säule mit Hilfe von Drucksondierungen abgeschätzt werden soll. Zunächst wird die Grenztragfähigkeit aus den Ergebnissen der Drucksondierungen nach Gl. (1) mit

$$Q_s \approx q_s^* \cdot A_s = q_s^* \cdot (d_s^2 \cdot \pi) / 4 \quad \text{und} \quad Q_M \approx \sum (f_{s,i} \cdot U_{s,i} \cdot t_i) = \pi \sum (f_{s,i} \cdot d_{s,i} \cdot t_i), \quad (2)$$

ermittelt, wobei A_s der Sohlfläche und $U_{s,i}$ dem Umfang der Säule im jeweiligen Säulenabschnitt i der Länge t_i entspricht. Daraus ergibt sich die Grenztragfähigkeit der CSV-Säule mit

$$Q_{CSV} = (Q_s + Q_M) / 1,30. \quad (3)$$

Bei Gl. (3) ist zu beachten, dass Q_{CSV} nicht, wie bei Bohrpfählen üblich, die Grenztragfähigkeit bei einer Setzungen $s = 0,1 \cdot d_s$ festgelegt wurde, sondern der Grenztragfähigkeit entspricht, die sich aus einer hyperbolischen Näherung des Last - Setzungsverlauf ergibt. Mit (3) werden in Diagramm 1 bei insgesamt 29 Wertepaaren nur 2 nicht abgedeckt.

Das hier vorgeschlagene Verfahren besitzt noch einige Möglichkeiten weiter verbessert zu werden. So können z. B. im Labor Maßstabsfaktoren zwischen Drucksondierungen und Säulen ermittelt, die Geschwindigkeitsabhängigkeit der unterschiedlichen Belastungen bei Drucksondierung und Probelastung ermittelt und berücksichtigt werden, etc. Nach dem mit der oben aufgezeigten Methode ein für die Praxis gut handhabbares Verfahren aufgestellt wurde, konnte auf die Durchführung von vergleichenden Berechnungen mit an der FH Regensburg vorhandenen Programmen wie z. B. FEM-Paket PLAXIS abgesehen werden. Diese sollten jedoch im Rahmen weitere Schritte angestellt werden,

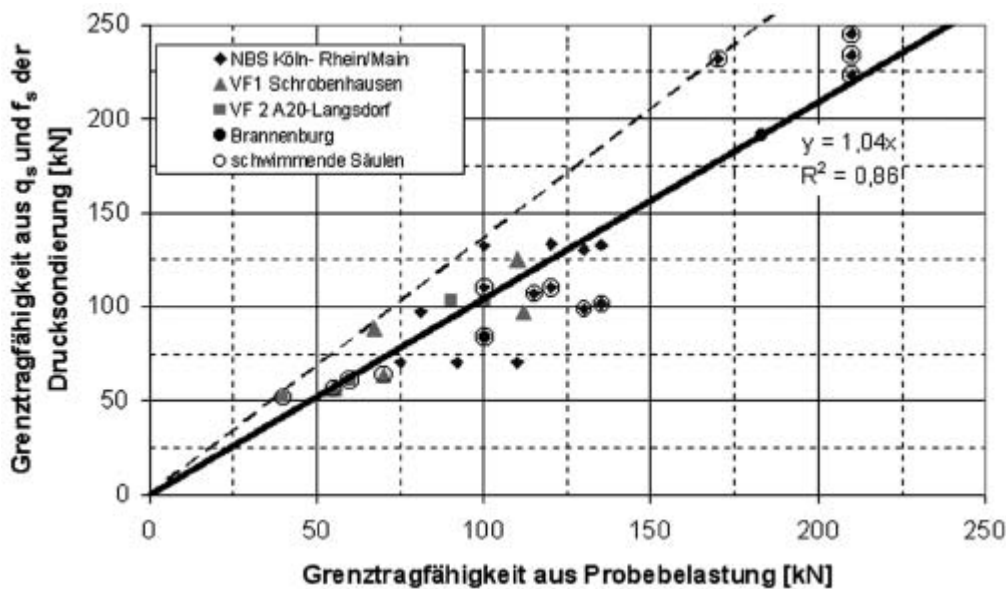


Diagramm 1: Gegenüberstellung Grenzttragfähigkeiten aus Probelastungen z. T. mit hyperbolischer Extrapolation und Grenzttragfähigkeiten direkt aus q_s^* und f_s der Drucksondierung berechnet

um z. B. den Eindringvorgang im Fußbereich bei aufstehenden Säulen besser zu verstehen und berücksichtigen zu können. Hier bieten sich weiter Entwicklungsmöglichkeiten im Sinne von z.B. Cudmani et al. (2002) an.

Das aFuE Projekt: „Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Stabilisierungssäulen als Baugrund verbessernde Maßnahme“ wurde vom AiF, Köln mit dem FKZ 170 01.01 gefördert.

LITERATUR, REGELWERKE UND UNTERLAGEN

- Cudmani, R. Thomas, M., Schwarz, W., Geressen, F.-W. (2002): Versuche zur Optimierung des Coplan-Stabilisierungsverfahrens (CSV). Geotechnik 2/2002, S. 114-119.
- Franke, E. (1997): Pfähle; Kapitel 3.3 in Grundbautaschenbuch Teil 3, 5-te Auflage, Ernst & Sohn, Berlin
- Kempfert, H.G. & Stadel, M. & Zaeske, D. (1997): Berechnung von geokunststoffbewehrten Tragschichten über Pfählelementen; Bautechnik 74 H.12, S.818-825.
- Neidhart, Th. & Y. El - Mossallamy (2000): Berechnungsverfahren zur Modellierung der Wechselwirkung zwischen Stabilisierungssäulen, Untergrund und Bauwerken; DGGT, Vorträge zur Baugrundtagung in Hannover, S.129-138.
- Rollberg, D. (1976): Bestimmung des Verhaltens von Pfählen aus Sondier- und Rammergebnissen; Forschungsberichte aus Bodenmechanik und Grundbau (FBG), TH Aachen, 4.

Te Kamp, W.C. (1977): Sondern end funderingen op palen in zand; Fugro Sounding Symposium, Utrecht.

RECHTLICHE FRAGEN BEI BUSINESS-TO-BUSINESS (B2B)-GESCHÄFTEN

Das von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), einem Projektträger des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, im Jahr 2000 genehmigte Forschungsprojekt wurde Anfang 2003 begonnen und endete im Juli 2004.

I AUFGABENSTELLUNG

Die Aufgabenstellung war, die medien-, vertrags-, urheber-, kartell- und datenschutzrechtlichen Fragen bei B2B (Business-to-Business) Geschäften, die zum Zeitpunkt des Projektbeginns in Rechtsprechung und Literatur nicht ausreichend behandelt wurden, herauszuarbeiten und für die Praxis taugliche Lösungen anzubieten. Um den gewünschten Praxisbezug herzustellen, wurde mit einem Unternehmen zusammengearbeitet, das als Betreiber einer Internetplattform von professionellen Filmemachern hergestelltes Filmmaterial an professionelle Interessenten (Filmemacher, Werbeagenturen) vertreibt. Trotz der schwierigen wirtschaftlichen Situation ist das Unternehmen, das im Jahr 2000 gegründet wurde, heute noch als Filmhändler tätig.

II INHALTLICHE ERGEBNISSE

1. Medienrechtliche Fragen

Die Tätigkeit der mit B2B-Geschäften tätigen Unternehmen ist unter das Teledienstegesetz (TDG) einzuordnen¹. Rundfunkstaatsvertrag sowie Mediendienste-Staatsvertrag sind nicht anwendbar, da die Tätigkeit des Unternehmens nicht massen-, sondern individualkommunikativ ausgerichtet ist. Bei der Untersuchung konnte nicht festgestellt werden, dass das in der Europäischen Union für den E-Commerce geltende Herkunftslandprinzip für B2B-Anbieter, die in Deutschland ansässig sind, hinderlich ist, wenn sie ihre Leistungen außerhalb Deutschlands erbringen. Das Unternehmen, mit dem das Projekt durchgeführt wurde, tätigt viele Geschäfte im EU-Ausland, aber auch mit Drittstaaten. Die Anwendung deutschen Rechts hat seine unternehmerischen Möglichkeiten nicht eingeschränkt.

2. Vertrags, urheber- und persönlichkeitsrechtliche Fragen

Das Ergebnis des Forschungsprojektes wird demnächst in einer Dissertation veröffentlicht (s. dazu unter III.1). Darüber hinaus wird ein Artikel in einer Fachzeitschrift erscheinen (s. unter III.3).

3. Kartellrechtliche Fragen

Bei dem Unternehmen spielen kartellrechtliche Fragen keine Rolle. Zum einen bewegt es sich nicht auf einem elektronischen Marktplatz, und zum anderen ist es zu klein, als dass ihm Probleme bei wettbewerbsbeschränkenden Absprachen insbesondere im Vertikalverhältnis entstehen könnten.

In der Praxis haben die Kartellbehörden – EU-Kommission und Bundeskartellamt – bisher keinen elektronischen Marktplatz untersagt. Die Prüfung erfolgt in der Regel nach den Regeln der Fusionskontrolle (EG-Fusionskontrollverordnung, § 35 GWB) und den kartellrechtlichen Vorschriften (Art. 81 EG-Vertrag², § 1 GWB³).

Nach Auffassung der EU-Kommission wirken sich B2B-Marktplätze grds. positiv auf den Wettbewerb aus. Die höhere Markttransparenz darf die Kartellbildung nicht erleichtern.

Bei Elektronischen Handelsplattformen, wenn sie die Umsatzgrenzen des Art. 1 EG-Fusionskontrollverordnung erreichen, fehlt es in der Fusionskontrolle häufig am Zusammenschlussstatbestand⁴; soweit dies in den entschiedenen Zusammenschlüssen aber zutrif, waren sie mit dem Gemeinsamen Markt vereinbar⁵. Auch in der fusionskontrollrechtlichen Praxis des Bundeskartellamtes haben elektronische Plattformen eine Rolle gespielt⁶.

4. Datenschutzrechtliche Fragen

a. Lieferanten- und Kunden-Dateien

Bei dem Unternehmen existieren Dateien bezüglich Lieferanten und Kunden (Name, Adresse, Kontonummer). Anwendbar ist das Teledienstedatenschutzgesetz (TDDSG).

¹ Anderer Ansicht Oberverwaltungsgericht Nordrhein-Westfalen, Beschluss v. 19.3.2003, abgedruckt in Computer & Recht 2003, 361.

² Presseerklärung der Kommission v. 31.7.2001 "Covisint".

³ Bundeskartellamt WuE/E DE-V 479, 482 "BuyForMetals/Steel"; WuW/E DE-V 423, 426 "RubberNetwork.com"; WuW/E DE-V 321, 324 f. "Covisint"; Tätigkeitsbericht des Bundeskartellamtes 1999/2000 S. 47 f.

⁴ Bundeskartellamt WuW/E DE-V 423, 424 "RubberNetwork.com"; Bundeskartellamt WuW/E DE-V 321 "Covisint".

⁵ Tätigkeitsbericht des Bundeskartellamtes 1999/2000 S. 107 f.

⁶ Bundeskartellamt WuW/E DE-V 479 "BuyForMetals/Steel"; BKartA WuW/E DE-V 423 "RubberNetwork.com"; Bundeskartellamt WuW/E DE-V 321 "Covisint"; Tätigkeitsbericht des Bundeskartellamtes 1999/2000 S. 47 f., 107 f., 125.

b. Filmmaterial, auf dem Personen erkennbar sind

Bezüglich der Bilder/Filmsequenzen, auf denen Personen erkennbar sind, ist nicht das Teledienststedatenschutzgesetz (TDDSG), sondern das Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) heranzuziehen. Nach § 1 ist sein Zweck, den einzelnen davor zu schützen, dass er durch den Umgang mit seinen personenbezogenen Daten in seinem Persönlichkeitsrecht beeinträchtigt wird. Damit wird Inhabern von Persönlichkeitsrechten, die in Inhalten von Telediensten enthalten sind, Schutz gewährt. Das Gesetz gilt auch für nicht-öffentliche Stellen, soweit sie die Daten in oder aus Dateien geschäftsmäßig oder für berufliche oder gewerbliche Zwecke verarbeiten oder nutzen (§ 1 Abs. 2 Nr. 3 BDSG). Datenverarbeitung und -nutzung sind nur zulässig, wenn das BDSG, eine andere Rechtsvorschrift sie erlaubt oder anordnet oder soweit der Betroffene eingewilligt hat (§ 4 Abs. 1 BDSG).

5. Informations-, Hinweis- und sonstige Pflichten eines B2B-Online-Shop Betreibers

B2B-Online-Shop Betreiber sind umfangreichen Informations-, Hinweis- und anderen Pflichten (z. B. Teledienstegesetz - TDG; Teledienststedatenschutzgesetz - TDDSG) ausgesetzt (Näheres s. unter III. 2).

III. PUBLIZIERTE ERGEBNISSE

1. Im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt hat der juristische Mitarbeiter, Herr Assessor Gordon Grunert LL.M. (München), eine Dissertation unter dem Titel „Risikomanagement beim B2B-Filmlizenzhandel aus vertrags-, urheber- und persönlichkeitsrechtlicher Sicht“ geschrieben. Die Arbeit wurde an der Juristischen Fakultät der Technischen Universität Dresden von Herrn Prof. Dr. Horst-Peter Götting, Lehrstuhl für Bürgerliches Recht unter besonderer Berücksichtigung von Gewerblichem Rechtsschutz und Urheberrecht (ab 2005 Direktor des Instituts für Geistiges Eigentum, Wettbewerbs- und Medienrecht) betreut. Die Projektleiterin wurde zur Zweitgutachterin bestellt und gehörte bei der Verteidigung der Arbeit im Sommer 2005 der Kommission an. Die Arbeit wird in der Schriftenreihe des Instituts zum Geistigen Eigentum (Berliner Wissenschaftsverlag) erscheinen (Veröffentlichung: voraussichtlich Ende 2005).

2. Außerdem wurde ein Leitfadens für Unternehmen „B2B-Online-Shop“ (Autoren: Prof. Dr. Gabriela v. Wallenberg, Josef Wohlmannstetter) veröffentlicht. Er enthält betriebswirtschaftliche und rechtliche Hinweise für Betreiber eines B2B-Online-Shops.

3. Ein juristischer Mitarbeiter wird zu „Fragen des Rechts am eigenem Bilde im Rahmen der Vermarktung von Bewegtbildern durch Filmagenturen“ einen Fachartikel veröffentlichen.

4. Die Projektleiterin wird in der juristischen Fachzeitschrift „Multi-Media & Recht“ über das Projekt berichten.

5. Der Schlussbericht mit den Einzelergebnissen wurde der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AiF) und der Technischen Informationsbibliothek Hannover übersandt.

ABSCHLUSS DES PROJEKTS HASASEM

MECHATRONICS RESEARCH UNIT

HASASEM steht für Haptisches Sensor - Aktor - System auf der Grundlage der Echtzeitelastographie sowie von elektro- und magnetorheologischen Materialien. Das Projekt HASASEM war ein durch die Bundesanstalt für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Teilprojekt des Projekts Virtuelle und Erweiterte Realität. Das Hauptziel des Projektes HASASEM bestand in der Entwicklung eines Systems zur Erfassung der Festigkeit realer Objekte und deren Darstellung als virtuelles Objekt mittels haptischer Aktoren (haptische Aktoren sind Anzeige-Elemente, die Tasteindrücke vermitteln können). Das System soll vor allem in der Medizintechnik als Tool zur Fern-diagnose Anwendung finden [Monkman, 2001].

Die prinzipielle Funktion dieses Systems ist wie folgt: ein Echtzeit-Elastographie-Messsystem detektiert mit Hilfe eines piezoelektrischen Ultraschallmesskopfes die räumliche Festigkeitsverteilung einer Probe. Bei den Proben handelt es sich dabei um ein Organ oder ein Gewebefragment eines Patienten (z.B. Leber oder die abdominale Region). Durch die Messung der Festigkeitsverteilung im Gewebe verspricht man sich dabei Aufschlüsse über den Gesundheitszustand des Patienten. Beispielsweise unterscheidet sich die Festigkeit von gesundem Gewebe deutlich von malignem Gewebe (Tumor).

Die elastographischen Daten, die die Information über die Festigkeitsverteilung enthalten, werden dann durch einen entsprechenden Software-Algorithmus in Zahlenwerte umgerechnet und in einer Tabelle gespeichert. Als Datenformat wurde ein MatLab Array gewählt. Dieses Array dient als Schnittstelle zwischen dem Messsystem einerseits und dem Anzeigesystem andererseits [Kahled et al. 2004].

Das Anzeigesystem besteht aus einem GaAs-Sensor-Array und einem haptischen Aktor-Array basierend auf elektrorheologischer Flüssigkeit. Die Daten werden durch ein Steuerprogramm von dem MatLab Array übernommen und aufbereitet. Sie werden benutzt, um mit Hilfe eines Beamers die lichtsensitiven GaAs-Sensoren anzusteuern. Der elektrische Widerstand der GaAs-Sensoren nimmt mit zunehmender Beleuchtungsstärke ab. Diese Abhängigkeit lässt sich zur Ansteuerung der haptischen Aktoren ausnutzen.

An der Fachhochschule Regensburg wurden die für die Steuerung der Aktoren notwendige Software sowie mehrere GaAs-Sensor-Arrays entwickelt und aufgebaut.

Kurzbeschreibung der Funktionsweise des Gesamtsystems

Das Gesamtsystem ist, wie in Abbildung 1 zu sehen, aufgebaut. Ein Sensorsystem detektiert (siehe Abbildung: 1.1) zunächst die Festigkeitsverteilung eines realen Objekts. Das Sensorsystem basiert auf der Ultraschallelastographie, einer neuen Technik, die

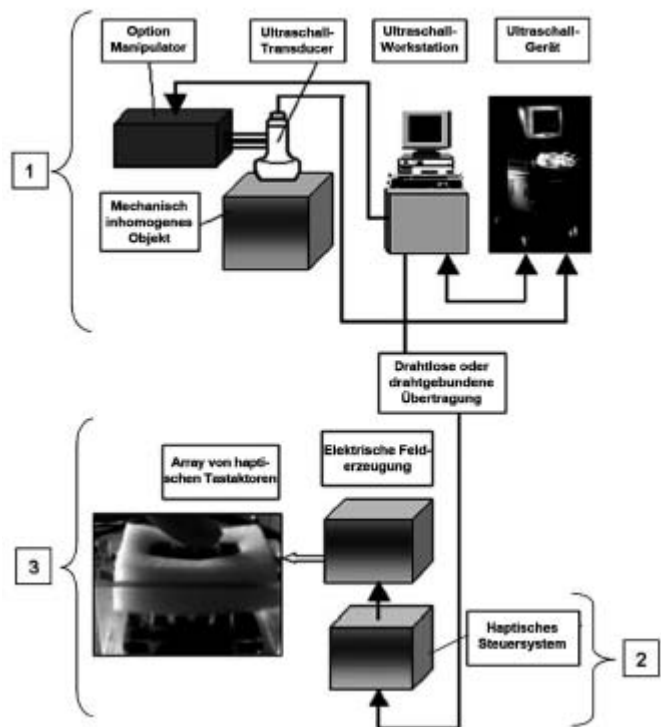


Abbildung 1: Funktionsweise des Gesamtsystems

seit kurzem auch in Echtzeit eingesetzt werden kann. Die aufgenommenen Festigkeitsdaten werden entweder zwischengespeichert oder direkt an das Aktorsystem (siehe Abbildung: 1.3) übertragen, um das Objekt virtuell darzustellen. Von den Aktoren werden auf einer zunächst planaren Oberfläche unterschiedliche Nachgiebigkeiten erzeugt, die mit den Fingern ertastbar sind. Die Oberflächenauflösung des Aktorsystems soll im fertigen System ca. 2 mm erreichen, was etwa dem physiologischen Auflösungsvermögen der Fingerspitze entspricht.

Zum Aufbau des Aktorsystems werden elektro- und magnetorheologische Materialien eingesetzt [Klein et al. 2004]. Solche sog. Smart Materials zeigen eine deutliche Veränderung ihrer Konsistenz beim Anlegen eines elektrischen bzw. magnetischen Feldes. Das Aktorsystem besteht aus einer Vielzahl von Zellen in der Größenordnung von bis zu 1000 Stück, die elektrisch einzeln angesteuert werden können und damit die mit den Fingern fühlbare Festigkeitsverteilung erzeugen. Dargestellt in Abbildung 2 ist die erste 16 mal 16 Elementversion.

Für die Ansteuerung (siehe Abbildung: 1.2) der hierbei verwendeten elektrorheologischen Flüssigkeit sind Feldstärken bis zu einigen kV/mm notwendig. Dies erfordert bei der Vielzahl der einzeln steuerbaren Zellen eine neuartige Schaltungstechnologie, da das Schalten von Hochspannung (um niedrigen Strom) mit herkömm-



Abbildung 2:
Taktiler Array
mit 16*16
Elementen

Beamer mit einer Auflösung von 1024*768 Pixel, der das „Elastographiebild“ auf das 16 mal 16 Array aus quadratischen GaAs Stücken mit einer Kantenlänge von 2.5 mm projiziert.

Haptisches Steuersystem

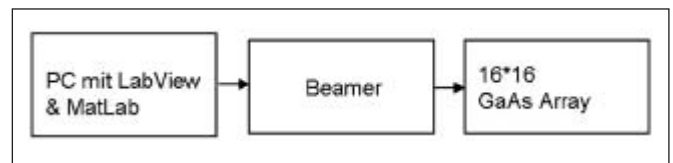


Abbildung 3: Aufbau des haptischen Steuersystems

lichen Halbleiter-Elementen nur bis ca. 1600 Volt möglich ist. Die Nachteile dieser Elemente sind hierbei jedoch, dass erstens bei solchen Spannungen kostenaufwändige Optoisolatorelemente verwendet werden müssen, und zweitens über 1600 Volt die physikalische Größe wegen des höheren Strombedarfs der Elemente steigt.

Funktionsweise des Steuersystems

Das elastographische Bild wird über MatLab in eine Matrix von Einzelementen umgerechnet (siehe Abbildung 4). Die Anzahl der Einzelemente richtet sich dabei nach der Größe des Arrays, auf das das Bild projiziert werden soll. In unserem Fall eines 16*16 Arrays enthält die Matrix 16*16 Einzelemente. Jedes dieser Matrixelemente wird durch eine Zahl zwischen 0 und 255 beschrieben. Der Wert „0“ bedeutet hierbei „weich“ und der Wert „255“ bedeutet „hart“. Werte zwischen „0“ und „255“ kodieren zunehmende Festigkeit.

Aus diesen Gründen war es notwendig, ein neuartiges System zum Schalten von Hochspannungen zu entwickeln, dass es außerdem ermöglichte, kostengünstig sowie platz- und energiesparend, bis zu 1024 Schaltelemente zu realisieren. Darüber hinaus musste die entsprechende Kontroll-Software entwickelt werden, die die an das haptische Anzeigesystem übermittelte elastographische Information in Steuersignale für die GaAs-Sensoren umwandelt [Meier et al. 2004]. Diese Aufgaben fielen der Mechatronics Research Unit der Fachhochschule Regensburg zu.

Dieses Array wird nun benutzt, um mittels LabView und einem Beamer Bilder (Images) zu generieren, die auf das GaAs-Sensor-Array projiziert werden. Jedes dieser Images besteht aus 16*16 Pixel, wobei jeder Pixel zur Ansteuerung eines GaAs-Sensor-Elementes benutzt wird. Die Translation ist sehr einfach: „0“ entspricht schwarz, „255“ entspricht weiß, und die Werte dazwischen kodieren entsprechende Graustufen. Die unten stehende Abbildung 5 zeigt ein solches Image.

Aufbau des Steuersystems

Der entwickelte Prototyp des Steuersystems, wie in Abbildung 3 dargestellt, besteht aus einem PC mit 1,6 GHz Duron Prozessor mit Kontroll-Software (geschrieben mit LabView 6i), einem Optoma

Dieses Image wird auf das GaAs-Array projiziert, wobei jeder Pixel auf einen GaAs-Sensor fällt und ihn steuert. Je höher die Helligkeit des Pixels, umso niedriger wird der Widerstand des Sensors [Zappa et al. 2004].

Abbildung 4:
Matrix File eines
elastographischen Bildes

Daten	Bearbeiten	Format																
109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	
110	113	116	117	117	117	115	113	110	109	111	108	104	109	109	104	109	104	
123	126	132	132	132	133	133	128	121	117	119	111	102	103	101	101	103	103	
145	148	153	154	156	158	157	150	140	131	125	113	105	101	97	104	104	104	
174	178	182	186	191	191	185	180	170	151	139	128	121	110	100	103	103	103	
203	210	220	228	221	215	204	195	184	160	145	134	122	110	100	105	105	105	
219	232	239	233	228	220	211	199	176	150	136	127	118	105	98	104	104	104	
216	220	227	224	218	211	201	179	155	137	131	126	119	110	107	112	112	112	
186	191	198	193	189	174	161	145	134	128	131	130	126	121	122	130	130	130	
138	148	150	144	137	132	123	123	123	122	126	128	128	125	126	135	135	135	
112	115	117	116	113	115	113	117	125	125	129	130	129	128	132	143	143	143	
116	114	115	116	116	116	122	127	137	144	149	163	157	151	151	161	176	176	
146	141	140	140	142	152	161	174	179	190	208	198	187	188	196	200	204	204	
184	177	178	187	190	196	196	206	211	213	224	216	206	207	210	214	214	214	
224	222	222	228	236	238	229	238	246	244	246	231	220	227	235	235	235	235	
238	241	244	248	246	245	240	250	251	248	255	245	235	225	225	226	233	233	

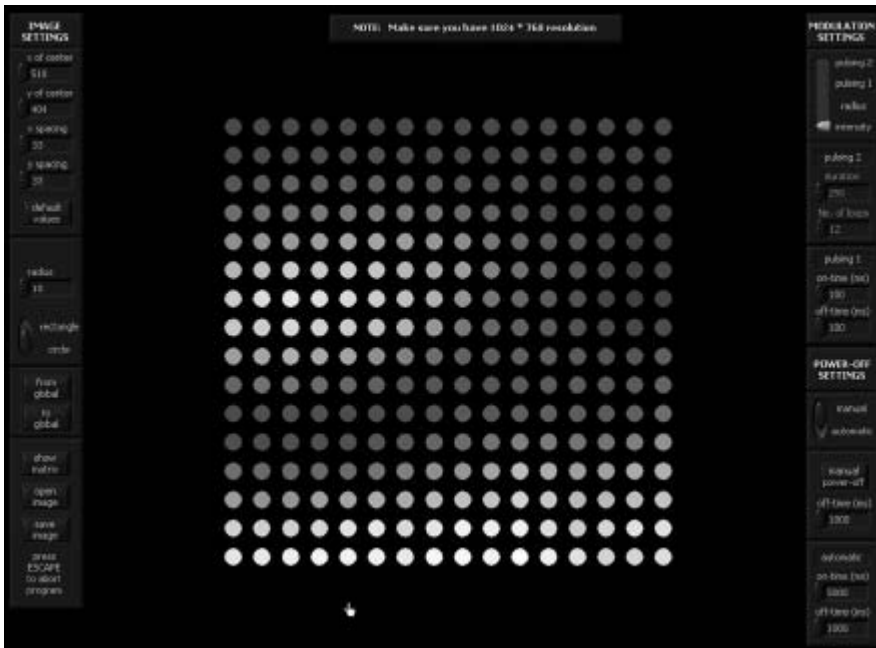


Abbildung 5: LabView Benutzeroberfläche

Da jeder Sensor mit einem haptischen Aktor in Reihe geschaltet ist, resultiert ein sinkender Sensor-Widerstand in einer steigenden, elektrischen Ansteuerung des haptischen Aktors, und umgekehrt (siehe Abbildung 6).

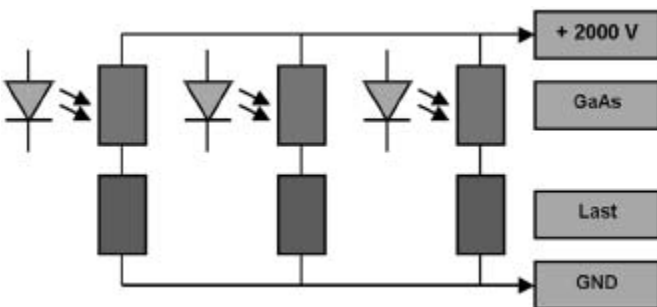


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Schaltung der opto-elektrischen (GaAs)-Elemente

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einer Projektlaufzeit von drei Jahren wurde das Projekt HASASEM 2005 zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht. Das Ende des Projektes HASASEM bedeutet aber nicht, dass in näherer Zukunft auf der Gebiet der Virtuellen und Erweiterten Rea-

lität zum Stillstand kommt. In Zusammenarbeit mit der Firma Multisensorial Technologies sowie durch Folgeforschungsanträge an das BMBF wird die Mechatronic Research Unit weiter auf dem Gebiet der Virtuellen und Erweiterten Realität ihre Kompetenzen ausbauen.

Literatur

Khaled. W, Reichling S., Bruhns O.T., Monkman G.J., Egersdörfer S., Baumann M., Böse H., Klein D., Freimuth H., Tunayer A., Lorenz A., Pessavento A., Ermert H., - Palpation Imaging using a Haptic System for Virtual Reality Applications in Medicine. - Proceedings of the 12th Annual Medicine Meets Virtual Reality Conference: - Building a Better You: The Next Tools for Medical Education, Diagnosis, and Care. - Medicine Meets Virtual Reality (MMVR) - Newport Beach (California,USA). 2004

Klein. D., D. Rensink, H. Freimuth, G.J. Monkman, S. Egersdörfer, H. Böse & M. Baumann - Modelling the Response of a Tactile Array using an Electrorheological Fluids - Journal of Physics D: Applied Physics, vol 37, no. 5, pp794-803, 2004

Meier. A, Monkman, G.J., Egersdörfer. S. - Hochspannungsschalter für kleine Ströme aus Semiisolierendem GaAs. - Forschungsbericht 04, Fachhochschule Regensburg, s34-36, 2004.

Monkman. G. - Haptisches Sensor-Aktor-System auf der Grundlage der Echtzeit Elastographie sowie von Elektro- und Magnetorheologischen Materialien - Forschungsbericht 01, Fachhochschule Regensburg, s70-72, 2001.

Zappa. O, G.J. Monkman, S. Egersdörfer, G. Datzler, W. Kahled, H. Böse, A. Tunayer - High Voltage Switching using Bulk GaAs - Actuator'04, Bremen, 14-16 June 2004.

Danksagung

Unser herzlicher Dank gilt allen technischen Mitarbeitern in diesem Projekt, vor allem aber auch den Mitarbeitern in der Verwaltung für die Unterstützung eines reibungsfreien Projektablaufs.

EIN TRAGBARES INVIVO L-BAND EPR-SPEKTROMETER FÜR DIE UNFALLDOSIMETRIE

MECHATRONICS RESEARCH UNIT

Einführung

Der vermehrte Einsatz ionisierender Strahlung in der Technik (Lebensmittelbestrahlung, Qualitätssicherung, Medizintechnik, Rüstungsindustrie und Atomenergie) führt zu einem immer größer werdenden Risiko nuklearer Unfälle. Hinzu kommen steigende terroristische Aktivitäten die ebenfalls zu einer Freisetzung ionisierender Strahlung vor allem für zivile Personen führen können. Dies führt zu einer immer größeren Notwendigkeit, solch eine Strahlenbelastung rekonstruieren zu können. Es hat sich in den letzten 10 Jahren gezeigt, dass Zahnschmelz hierfür ein geeignetes Material darstellt, da in ihm langzeitstabile Radikale durch die Bestrahlung entstehen. Die Bestimmung der Radikalkonzentration erfolgt dabei mit Hilfe der Elektronenspinresonanz. Die Entwicklung eines tragbaren und am lebenden Zahn einsetzbaren Spektrometerprototypen ist Gegenstand dieses Projekts.

Stand der Technik

Die derzeitigen Verfahren erlauben keine zerstörungsfreie Messung. Um das Hintergrundsignal im Spektrum zu minimieren und damit eine Nachweisgrenze von 100 mGy zu erreichen ist es notwendig, den Zahnschmelz vom Zahnbein zu trennen um den Anteil an biologischem Material zu verringern.

Tooth component	Hydroxyapatite content	Organic content	Water content
Tooth enamel	96%	3%	1%
Dentine	70%	20%	10%

Tab. 1: Zusammensetzung von Zahnbein und Zahnschmelz

Somit erhält man ein Zahnschmelzpulver das dann im x-Band (10 GHz) ausgewertet wird. Da in diesem Mikrowellenbereich erstens die Absorption von Wasser sehr hoch ist und zweitens die Ausdehnung eines Resonators zu klein ist, um einen ganzen Zahn in ihm unterzubringen sind bei der Gesellschaft für Gesundheit und Umwelt (GSF) in München erste Entwicklungen für ein L-Band (1 GHz) Spektrometer gemacht worden.

Im Vergleich zu den Spektren bei 10 GHz erhält man schlechter aufgelöste Spektren, wie in Abbildung 2 gezeigt.

Vorhaben des Projekts

Aus den oben beschriebenen Techniken ergeben sich drei Punkte die zunächst gelöst werden müssen, bevor eine Invivo-Dosimetrie an Zähnen mit einem L-Band Spektrometer möglich ist.

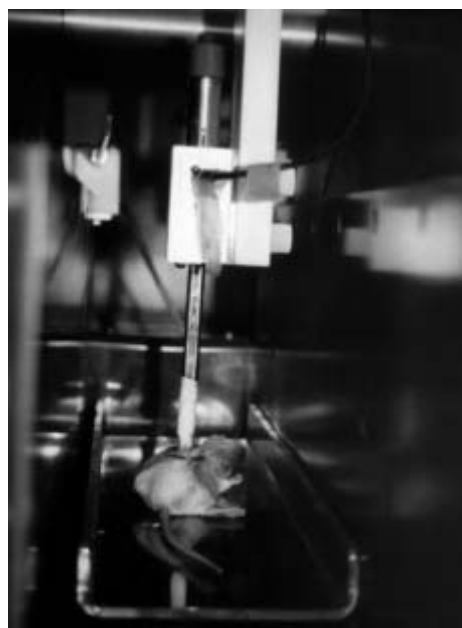


Abb. 1: Surface Resonator für L-Band Messungen an biologischen Objekten.

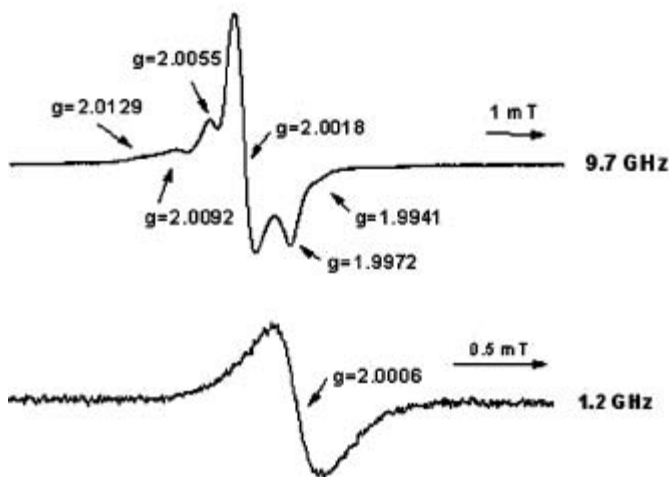


Abb. 2: Zwei Spektren von bestrahlten Zähnen mit verschiedenen Frequenzen

- Die zur Zeit verwendeten Magneten oder auch kommerziell erhältlichen Ganzkörpermagnete (Kernspintomografen) sind physikalisch zu groß und zu schwer um für ein tragbares Gerät in Frage zu kommen. Die Entwicklung eines kleinen Permanentmagneten mit genügend Feldhomogenitäten und der Möglichkeit einer Feldsteuerung ist notwendig.
- Eine Sensoreinheit für den Magneten, die Feldsteuerung und den Mikrowellenresonator muss so gestaltet werden, dass sie im Mund platz findet.
- Der hohe Beitrag des Hintergrundsignals und des Rauschens gegenüber den Messungen im X-Band muss durch geeignete Verfahren verringert werden.

Zunächst soll innerhalb des ersten Jahres die Hardware für das Spektrometer entwickelt werden und später der oben erwähnte dritte Punkte der Rauschunterdrückung erledigt werden.

Folgender Aufbau ist für die Sensoreinheit angedacht.

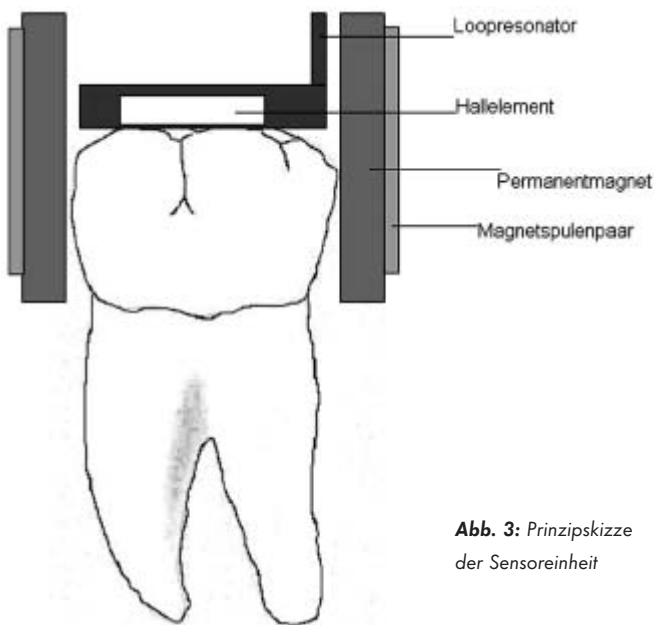


Abb. 3: Prinzipskizze der Sensoreinheit

Für die Erzeugung des Magnetfeldes dienen Permanentmagnete. Erste Untersuchungen zeigen, dass die nötige Feldhomogenität bei der Größe des Luftspalts nicht erreicht werden kann.

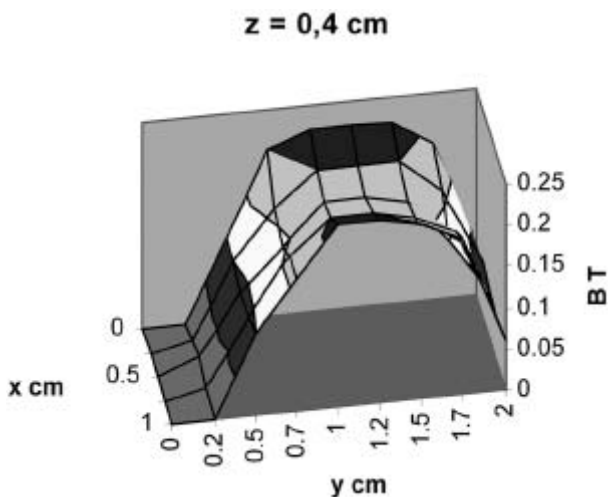


Abb. 4: Feldlinienverlauf zwischen zwei Permanentmagneten mit 1 cm Durchmesser

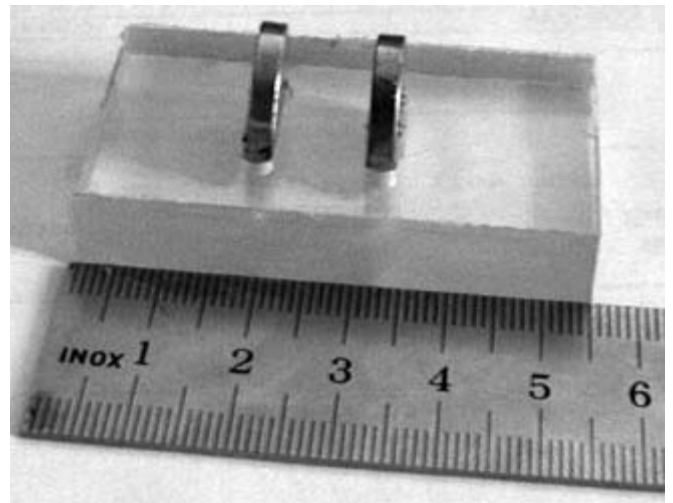


Abb. 5: Aufbau des oben vermessenen Magnetpaares.

Um dieses Magnetfeld zu homogenisieren sind im Folgenden Überlegungen für ein neues Magnetfeldpaar gemacht worden, welches aus einem Magnetring und einem Zylinder für jedes Paar besteht.

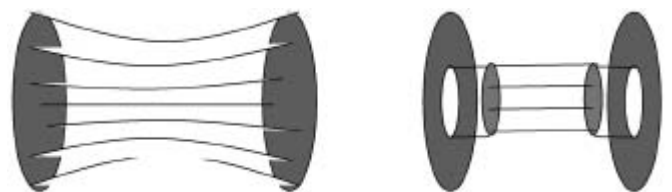


Abb. 6: Feldverlauf in den angedachten Magnetfeldpaaren und der Einfluss des Zylinders auf das Magnetfeld.

Für die Entwicklung des Mikrowellenresonators sind an der GSF bereits Überlegungen angestellt worden die nach dem Zeitplan des Projekts in der zweiten Jahreshälfte konkretisiert werden sollen.

AUSBLICK

Bei positiven Ergebnissen bezüglich der Hardwareentwicklung ist eine Fortsetzung des Projekts angedacht in der dann Signal-Rauschverhältnisse und Spektrenauswertungen optimiert werden müssen. Anschließend erfolgen erste Messungen an Zähnen im Mund von Patienten entlang des Flusses Techa, die auf Grund der hohen Strontium 90 Konzentration in den Knochen und Zähnen auch so hohe Zahndosis aufweisen, die mit dem tragbaren ESR-Spektrometer bestimmbar sind.

DAS ROSA-PROJEKT: EIN VON DER EUROPÄISCHEN UNION GEFÖRDERTES FORSCHUNGSPROJEKT ZUM THEMA: "ULTRAFASST ALL-OPTICAL SIGNAL PROCESSING IN ENGINEERED QUADRATIC NONLINEAR WAVEGUIDES"

Im Rahmen des Programms "Information Society Technologies Programme" förderte die Europäische Union unter der Projektnummer IST-2000-26005 eine Zusammenarbeit zwischen fünf europäischen und einem US-amerikanischen Partner mit dem Ziel einer umfassenden Untersuchung der Möglichkeiten neuer Konzepte zur rein-optischen und extrem schnellen Verteilung und Verarbeitung optischer Informationen in zukünftigen Kommunikationssystemen. Die veranschlagten Kosten für das ROSA genannte Projekt betragen 1.353.450,00 €, wovon die von der Europäischen Kommission zur Verfügung gestellte Fördersumme 956.000,00 € betrug. Die restlichen Kosten wurden im Rahmen einer Multi-University Research Initiative (MURI) von der Forschungsförderung in den USA getragen.

Im ROSA-Konsortium arbeiteten folgende Partner zusammen: der Koordinator des Projektes Dr. Falk Lederer (Friedrich Schiller Universität Jena (FSU), Institut für Festkörpertheorie und Theoretische Optik), Dr. Alain Barthelemy (Université de Limoges / CNRS (Unité mixte de recherche ICOM), Optics Department, Institut de Recherche en Communications Optiques et Microondes), Dr. Wolfgang Sohler (Universität Paderborn, Angewandte Physik), Dr. Constantino De Angelis (Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di Elettronica per l'Automazione), Dr. Roland Schiek (Fachhochschule Regensburg (FHR), Fachbereich Elektrotechnik) und Dr. George Stegeman (University of Central Florida, Center for Research and Education in Optics and Lasers (CREOL)). Jeder der Partner hat über lange Jahre international anerkannte und zukunftsweisende Arbeiten auf dem Gebiet der Nichtlinearen Optik geleistet und ist in der entsprechenden wissenschaftlichen Fachwelt durch Veröffentlichungen gut bekannt. So bot sich der Zusammenschluss zum ROSA-Konsortium an, um die reichhaltige und sich ausgezeichnet ergänzende Expertise der verschiedenen Forschungsgruppen auf dem Gebiet der rein-optischen Signalverarbeitung in einem gemeinsamen Projekt effektiv zu vereinen und potentielle neue Anwendungsgebiete aufzuzeigen. Die Arbeiten zur Vorbereitung und Antragstellung dauerten etwa ein Jahr. Mit unserem Vorantrag gehörten wir zu den zehn Prozent von Bewerbern, die eingeladen wurden, einen endgültigen Antrag auf EU-Förderung zu stellen. Nachdem wir mit unserem Hauptantrag auch wieder unter den zehn Prozent der Bewerber waren, die eine Zusage auf EU-Förderung bekamen, konnten die theoretischen und experimentellen Arbeiten am ROSA-Projekt am 1. Dezember 2000 begonnen werden. Die EU-Förderung erstreckte sich über einen Zeitraum von drei Jahren. Die MURI-Förderung läuft über einen Zeitraum von drei plus zwei Jahren.

PROJEKTVORHABEN

Die zuerst in den achtziger Jahren vorgeschlagenen rein-optischen Konzepte für die Verarbeitung und Verteilung von Informationen

haben den großen Vorteil den Informationsträger (Licht) im optischen Bereich zu belassen und die durch die Verarbeitungsgeschwindigkeit der elektronischen Halbleiterbauteile begrenzte und daher relativ langsame und teure Konvertierung zwischen Lichtsignalen und elektrischen Signalen zur elektronischen Verarbeitung zu umgehen. Diese Konzepte basieren auf optisch nichtlinearen Effekten für die Realisierung von Schaltern, Verteilern, Regeneratoren, logischen Elementen und Wellenlängenumsetzern und wurden inzwischen als reale Option für die Realisierung von rein-optischer Verarbeitung von schnellen Datenströmen mit Datenraten von Terabit pro Sekunde anerkannt. Voraussetzung hierfür sind allerdings Materialien, deren optische Nichtlinearität ausreichend groß ist, um die zur Wechselwirkung notwendigen Lichtleistungen nicht unpraktikabel groß werden zu lassen. Abhängig von der Präsenz eines Kontrollstrahles oder auch abhängig von seiner Intensität soll das Signal kontrolliert werden. Serielles Schalten und Verteilen von Information sind die zu realisierenden Schlüsseloperationen.

Ursprünglich dachte man an die Nutzung einer kubischen Nichtlinearität, die eine intensitätsabhängige Brechzahl bewirkt, die wiederum die Lichtausbreitung intensitätsabhängig beeinflussen kann. Nur kann eine praktisch ohne Zeitverzug wirkende kubische optische Nichtlinearität nur von elektronischen Materialresonanzen verursacht werden, und eine Optimierung durch Entwicklung entsprechender Materialien hat bisher nicht zu einem Material mit der für nichtlinear integriert optische Bauteile notwendigen Stärke der Nichtlinearität geführt. Seit etwa 15 Jahren wird erfolgreich an der Idee gearbeitet, die Wirkung der kubischen Nichtlinearität durch "kaskadierte" quadratisch nichtlineare Prozesse zu simulieren. Dabei wird das Signal bei einem ersten quadratisch nichtlinearen Prozess in eine andere Frequenz, meist die zweite Harmonische (Second Harmonic, SH), umgesetzt. Bei der ebenfalls quadratisch nichtlinearen Rückmischung der Mischfrequenz wird wieder eine Polarisation bei der Signalfrequenz erzeugt, die zur intensitätsabhängigen Lichtsteuerung genutzt werden kann. Um schnelle Reaktionszeiten zu erhalten, sind die verwendeten quadratischen Nichtlinearitäten zwar wieder von elektronischer Natur und damit relativ klein. Wenn jedoch die zwischengeschaltete elektromagnetische Wellenausbreitung bei der Mischfrequenz elektromagnetisch in Resonanz gebracht werden kann, wird die "quadratische Kaskadennichtlinearität" im Prinzip beliebig groß (allerdings auf Kosten der Geschwindigkeit). Unter den verschiedenen nichtlinearen Materialien haben ferroelektrische dielektrische Kristalle ohne Inversionszentrum große quadratische Nichtlinearitäten mit einer praktisch vernachlässigbaren Reaktionszeit in der Größenordnung von $\tau = 10^{-15}$ s. Es war jedoch bis vor kurzem nicht möglich, die elektromagnetische Resonanz der Mischfrequenz beliebig einzustellen. Auf Grund von im allgemeinen verschiedenen

Wellenvektoren der Mischfrequenzwelle und der sie treibenden nichtlinearen Polarisierung wird die Mischfrequenzwelle räumlich periodisch auf- und wieder abgebaut. Der Aufbau geschieht, wenn Polarisierung und Mischfrequenz in Phase sind, bei Gegenphasigkeit schwingt die Polarisierung gegen die Mischfrequenz und diese wird wieder abgebaut. An einer Lösung dieses Problems wird seit etwa zehn Jahren durch die Entwicklung der Technologie der periodischen Polung ferroelektrischer Kristalle gearbeitet. Hierbei wird die Kristallorientierung alle paar μm entlang der Lichtausbreitungsrichtung im Kristall durch eine elektrische Umpolung invertiert. Damit kann die Effizienz des Frequenzmischprozesses erhöht werden, indem die treibende quadratisch nichtlineare Polarisierung über beliebig große Bereiche in Phase mit der zu erzeugenden Mischfrequenz gehalten wird. Immer nach der Distanz, nach der die Polarisierung und die Mischwelle außer Phase geraten, wird die Kristallachse um 180 Grad gekippt und damit die Phase der Polarisierung um 180 Grad gedreht. Die Polarisierung kann damit ununterbrochen die Mischfrequenzwelle antreiben, man sagt, die Mischfrequenzzeugung kommt in Resonanz. Da die Polarisierungs- und die Mischfrequenzwelle sich in Phase ausbreiten, spricht man von der Technik des "quasi-phasematching" (QPM). Mit der QPM-Technik hat man erstmalig die Möglichkeit, die Nichtlinearität im Kristall örtlich strukturiert und in unterschiedlicher Stärke an beliebige Anforderungen einer Anwendung anpassen zu können. Mit der QPM-Technik können nun auch ohne die Beschränkungen der nur sehr begrenzt anwendbaren anderen Arten der Phasen Anpassung die stärksten Tensorelemente der nichtlinearen Suszeptibilität genutzt werden.

Eine weitere Effizienzsteigerung der nichtlinearen Licht-Licht-Wechselwirkung konnte in Wellenleiterstrukturen erzielt werden. Das Licht wird in den kleinen Querschnitten der Wellenleiter geführt und hohe Lichtintensitäten führen schon bei kleinen absoluten Lichtleistungen zu hohen nichtlinearen Effekten. Die lineare Verkopplung von Lichtwellenleitern durch räumlich überlappende Wellenleiterfelder nahe beieinander liegender Wellenleiter bringt neuen Spielraum in die Gestaltung der Lichtausbreitung. In ganzen Wellenleiterarrays von bis zu 100 gekoppelten Wellenleitern zeigt die räumliche Dispersion ein sonst in optischen Materialien nicht vorkommendes periodisches Verhalten. In neuartigen photonischen Kristallstrukturen ist ein damit räumliches und sogar zeitliches Dispersionsmanagement möglich und bisher ungeahnte Möglichkeiten zur Beeinflussung der Lichtbeugung und der Pulsausbreitung zeigen sich auf.

Eines der bekanntesten und am besten handhabbaren optisch nichtlinearen Materialien ist das Lithium Niobat (LiNbO_3). Es ist als 4-Zoll-Wafer mit 0.5 mm Dicke in optischer Qualität zu relativ niedrigen Preisen erhältlich. Die Technologien zur Herstellung von

verlustarmen Lichtwellenleitern mittels Ionenaustausch oder Titan-eindiffusion und für das Einbringen von QPM-Gittern mittels elektrischer Polung sind für Z-cut Proben sehr weit entwickelt. Im Rahmen unseres Projektes konnte die Herstellungstechnologie bis an ihre Grenzen optimiert werden, so dass wir bis zu 10 cm lange Wellenleiter mit hervorragend strukturierten QPM-Gittern und 7 cm lange Wellenleiterarrays mit bis zu 101 sehr homogen verkoppelten Wellenleitern untersuchen konnten.

Das Ziel des ROSA-Projektes war es nun, Wellenleiterstrukturen auf LiNbO_3 zu entwerfen, herzustellen und zu charakterisieren, um in diesen Modulen dann verschiedene Funktionen zur Signalverarbeitung zu demonstrieren. Diese Module können unterschieden werden nach ihrer Wellenleiterkonfiguration (Schichtwellenleiter, Kanalwellenleiter, Richtkoppler, Wellenleiterarray, Resonator) und nach ihrer Funktionalität. Sie erlauben rein-optisches Schalten, Wellenlängenkonversion, Signalregeneration, Verteilen, Multiplexen und Demultiplexen von Signalen bei den heute benutzten Kommunikationswellenlängen im Bereich von 1550 nm. Die wirksame quadratische Nichtlinearität ist mittels der QPM-Technologie örtlich strukturiert nach Stärke, Vorzeichen und Wirkungsort optimal einzusetzen.

PROJEKTSTRUKTUR

Die in Bild 1 gezeigte Arbeitsplanstruktur veranschaulicht den geplanten und begangenen Weg zum ultimativen Projektziel der Entwicklung verschiedener neuer Konzepte für die rein-optische Signalmanipulation. Während der Projektdauer wurde graduell von einfacheren zu komplexeren Strukturen und Funktionalitäten hin gearbeitet. Die Forschungsarbeit wurde in sieben "Workpackages" (WP) eingeteilt. Jedes WP hat ein eigenes Ziel, liefert aber in der Vernetzung zu anderen WPs auch wichtige Ergebnisse als Voraussetzung der Arbeit in diesen WPs. WP 2 bis 5 sind nach der Geometrie der jeweils untersuchten Wellenleiter benannt. Demgegenüber stellt WP 1 mit der Aufgabe der Herstellung der Wellenleiterproben und der Optimierung der Technologie die Basis für alle anderen Aktivitäten dar. WP 6 ist stark theoretisch orientiert und ist fokussiert auf die Suche nach neuen Anwendungen von den in WP 6 gefundenen und untersuchten diskreten Solitonen in Arrays. Eine zukünftige Fortsetzung und Erweiterung der Untersuchungen auf diskrete Strukturen in Resonatorarrays wurde abschließend ebenfalls in WP 6 evaluiert. Die Projektadministration und Koordination wurde in einem eigenen WP 7 zusammengefasst.

Das gewählte Probenmaterial ist periodisch gepoltes LiNbO_3 . Die Wellenleiterherstellung in diesem Material durch Titaneindiffusion wird seit 20 Jahren von Dr. Sohlers Gruppe an der Universität

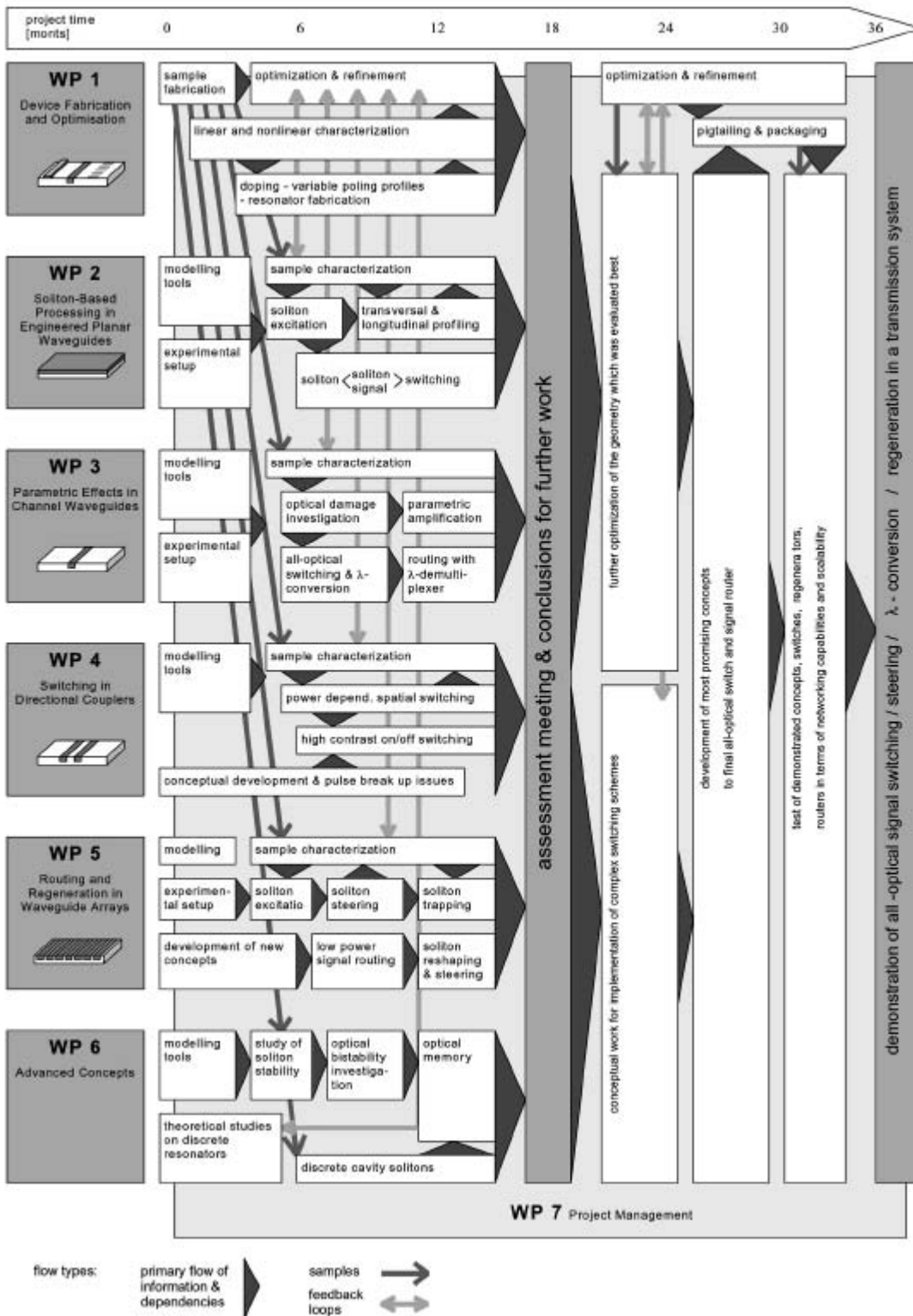


Bild 1: Die Struktur des ROSA-Projektes und das Zusammenwirken der Workpackages.

Paderborn entwickelt und optimiert. Dr. Sohler war für WP 1 "Device fabrication and optimization" verantwortlich und stellte alle Proben für das ROSA-Projekt her. Seine Gruppe war der einzig in Frage kommende Partner in Europa für die Probenherstellung und die Optimierung der Technologie für die Arrayherstellung. Außerdem hat der Autor langjährige Erfahrung mit Experimenten bei hohen Lichtleistungen in quadratisch nichtlinearen Proben aus Paderborn.

In vorhergehenden Projekten (ORBOQSI, ESPRIT LTR Open) wurde von Dr. Barthelemy demonstriert, dass Wechselwirkungen zweidimensionaler (2D) quadratischer Solitonen für effizientes rein-optisches Schalten im unstrukturierten Kristall nutzbar sind. WP 2 des ROSA-Projektes ("Soliton based optical processing in engineered planar waveguides") ist fokussiert auf die Übertragung dieses Schaltprozesses in eine eindimensionale (1D) Geometrie in einem Filmwellenleiter mit zusätzlicher Nutzung des extra Freiheitsgrades, das QPM-Gitter auch räumlich inhomogen gezielt zu gestalten. Als Hauptziel von WP 2 wurde eine deutliche Reduzierung der notwendigen Schaltleistungen in der 1D-Geometrie gegenüber der 2D-Geometrie nachgewiesen. Dr. Barthelemy war verantwortlich für WP 2. Er stützte sich auf eine langjährige Zusammenarbeit mit unserem italienischen Partner, der für die französische Gruppe die Theorie und die Simulationen durchführte und Konzepte für das sogenannte "Transverse QPM-Engineering" erarbeitete.

WP 3 zur Untersuchung von "Parametric effects in channel waveguides" wurde von Dr. Sohler geleitet. Die Paderborner Gruppe hat langjährige Erfahrung mit parametrischer Lichtmischung in Kanalwellenleitern. Als wichtigstes Ergebnis von WP 3 kann die Demonstration eines wellenlängenselektiven Schalters und Demultiplexers in einer realen Nachrichtenübertragungsstrecke genannt werden.

Die FHR hat an dem ROSA-Projekt teilgenommen, da der Autor die Anwendung der Kaskadennichtlinearität zur optischen Signalverarbeitung vor 15 Jahren theoretisch ins Gespräch brachte und anschließend die Schlüsselexperimente dazu in Dr. Stegemans Laboratorien am CREOL in Orlando durchführte. Diese Arbeiten haben in den Folgejahren Hunderte von Publikationen zu dem Thema hervorgebracht. Die FHR übernahm die Leitung von WP 4 in dem "Spatial switching in directional couplers" untersucht wurde. Ein Richtkoppler besteht aus zwei gekoppelten Wellenleitern und in Erweiterung zu WP 3 untersuchten wir hier ein System mit einem zweiten Ausgangsport für die Signalverteilung auf verschiedene Ausgänge. Während wir die Schaltleistungen für intensitätsabhängiges Schalten nicht unter 20 W absenken konnten, erwies sich ein Schaltkonzept, welches parametrische Lichtmischung in einer Kopplerstruktur nutzt, als sehr erfolgversprechend, besonders auch als

Basiselement für eine ganze Schaltmatrix. Wir konnten einen Schalter realisieren, in dem mit einem Kontrollstrahl mit einigen 100 mW Leistung Signale mit ps-Dauer und wenigen Milliwatt Leistung transparent und ohne Signalstörung geschaltet wurden.

Die meisten der Resultate von WP 1 - 4 bilden die Basis für das innovativste WP, für WP 5 mit dem Titel "Routing and regeneration in waveguide arrays". Der etwas abgewandelte Titel erklärt das Akronym des Projektes: **R**outing of **O**ptical **S**ignals in **A**rrays, ROSA. Hier wurden die besonderen Beugungseigenschaften des Lichtes in Wellenleiterarrays genutzt. Einen besonderen Effekt der "diskreten Beugung" stellt die beugungsfreie Ausbreitung eines Lichtstrahls unter einem bestimmten Winkel zur Wellenleiterachse schräg durch das Array dar. Das Zusammenspiel dieses linearen Phänomens mit dem schon in WP 4 vorbereitend untersuchten nichtlinearen Prozess der parametrischen Lichtmischung zwischen dem beugungsfrei laufenden Signalstrahl und einem Kontrollstrahl bildete den Schaltmechanismus, der ein effektives, breitbandiges Schalten von Eingangssignalen auf beliebige Ausgangswellenleiter des Arrays erlaubte. Weiterhin wurden in WP 5 erstmals die verschiedenen diskreten quadratischen Solitonen in Wellenleiterarrays beobachtet und damit ein Beitrag zum physikalischen Verständnis nichtlinearer lokalisierter Strukturen in diskreten Systemen geliefert. WP 5 wurde von Dr. Stegeman in enger Zusammenarbeit mit der FHR geleitet, ganz im Sinne der Fortführung unserer schon mehr als zehnjährigen gemeinsamen Arbeit. Es war ein Novum, in einem EU-Projekt einen US-amerikanischen Partner einzubinden. Die Einbindung wurde von uns gewünscht auf Grund meiner langjährigen Kontakte, meiner Kenntnis seiner Laboratorien und meinem Zugang zu diesen Laboratorien mit ihrem ausgezeichneten Equipment, die kein uns bekanntes Labor in Europa damals so vollständig und unkonventionell hätte bereitstellen können. Die Einbindung gelang auf Grund der großen Überlappung unserer Interessen an diskreten lokalisierten Strukturen und der US-amerikanischen Förderung, die Dr. Stegeman zu diesem Projekt organisiert hatte. Ich hatte somit den technischen Teil der Zusammenarbeit mit dem CREOL zu betreuen.

Das von Dr. Lederer geführte WP 6 "Advanced Concepts" ebnete den Weg für qualitativ neue Konzepte und Lösungen. Die Arbeit war fokussiert auf grundlegende nichtlineare Effekte in photonischen Kristallen mit Potential für rein-optische Datenverarbeitung und logische Verknüpfungen. Als Schlüsselfrage wurde untersucht, welche Rolle die verschiedenen Typen nichtlinearer quadratischer diskreter Solitonen, die in WP 5 experimentell charakterisiert wurden, mit ihren einzigartigen, in kontinuierlichen Systemen nicht auftretenden Eigenschaften dabei spielen können. Besonders ihre Wechselwirkungseigenschaften und ihre Reaktion auf in das Array

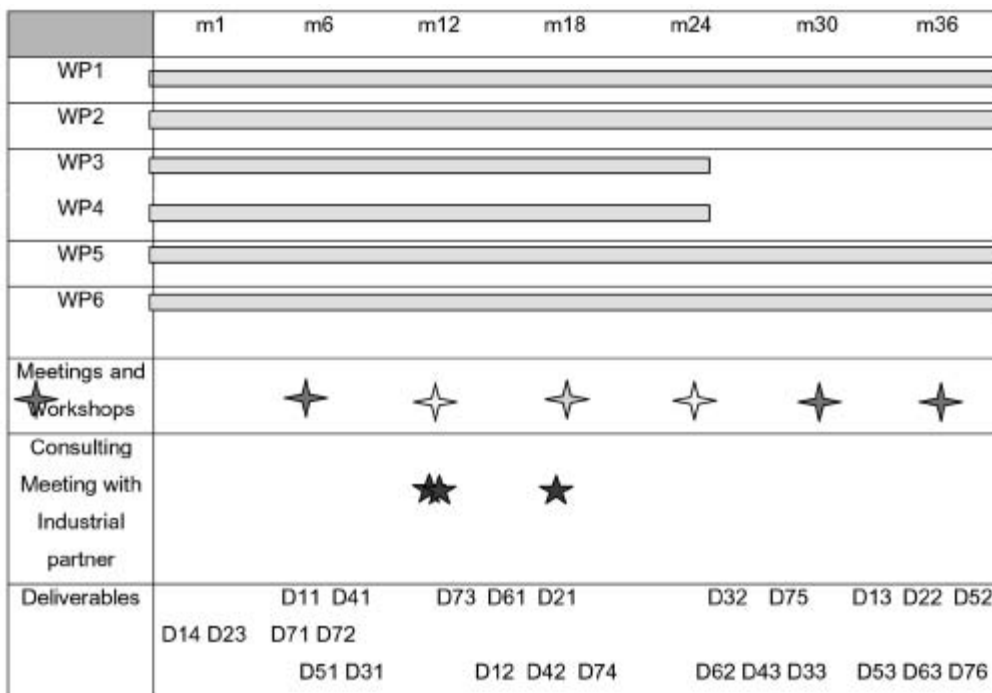
optisch (durch andere Solitonen) oder strukturell eingefügte Defekte stellten sich als verwendbar heraus. Ein anderer Aspekt in diesem WP bestand in einer weiter in die Zukunft reichenden Untersuchung von quadratisch nichtlinearen Wellenleiterresonatoren und Resonatorarrays. Optische Bistabilität und diskrete Cavity Solitonen wurden vorhergesagt und theoretisch untersucht.

Die Arbeit in allen WPs wurde begleitet von detaillierter theoretischer Modellierung, die in allen WPs benötigt wurde, um die Wellenleiterproben zu entwerfen, herzustellen, und um später die Experimente zu interpretieren und dadurch die Funktionalität zu optimieren. Benutzerfreundliche Softwarepakete wurden zu diesem Zweck von der FSU, der Università degli Studi di Brescia und der FHR bereitgestellt.

Wie schon angedeutet hat das ROSA-Projekt auch Antworten zu Fragen der Grundlagenphysik geliefert. Seit den Pionierarbeiten von Fermi, Pasta und Ulam bilden nichtlineare diskrete Systeme einen der Grundpfeiler der nichtlinearen Wellenphysik. Ähnliche diskrete nichtlineare Effekte wie die von uns charakterisierten und angewendeten diskreten lokalen Strukturen in Wellenleiterarrays wurden vorhergesagt in der Festkörperphysik für Atomketten (diskrete Gitter mit kubischer Nichtlinearität in jedem Kettenglied), in der Protonendynamik in wasserstoffgebundenen Ketten, während

des Transports von Anregungsenergie in biophysikalischen Systemen und in molekularen Kristallen. Ein nichtlineares Wellenleiterarray des im ROSA-Projekt untersuchten Typs ist eins der am einfachsten experimentell zugänglichen Systeme um die Effekte dieser diskreten Physik zu untersuchen und allgemein zu verstehen.

Ein nicht ROSA-spezifisches WP 7 mit immerhin 15 Mann-Monaten Arbeitsaufwand zur Koordination des ROSA-Projektes wurde eingeplant, konnte dem enormen administrativen Aufwand aber selbst mit dieser großzügigen Planung nicht gerecht werden. Der gesamte Arbeitsaufwand für das ROSA-Projekt wurde sehr realistisch mit einer Arbeitszeit von 381 Mann-Monaten geplant. Der für die FHR anfallende Zeitaufwand betrug 30 Mann-Monate, eine Arbeitszeit, die von einigen studentischen Hilfskräften, u.a. im Rahmen von Praktikumsaufenthalten in Orlando, von einem Doktoranden am CREOL und von mir aufgebracht wurde. Einer der FH-Praktikanten promoviert infolge der Projektarbeit jetzt am CREOL. Die Organisation des Projektes wurde von Dr. Lederer sehr straff geleitet, so dass der in Bild 1 gezeigte Zeitablauf im Prinzip eingehalten werden konnte. Der Arbeitsfortschritt wurde gemessen an zu angegebenen Zeiten abzuliefernden "Deliverables" und an zu erreichenden "Milestones" (siehe Bild 2). Dem Zeitplan entsprechend wurden 25 "Deliverables" abgeliefert und über 30



★ Management Committee Meeting ★ Workshop ★ Evaluation Meeting

Bild 2: Zeitplan der Workpackages und der Deliverables und Meetingkalender.

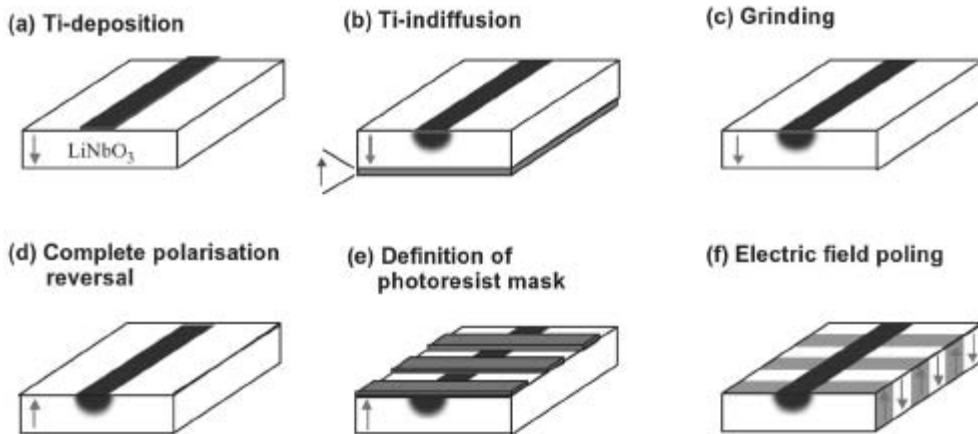


Bild 3: Fabrikationsschritte zur Herstellung eines periodisch gepolten Kanalwellenleiters.

„Milestones“ erreicht, auch wenn technologische und lasertechnische experimentelle Probleme in einigen WPs Zeitverzögerungen von einigen Monaten verursachten. Die in WP 2 - 5 entwickelten Proben waren unter dem Anwendungsaspekt zu untersuchen. Dazu war eine nahe beratende Kooperation mit einem Industriepartner vorgesehen. Diese Beratungen mit Vertretern vom ALCATEL Corporate Research Center, Marcoussis, Frankreich, fanden bis einschließlich dem Evaluationstreffen nach der halben Projektlaufzeit statt. Bei diesem Treffen wurde die erste Halbzeit des Projektes kritisch bewertet und Korrekturentscheidungen zu der ursprünglichen Planung auf Grund der erreichten Ergebnisse getroffen, denen wegen der komplexen Materie und der Zeitbeschränkung einige anwendungsorientierte Aspekte der Arbeiten zugunsten von Grundlagenerkenntnissen zum Opfer fielen. Die Ansprechpartner in der Industrie verschwanden leider auf Grund der Krise in der Entwicklung der Optischen Nachrichtentechnik ab 2002.

AUSGEWÄHLTE PROJEKTERGEBNISSE

Die Herstellung von optischen Wellenleitern in LiNbO₃ mittels Titaneindiffusion und die periodische Polung des Materials wurde weiterentwickelt und optimiert. Es konnten bis zu 10 cm lange sehr

homogene Wellenleiter in Proben mit uniformen QPM-Gittern hergestellt werden. Demzufolge konnten die für die Signalverarbeitung benötigten Arrays mit bis zu 101 sehr gleichmäßig verkoppelten Wellenleitern realisiert werden. Dämpfungswerte unserer Wellenleiter von typisch 0.1 bis 0.3 dB/cm liegen deutlich unter den Werten von durch Ionenaustausch hergestellten Wellenleitern, einer Technik die von einer an der Stanford University arbeitenden Gruppe zu großer Perfektion entwickelt wurde. Bild 3 zeigt die Schritte zur Herstellung eines Wellenleiters mit QPM-Gitter. In einem ersten Schritt wird ein photolithographisch definierter Titanstreifen auf der -Z-Oberfläche aufgedampft (a). Bei 1060° C wird das Titan 10 Stunden lang eindiffundiert (b). Dabei entsteht eine domäneninvertierte Schicht auf der +Z-Oberfläche, die abgeschliffen werden muss (c). Daraufhin wird die Polarisation der gesamte Probe umgepolt (d). Im letzten Schritt wird das QPM-Gitter hergestellt. Elektroden definieren die Bereiche, in denen ein Strompuls die Z-Achse des Kristalls wieder umdreht (e und f).

Bild 4 zeigt eine typische Probe im Größenvergleich zu einer 25-Cent-Münze. Das Mikroskopbild in der linken Bildhälfte zeigt die durch Anätzen sichtbar gemachte QPM-Struktur, auch der Wellenleiterbereich mit dem eindiffundierten Titan ist deutlich zu erkennen.

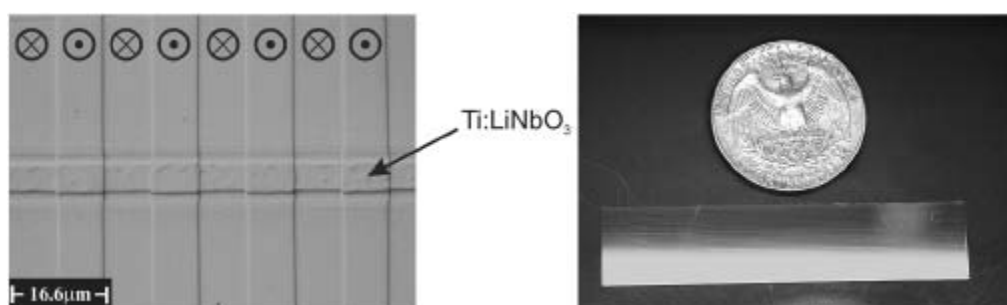


Bild 4: Probe mit Wellenleitern und vergrößerte Ansicht des QPM-Gitters.

Viel Grundlagenarbeit wurde investiert, um Methoden für eine zerstörungsfreie Messung der Homogenität von Wellenleitern, der Verkopplungen der Arraywellenleiter und der Uniformität und räumlichen Struktur von QPM-Gittern zu finden und anzuwenden. All diese für die Probencharakterisierung und für die Optimierung der Qualität notwendigen Größen konnten in teilweise sehr aufwendigen Meßanordnungen genauestens ermittelt werden.

Im WP 2 wurden in den einfachsten Wellenleitertypen, in Filmwellenleitern, Experimente mit räumlichen Solitonen durchgeführt. Ein räumliches Soliton ist ein Lichtstrahl, dessen Beugung durch nichtlineare, also von der Intensität abhängende, Phasenverschiebungen kompensiert wird. D.h. ein Soliton breitet sich aus, ohne sein Intensitätsprofil entlang der Ausbreitung zu verändern, ganz im Gegensatz zu sich linear ausbreitendem Licht, bei dem die Beugung grundsätzlich das Intensitätsprofil entlang der Ausbreitung verändert. Ein Soliton kann also als ein vom Licht selbst geschriebener Wellenleiter angesehen werden. In den ROSA-Untersuchungen wurden nur die komplizierter zu untersuchenden, aber weniger Leistung erfordernden 1D-Solitonen untersucht. Der Filmwellenleiter führt das Licht in der Dimension normal zur Kristalloberfläche und das Licht kann nur in einer Dimension, in der Filmebene, gebeugt werden. In Bild 5 sind die Ausbreitungseigenschaften eines 1D-Solitons veranschaulicht. Die Graustufenbilder zeigen die Strahl Ausbreitung im Film von oben gesehen (verschiedene Graustufen stehen für verschiedene Strahlintensitäten). Die Kurven zeigen die normierte Lichtintensität quer zum Strahl am Anfang und Ende seiner Ausbreitung durch die Probe. Bei niedriger Lichtleistung (linke Bildhälfte) wird ein etwa 80 µm weiter Eingangsstrahl der sich entlang der y-Achse ausbreitet durch Beugung immer breiter, bis er am Ende der Probe eine Weite von 280 µm erreicht hat. Bei erhöhter Leistung (mindestens einige zehn Watt, abhängig von der

Strahlbreite und der damit zusammenhängenden Stärke der Beugung und der effektiven Kaskadennichtlinearität) zeigt die rechte Bildhälfte das sich ausbreitende Soliton. Der Ausgangsstrahl hat die gleiche Weite wie der Eingangsstrahl. Experimentelle Details wie Dämpfung und Pulsbetrieb sind verantwortlich für die im Bild gezeigte nicht ganz perfekte Solitonen Ausbreitung.

Räumliche Solitonen in quadratisch nichtlinearen Materialien werden erst seit wenigen Jahren experimentell untersucht. Im Rahmen unseres Projektes wurde als Grundlagenarbeit eine vollständige Charakterisierung der verschiedenen Typen dieser besonderen nichtlinearen Strahlen vorgenommen. Solitonleistungen abhängig von der Solitonweite und von der Nichtlinearität wurden bestimmt und Anregungsverfahren mit speziell geformten QPM-Gittern nahe der Strahleinkopplung wurden optimiert.

Nachdem die Solitonen und ihre Eigenschaften hinreichend gut charakterisiert waren, konnten sie auf ihre Tauglichkeit für die optische Signalverarbeitung untersucht werden. Besonders ihre intensitäts- und phasenabhängigen Wechselwirkungseigenschaften dienten als physikalische Grundlage für die Realisierung logischer Operationen. Bild 6 zeigt z.B. eine Anordnung, bei der zwei Solitonen sich kreuzen, auf die zeitliche Pulsfolgen mit bis zu 125 GHz als Signale aufmoduliert sind. Abhängig vom Kontrollpuls muster des unteren Solitons können aus einem Signalpulszug einzelne Pulse herausgeschnitten und an räumlich anderer Stelle (zwischen den Ausgangspositionen der beiden Solitonen im Falle ungestörter Ausbreitung ohne Wechselwirkung) detektiert werden. Diese Operationen wurden für Signale mit Pulsdauern von wenigen Piko sekunden mit einem Schaltkontrast von 18 dB demonstriert. Die Anordnung kann als Demultiplexer arbeiten.

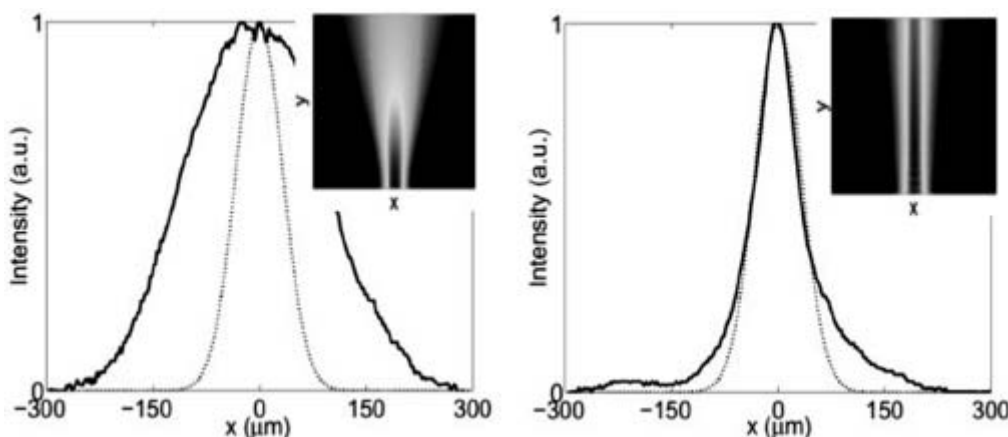


Bild 5: 1D-Soliton in einem Filmwellenleiter.

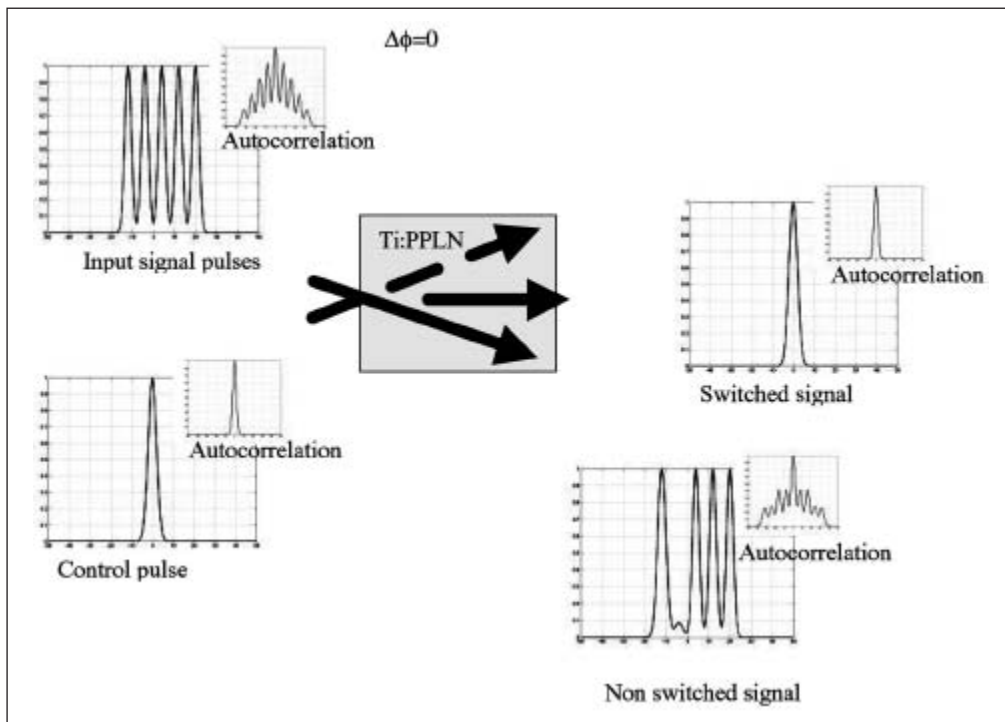


Bild 6: Demonstration von rein-optischem Strahl-Routing in einer Geometrie mit nicht-collinear angelegten Solitonen.

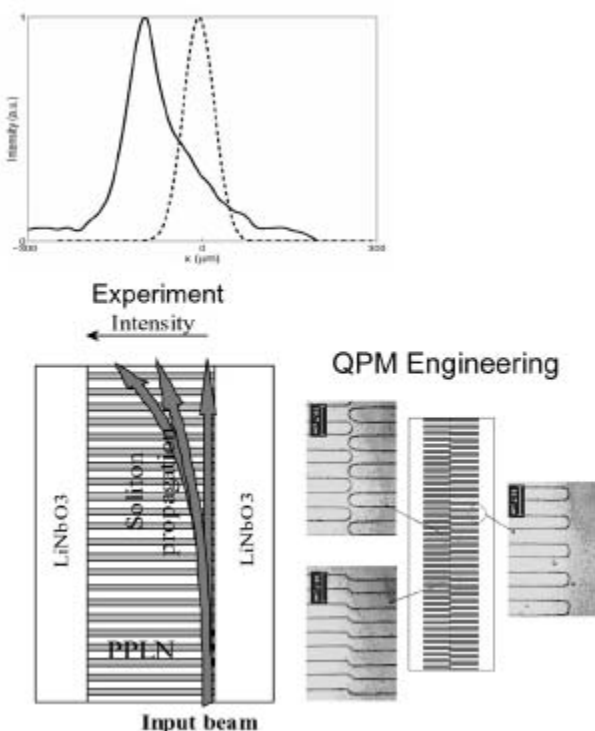


Bild 7: Intensitätsabhängige Steuerung der Ausgangsposition eines Solitons in einem "engineerten" QPM-Gitter.

Ein ebenfalls potentiell für Schaltanwendungen interessanter Effekt wurde in Anordnungen mit transversal speziell nichthomogen hergestellten QPM-Gittern untersucht. Bild 7 zeigt das Arbeitsprinzip und einige Ergebnisse. Die Mikroskopbilder zeigen ein QPM-Gitter, dessen Periode in unterschiedlichen Kristallbereichen verschieden ist. Dadurch unterscheidet sich die wirksame Kaskadennichtlinearität in diesen Bereichen in ihrer Stärke. Propagiert ein Soliton parallel in der Nähe einer Trennlinie verschiedener QPM-Bereiche, so wird es abhängig von seiner Leistung verschieden stark abgelenkt. Die so erreichte lichtinduzierte Positionsverschiebung eines Ausgangsstrahles kann ebenfalls physikalische Basis zum lichtinduzierten Schalten sein. In unserem Beispiel haben wir einen Strahlversatz von etwa $100 \mu\text{m}$ gezeigt. Obwohl die in den Filmwellenleitern notwendigen Schaltleistungen gegenüber den Schaltleistungen in 2D-Geometrien entsprechend den Projektzielen deutlich um Größenordnungen gesenkt werden konnten, bleiben die erreichten Schaltleistungen von größer als 100 W wesentlich über dem für Anwendungen praktikablen Bereich von unter 1 W .

Im Gegensatz zu den gerade vorgestellten Beispielen von Ergebnissen aus WP 2, die mehr ein grundlegendes Verständnis von Schaltmechanismen fördern und nur deren Arbeitsprinzip demonstrieren sollten, wurden in WP 3 sehr anwendungsbezogene Ergebnisse erzielt mit der Realisierung von Bauteilen, die ihre Funktionalität, z.B. als Wellenlängenumsetzer, auch in realen Datenübertragungs-

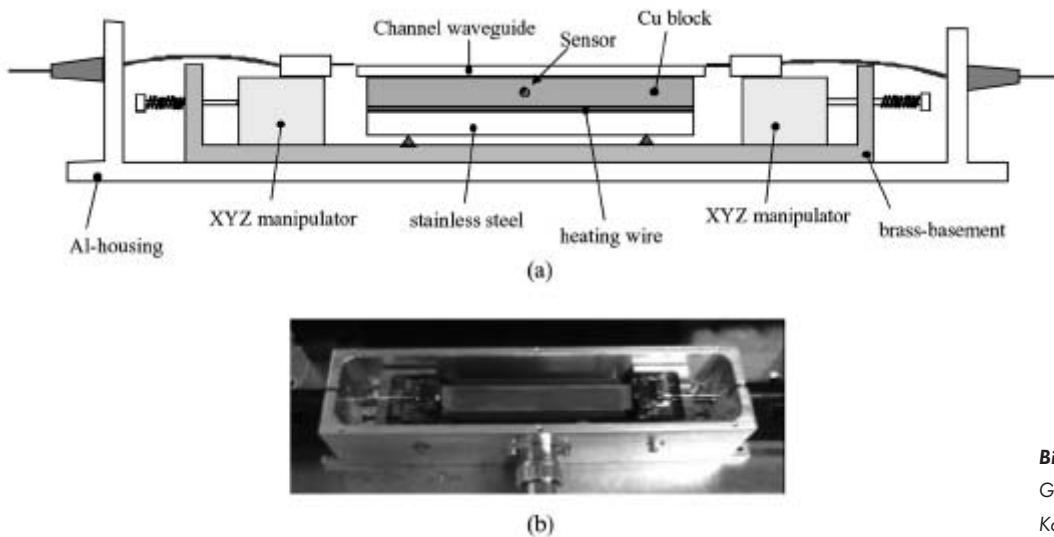


Bild 8: Im temperaturstabilisierten Gehäuse eingebauter Kristall mit Kanalwellenleiter mit Faserankopplung.

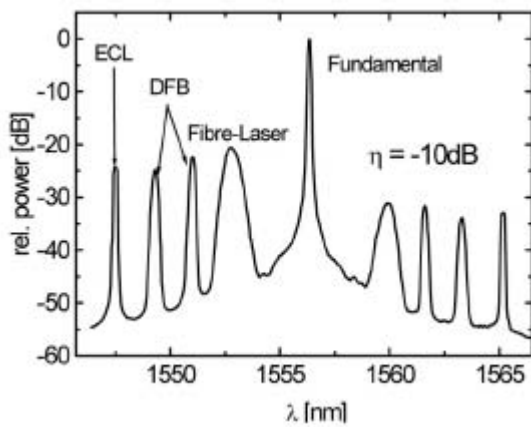


Bild 9: Ausgangsspektrum eines Wellenlängenkonverters für Multikanaloperation mittels cSHG/DFG.

systemen bewiesen haben. Das Schlüsselement ist ein kaskadierter Second-Harmonic-/Differenzfrequenzgenerator (cSHG/DFG). Seine Funktion als Wellenlängenkonverter wird in einem Kanalwellenleiter realisiert, der phasenangepasst ist für die "Second-Harmonic-Generation" (SHG) einer Pumpwelle mit einer Wellenlänge um 1550 nm. Ein LiNbO_3 -Kristall mit dem Kanalwellenleiter wird in einem temperaturstabilisierten Gehäuse mit Faserankopplung montiert (siehe Bild 8). Die Phasenanpassungswellenlänge kann mit der Temperatur eingestellt werden. Das Element kann betrieben werden bei Temperaturen von bis zu 200°C mit einer Temperaturstabilität von weniger als 0.01 K. Die Funktion wird anhand des in Bild 9 gezeigten Ausgangsspektrums eines cSHG/DFG erklärt. Pumplicht (im Bild als Fundamental bezeichnet) mit der Wellen-

länge von 1557.1 nm und mit einer Leistung von 100 bis 200 mW wird eingestrahlt. Die Phasenanpassung für SHG wird auf diese Wellenlänge eingestellt und in einem ersten quadratischen Mischprozess wird die SH der Pumpe generiert. Wenn zusätzlich die vier im Spektrum sichtbaren Signale (schmalbandiger "External Cavity Laser" (ECL), zwei "Distributed Feedback Laser" (DFB) und ein breitbandigerer gepulster Faserlaser (Fiber Laser)) mit Wellenlängen von 1547.5 bis 1552.5 nm eingestrahlt werden, so setzt simultan zum ersten ein zweiter quadratischer Mischprozess ein, bei dem aus SH der Pumpe und jedem der Signale eine entsprechende Differenzfrequenzwelle erzeugt wird. Da die Ergebnisse der ersten Mischung den zweiten Mischprozess speisen, wurde dieser Prozess kaskadiert genannt. Die Differenzfrequenzwellen, in diesem kaskadierten Prozess auch als Idlerwellen bezeichnet, haben Frequenzen, die um die Pumpwelle gespiegelt, im Wellenlängenbereich zwischen 1560 und 1565 nm zu sehen sind. Das Bauelement kann über eine Frequenzspanne von etwa 60 nm simultan viele Wellenlängenkanäle in der Frequenz verschieben und dabei gleichzeitig spektral spiegeln. Mit der Leistung der Pumpwelle kann die Leistung der Idlerwellen bestimmt werden. Hier hat man bei einer Pumpleistung von 175 mW eine Konversionseffizienz von -10 dB erreicht. Ein cSHG/DFG ist ein sehr vielseitig einsetzbares Bauteil. Beispielsweise die sehr wichtige Funktion der Kompensation von dispersionsverursachten Laufzeitverzerrungen von Signalen in optischen "Metropolitan"-Netzwerken (METRO) wurde in der Praxis erfolgreich erprobt.

Mit zwei dieser Bauelemente wurde ein Demultiplexer aufgebaut, der schematisch in Bild 10 zusammen mit einem "Optical-Time-Division-Multiplex"-Signal (OTDM) und seinen gemessenen demultiplexten Kanälen gezeigt ist.

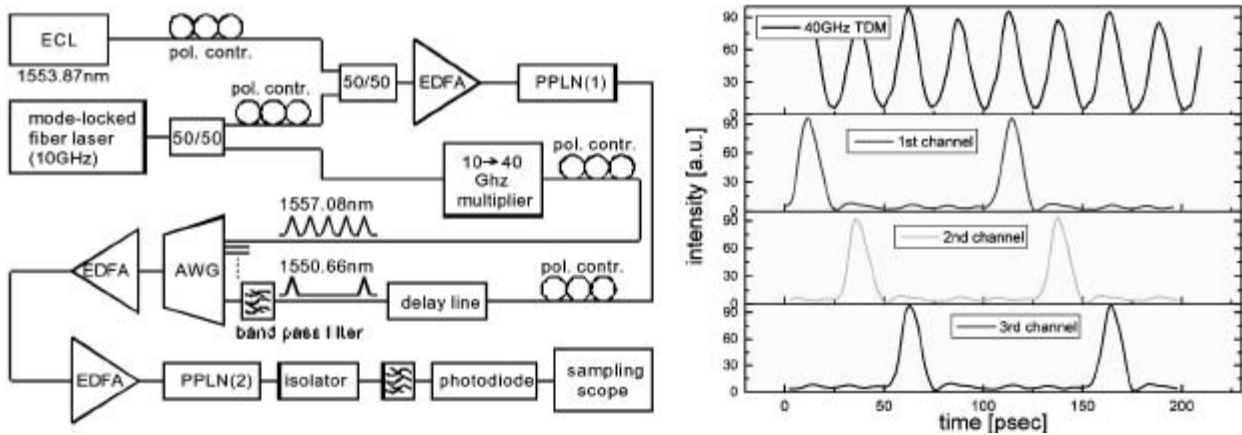


Bild 10: Experimenteller Aufbau zum Demultiplexen eines OTDM-Signals mit simultaner Wellenlängenumsetzung und gemessene Signalverläufe des OTDM-Signals und der extrahierten Kanäle.

Mit einem mode-gelockten Faserlaser wird ein Pulszug mit 10 GHz Wiederholrfrequenz und einer Wellenlänge von 1557.07 nm erzeugt. In einem 10 zu 40 GHz Multiplikator wird dieses Signal zu einem ein 4-Kanal-OTDM-Signal simulierenden Pulszug zusammengesetzt. Aus dem originalen Faserlasersignal und einem ECL-Laser

bei der Wellenlänge von 1553.87 nm wird mit einem cSHG/DFG-Wellenlängenkonverter (PPLN1) ein Abtastpulszug bei 1550.66 nm erzeugt, dessen Pulse bei geeigneter Verzögerung (einstellbar mit der "Delay Line") zeitlich mit jeweils dem vierten Puls des OTDM-Signals überlappen, also mit den zu einem Kanal des OTDM-Signals gehörenden Pulsen. In einem "Arrayed Waveguide Grating" (AWG) werden die beiden Pulszüge vereint. Die erbiumdotierten Faserverstärker (EDFA) verstärken die Lichtsignale unabhängig von der Wellenlänge. In einem zweiten cSHG/DFG-Wellenlängenkonverter (PPLN2) werden die demultiplexten Signale als Idlerwellen erzeugt, da nur dann ein Idler entsteht, wenn gleichzeitig ein OTDM-Signalspuls und ein Abtastpuls im PPLN2 ankommen. Das gezeigte Schema, bei dem PPLN2 als cSHG/DFG arbeitet, ist nur eine von mehreren möglichen Variante zum Demultiplexen oder Herausschneiden von Pulsen aus einem OTDM-Signal. Weitere Variationen des Schemas erhöhen die Funktionalität. Mit weiteren Zweigen mit ECLs verschiedener Wellenlänge zur Abtastpuls erzeugung und verschiedener Verzögerung können z.B. mehrere Kanäle simultan getrennt werden, wobei jedem der Kanäle gleichzeitig eine neue, mit der ECL-Wellenlänge einstellbare Wellenlänge gegeben werden kann.

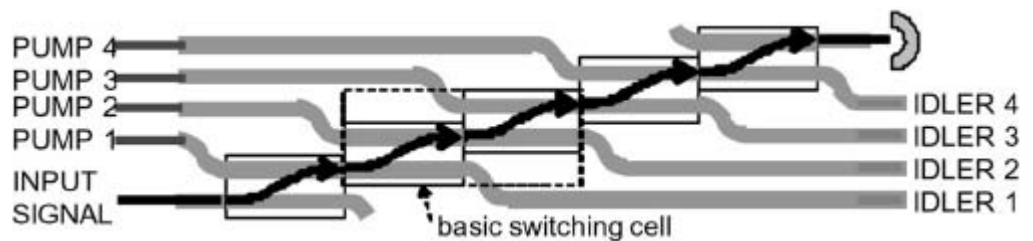


Bild 11: Aus fünf Wellenleiterkopplern aufgebaute 4x4 Schaltmatrix. Eine aus zwei Kopplern bestehende Basismatrix ist gekennzeichnet.

Das wichtigste Ergebnis von WP 4 ist neben einer abschließenden und umfassenden Charakterisierung rein-optischen Schaltens in nichtlinearen Richtkopplern die experimentelle Demonstration der Funktion des Kopplers als Basiselement einer in Bild 11 gezeigten Schaltmatrix für rein-optische Verteilung von Signalen. Signale mit Leistungen von wenigen Milliwatt können von Kontrollstrahlen mit Leistungen von einigen 100 mW auf einen beliebig adressierbaren Ausgangsport verzerrungsfrei und völlig transparent oder sogar verstärkt geschaltet werden. Dabei kann das Signal auch noch in seiner Wellenlänge verändert werden. Dass Signal- und Kontrolllicht keine feste Phasenbeziehung zueinander haben müssen, ist für die Anwendung von entscheidender Bedeutung.

Das in den ersten Koppler eingespeiste Signal koppelt in jedem der hintereinander geschalteten Koppler in den zweiten Kopplerarm und verlässt die Matrix im oberen Arm des letzten Kopplers. Mit Hilfe von Kontrollstrahlen, die nun in die Eingangsports als Pumpe 1 bis 4 eingekoppelt werden, können die Signale mit der Originalfrequenz und zusätzlich auch frequenzumgesetzt an die Ausgangsports als Idler 1 bis 4 geschaltet werden. Für die

Kontrollstrahlen bei etwa der halben Signalwellenlänge haben die Koppler vernachlässigbare Kopplung und eine Wirkung des Kontrollstrahls auf den falschen Ausgangskanal ist ausgeschlossen. Die Idler entstehen bei einem quadratischen parametrischen Lichtmischprozess als Differenzfrequenz von Kontrollstrahl und Signal. Bild 12 zeigt die Spektren geschalteter Ausgangssignale am Ausgang eines 50 mm langen einzelnen Kopplers.

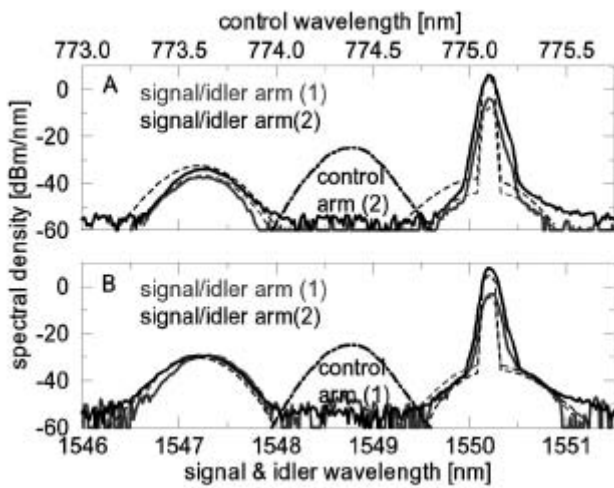


Bild 12: Gemessene und berechnete Spektren der Ausgangssignale aus beiden Kopplerarmen für verschiedene Eingangskonfigurationen: (A) Signalinput in Arm 1, Kontrollinput in Arm 2; (B) Signal- und Kontrollinput in Arm 1.

Die Spektren der eingeschalteten Signale sind im Bild als die Ausgangsspektren von Arm 1 für die Eingangskonfiguration (B) zu sehen. Ohne Kontrollinput bleibt Arm 1 dunkel. Man erkennt, dass neben dem eingeschalteten Signal bei der Originalfrequenz auch ein etwas stärkerer frequenzverschobener Idler zur Verfügung steht. Als interessantes experimentelles Detail sei angemerkt, dass wir hier mit einem nichtgepulsten Signal ("continuous wave", cw) und einem gepulsten Kontrollstrahl gearbeitet haben. Die geschalteten Pulse sind somit durch ihre breiten Spektren, die sie vom Kontrollpuls in der nichtlinearen Wechselwirkung übernommen haben, von dem ungeschalteten schmalbandigen cw-Signal zu unterscheiden. Besonders hervorzuheben ist die ausgezeichnete Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Daten, die zurückzuführen ist auf eine sehr detaillierte Probencharakterisierung, die uns alle für die Simulation relevanten Daten der Proben lieferte und die eine ganz ausgezeichnete Probenqualität bescheinigte. Somit ist eine Extrapolation der experimentellen Ergebnisse auf die Verhältnisse bei reinem Pulsbetrieb mit Hilfe von Simulationen gerechtfertigt. Bild 13 zeigt berechnete Ein- und Ausgangspulse von einer 50 mm langen Basisschaltmatrix aus zwei hintereinander-

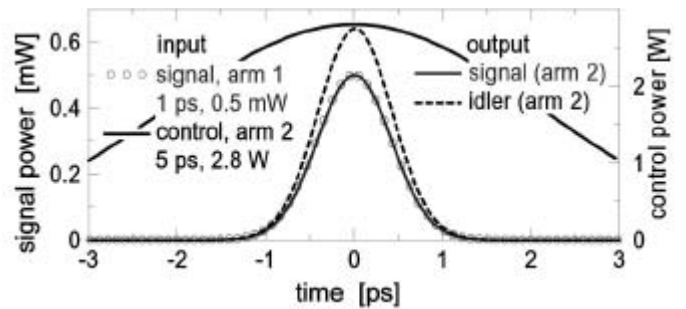


Bild 13: Berechnete Ein- und Ausgangspulse einer aus zwei Kopplern bestehenden Basisschaltmatrix mit der Gesamtlänge von 50 mm. Die Pulse sind in einem jeweils um die Laufzeit verschobenen Zeitrahmen gezeichnet.

geschalteten Kopplern. Der mit der hellgrauen Linie gezeichnete eingeschaltete Ausgangspuls mit der Signalwellenlänge ist in seiner Form nicht zu unterscheiden vom Eingangssignalspuls (dargestellt durch Kreise). Der eingeschaltete Idlerpuls im selben Arm hat die gleiche Pulsform. Beide Pulse haben die Pulslänge von 1 ps. Für das transparente Schalten des Signals wird eine Spitzenleistung des Kontrollpulses von 2.8 W benötigt. Die Kontrollpulsenergie beträgt 14 pJ. Die nichtlineare Dynamik der Pulswechselwirkungen in den gekoppelten Wellenleitern ist recht komplex und kann vorteilhaft zur Erhaltung der Pulsformen und Optimierung der Schaltleistungen genutzt werden. In unserem Beispiel hat der sich im Wellenleiter mit einer etwas anderen Geschwindigkeit als der Signalspuls ausbreitende Kontrollpuls zwecks optimiertem Überlapp beider Pulse die Dauer von 5 ps. Bei Signallängsen von 1 ps kann mit dieser Basismatrix ein Signal mit einer Datenrate von 100 Gbit/s mit einem Übersprechen von weniger als -43 dB geschaltet werden. Die Schaltgeschwindigkeit kann auf Kosten erhöhter Schaltleistung in kürzeren Kopplern weiter erhöht werden, wobei beide, die Schaltgeschwindigkeit und die Kontrollpulsenergie linear mit der Bauteillänge skalieren. So ist in einer 4x4 Schaltmatrix auf einem 50 mm langen Kristall transparentes Schalten eines 250 Gbit/s schnellen Signals mit Kontrollpulsenergien von 37 pJ möglich.

In WP 5 wurden die Wellenleiterarrays untersucht. Viel Arbeit wurde in die Entwicklung von Charakterisierungsmethoden der Arrayqualität investiert. Mit Hilfe der Beugungsbilder der diskreten Beugung, d.h. der Auswertung der Ausbreitung des Lichtes in einem Array, in dem nur ein einzelner Wellenleiter angeregt wird, konnte eine exzellente Uniformität der linearen Kopplung zwischen den Arraywellenleitern in einigen Proben vermessen werden. Bild 14 zeigt den Vergleich eines gemessenen und eines berechneten Beugungsbildes. Die ausgezeichnete Übereinstimmung ist nur dadurch zu erklären, dass die vorhandene Technologie mit Parametern betrieben wurde, die bis zum physikalisch Machbaren optimiert waren.

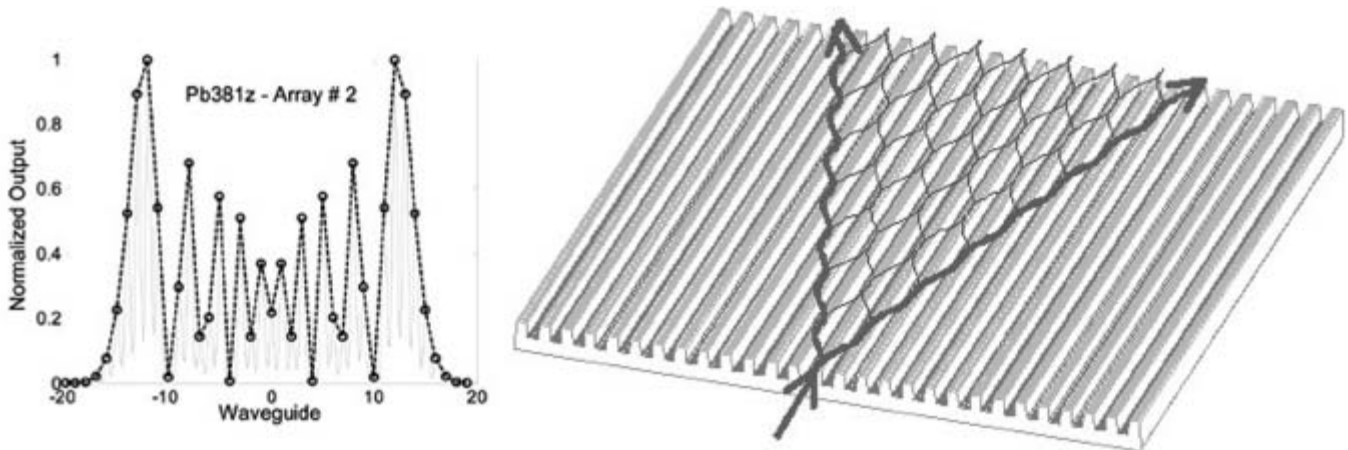


Bild 14: Lichtverteilung am Ende eines Wellenleiterarrays, in dem nur ein Wellenleiter angeregt wurde. In der rechten Bildhälfte ist schematisch gezeigt, wie sich das Licht durch Verkopplung der Wellenleiter im Array bei linearer Ausbreitung verteilt.

Die nichtlinearen Eigenschaften des Arrays wurden mit der Vermessung der SHG mit verschiedenen Eingangsstrahlkombinationen untersucht und mehrere interessante Verfahren hierzu wurden entwickelt. Ein nicht unerheblicher Teil der Arbeiten zum WP 5 war der Erzeugung und der Charakterisierung "diskreter Solitonen" gewidmet. Hierzu wurde eine spezielle Laserquelle am CREOL gebaut. Bei erhöhter Leistung des Lichtes verstimmt sich die Kopplung zwischen den Wellenleitern und das Licht kann in den Wellenleitern bleiben, in die es eingekoppelt wurde. Bei entsprechend verteilter Anregung nebeneinander gelegener Wellenleiter kann sich Kopplung und Nichtlinearität so kompensieren, dass sich ein diskretes räumliches Soliton bildet, bei dem das Intensitätsprofil entlang der

Ausbreitung unverändert bleibt. Der Effekt wurde ähnlich im Filmwellenleiter beobachtet, weist aber in diskreten Strukturen erheblich mehr Vielfalt auf, da die Phasendifferenz des Lichtes in nebeneinanderliegenden Wellenleitern als neuer Freiheitsgrad erscheint. Beispiele von in diskreten Systemen auftretenden "gestaggerten" (Phasendifferenz von 180 Grad zwischen Licht in Nachbarwellenleitern) und "ungestaggerten" Solitonen (Phasendifferenz von 0 Grad) sind in Bild 15 gezeigt. Neben einer Illustration der Phasenlage über den Diagrammen zeigen Messergebnisse die Lichtverteilung am Arrayausgang. Im linken oberen Diagramm sieht man für niedrige Eingangsleistung das aufgebogene Strahlprofil (gestrichelte Linien). Für eine Leistung von 500 W haben Ausgangsstrahl und

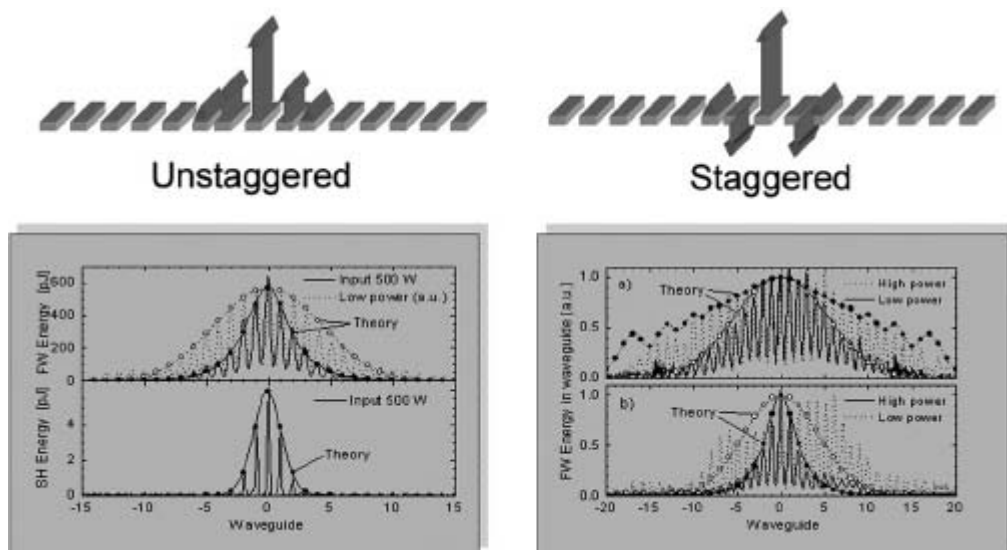


Bild 15: Gestaggerte und ungestaggerte diskrete quadratische Solitonen.

Eingangsstrahl das gleiche Profil (durchgezogene Linien) und der Strahl bildet ein Soliton. Das untere linke Diagramm zeigt die zum Soliton gehörende SH. Die experimentellen Ergebnisse sind exakt mit der Theorie (durch Punkte eingezeichnet) zu erklären, da wir auch hier alle wichtigen Parameter, besonders die der Probe, genau kennen. Das untere rechte Diagramm zeigt das Profil eines gestaggerten Solitons verglichen mit seinem Beugungsbild bei niedriger Leistung, das hier deutlich schlechter ist, wegen der nicht perfekten Anregung auf Grund von bei der Erzeugung der Phasensprünge eingefügten Abberationen. Das obere Bild zeigt den der Solitonbildung gegenteiligen Effekt einer nichtlinearen Strahlverbreiterung. Wie schon gesagt, diese Untersuchungen sind eher der Grundlagenphysik zuzuordnen und es kann hier nicht detailliert auf unsere sehr vielfältigen Ergebnisse eingegangen werden.

Abschließend sei noch auf die mehr praxisrelevante Realisierung einer Schaltmatrix in einem Array eingegangen, in der, wie bei der Kopplerschaltmatrix, die parametrische Differenzfrequenzzeugung in Verbindung mit den Lichtausbreitungseffekten im Array den Schalteffekt ermöglicht. Bild 16 zeigt das Wirkungsprinzip. Ein Strahl mit aufmoduliertem Signal wird als beugungsfreier Strahl im Array angeregt. Dieser Strahl läuft unter einem bestimmten Winkel quer durch das Array, wenn das Licht in den Nachbarwellenleitern innerhalb des einige Wellenleiter breiten Strahles jeweils um 90 Grad phasenversetzt ist. Wenn in einem Wellenleiter, der von dem Signalstrahl überquert wird, ein Kontrollstrahl bei etwa der halben Wellenlänge eingekoppelt wird, so findet eine parametrische Wellenmischung im Kreuzungsgebiet beider Strahlen statt, bei der der Signalstrahl verstärkt wird und ein spiegelsymmetrisch in eine neue Richtung laufender neuer Signalstrahl entsteht. Dieser durch den Kontrollstrahl eingeschaltete Strahl wird

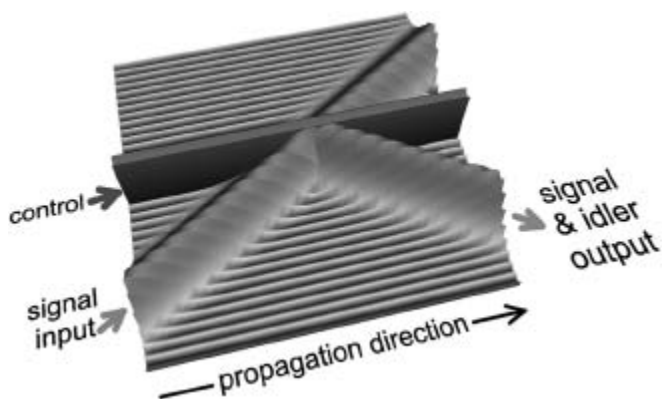


Bild 16: Funktionsschema einer Schaltmatrix im Wellenleiterarray.

begleitet von einem frequenzversetzten Idlerstrahl. Die Position dieser beiden Ausgangssignale kann mit der Position des Kontrollstrahles auf verschiedene Wellenleiter geschaltet werden.

Wie in der Kopplerschaltmatrix ist auch hier der Schaltprozess phasenunempfindlich. Durch die Leistung des Kontrollstrahles kann die Leistung der geschalteten Ausgangssignale bestimmt werden. Transparentes Schalten ist ebenso wie Schalten mit Verstärkung möglich. Für den Kontrollstrahl ist die Kopplung im Array vernachlässigbar und er bleibt geführt in dem Wellenleiter, in den er eingekoppelt wurde, so dass die parametrische Mischung ganz definiert in einem einzelnen Wellenleiter stattfindet. Bild 17 zeigt einige Messergebnisse. In Bild 17 (a) sind an verschiedene Ausgangspositionen geschaltete Idlerstrahlen zu sehen, deren Position mit der Einkoppelposition des Kontrollstrahles gesteuert wurde. Die Wellenlänge der Idlersignale kann mit der Wellenlänge der Signale verändert werden (siehe die Ausgangsspektren in Bild 17 (b)).

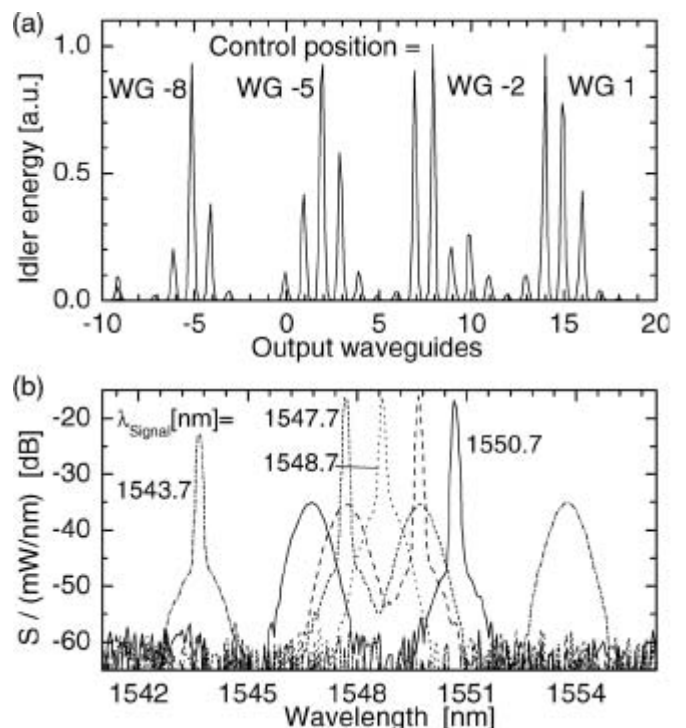


Bild 17: (a) Durch Variation der Position des Kontrollstrahles (Wellenleiter 1, -2, -5, und -8) wird die Position des eingeschalteten Signals und Idlers verändert. (b) Ausgangsspektren der geschalteten Signale. Die schmalen Spitzen zeigen die Spektren des eingekoppelten Signals, die breitbandigen Spektren gehören zu den eingeschalteten Signalen und Idlern.

Auf die ausschließlich theoretischen Ergebnisse von WP 6 wird hier nicht eingegangen, da die FHR hier keinen Beitrag geleistet hat. Bei der Vorstellung der Organisation des Projektes wurden schon kurz einige der hier untersuchten und in die Zukunft weisenden Themen benannt.

ZUSAMMENFASSUNG

Detaillierte Informationen zum wissenschaftlichen Erfolg und zu den Ergebnissen des abschließend von der European Commission als ausgezeichnet bewerteten Projekts sind einer Vielzahl von Veröffentlichungen auf den bedeutendsten internationalen Konferenzen zum Thema Optik (68 Vorträge) und in den bekanntesten wissenschaftlichen Journalen zur Physik und Optik zu entnehmen (37 Journal- und Buchartikel, u.a. Optics Letters, Physical Review Letters, Nature, Science). Als zusammenfassende Referenz sei auf die Webseite www.photonik.uni-jena.de/rosa_projekt/index.htm des Projektes und die Links zu den Partnern verwiesen.

Die Zeit, die ich am ROSA-Projekt mitwirkte war eine sehr arbeitsreiche, erfolgreiche und damit auch sehr schöne Zeit. Die Zusammenarbeit des Konsortiums auf sehr freundschaftlicher Basis ohne Profilierungsgehebe und Konkurrenzdenken war ganz ausgezeichnet. Jeder Partner arbeitete sehr gewissenhaft und verantwortungsvoll. Die fachliche Kompetenz, die gute Atmosphäre zusammen mit einem sehr straffen Projektmanagement des Koordinators Dr. Falk Lederer und nicht zuletzt die Disziplin aller Partner führten das Projekt zum Erfolg. Die Gutachter der Europäischen Kommission beurteilten unsere Arbeit und die Ergebnisse ungewöhnlich gut: "The partners are all world-leading groups in their respective field of expertise and seem to work together with a high

degree of synergy. Experiments and theory are well balanced and complementary. Management and collaboration are outstanding. Overall ROSA is outperforming. It is producing high quality scientific work, which will hopefully find applications in optical switching." Diese Einschätzung ist besonders erfreulich, wenn man die strengen Evaluationskriterien bei EU-Projekten in Betracht zieht und manche sehr kritische Beurteilung von EU-Projektarbeit kennt. Einen zukunftsweisenden Abschluss fand unser Projekt, als der unser Projekt betreuende Kommissar der Europäischen Kommission die Hoffnung aussprach, wir würden in der Zukunft wieder einmal zusammenarbeiten können.

SONDEN-TRAVERSIERVORRICHTUNG FÜR MESSUNGEN IM WINDKANAL

THEMENSTELLUNG UND ZIELVORGABEN

Die Strömungsfeldvermessung eines Modellkörpers in der Messstrecke eines Windkanals gestaltet sich beim manuellen Anfahren gegebener Messpunkte als besonders zeitaufwändig, mühsam und fehlerträchtig. Für die Anwendung im Labor Windkanal/Strömungsmesstechnik von Prof. Dr.-Ing. S. Lämmlein, Fachbereich Maschinenbau an der Fachhochschule Regensburg, wurde eine Traversiervorrichtung gesucht, die in der Lage ist, die umständliche manuelle Positionierung der vorzugsweise eingesetzten Prandtl-Sonde zu ersetzen, zu beschleunigen und zu präzisieren (Bild 1).

Für die drei Studierenden galt es, eine konstruktive Lösung für die Traversiervorrichtung zu entwickeln und schließlich auch die Herstellung der Vorrichtung in der Werkstatt der Fachhochschule durchzuführen.

In enger Absprache mit dem Laborleiter Windkanal/Strömungsmesstechnik Prof. Dr. Lämmlein wurden die Anforderungen bezüglich der räumlichen Gegebenheiten, der vorhandenen Messtechnik und der Handhabung der Traversiervorrichtung abgesteckt.

Folgende Anforderungen gilt es zu erfüllen:

- Zuverlässige Bewegung einer Strömungsmesssonde an einen beliebigen Ort in der Messstrecke des Windkanals mit einem Fahrweg von 600 mm in jede Raumrichtung
- Die dreidimensionalen Koordinaten des momentanen Messpunktes müssen jederzeit bekannt sein
- Wiederholgenauigkeit besser als 0,5 mm unter Windlasten bei einer maximalen Windgeschwindigkeit von 40 m/s
- Anwendung im bestehenden, wie auch im geplanten neuen Windkanal
- Die Zugänglichkeit der Messstrecke muss erhalten bleiben (mobile bzw. leicht demontierbare Lösung)

- Die Strömungsqualität soll durch die Vorrichtung selbst so wenig wie möglich beeinflusst werden
- Die Voraussetzungen für eine automatisierte Ansteuerung nach einem vorgegebenen zweidimensionalen Messgitter müssen geschaffen werden

Darüber hinaus gilt es, den Kostenrahmen von ca. 2000 Euro nicht zu überschreiten. Die Kosten für Kaufteile, Halbzeuge und sonstigen Materialien, die zur Fertigung in der hauseigenen Werkstatt erforderlich sind, werden aus Labormitteln bestritten. Die Auswahlkriterien zur Beurteilung der besten Lösung, müssen dementsprechend an eine kostenoptimierte Lösung angepasst werden.

KONSTRUKTIVE GESTALTUNG

Lineareinheiten

Ausgangspunkt der Konstruktionsarbeit ist die Auswahl geeigneter Linearachsen. Die meisten marktüblichen Linearsysteme erfüllen die technischen Anforderungen, sind dafür aber auch entsprechend teuer. Es handelt sich größtenteils um Präzisionsbauteile, meist Varianten von Linearkugellagern auf geschliffenen Stahlprofilen. Unter den vielen Angeboten verschiedener Hersteller erweist sich die Linearführungen der Firma IGUS als besonders geeignet. Deren Technik bietet den gewünschten Kompromiss aus Preis und Präzision. Es handelt sich dabei um Kunststoffgleitbuchsen auf gezogenen Aluminiumprofilen, kombiniert mit einer Trapezspindel für den Vorschub (Bild 2).

Auf dieser Basis erfolgten die Auslegungsrechnungen und die Zeichnungserstellung für Fertigungsteile mittels 3D-CAD.

Unter einer Vielzahl von Möglichkeiten ist die naheliegende Anordnung der Bewegungsachsen eine Struktur mit y- und z-Achse.



Bild 1: Aktueller, alter Windkanal

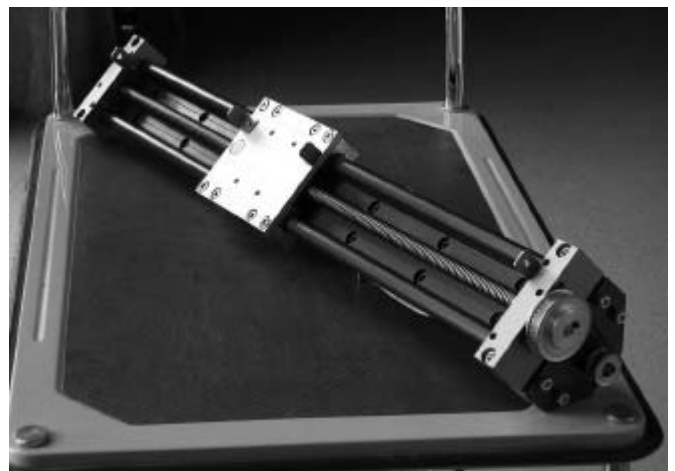


Bild 2: Linearsystem

Antriebe

Der elektromotorische Antrieb der beiden Achsen in der Orthogonalebene des globalen Stömungsfeldes erfolgt jeweils durch einen Schrittmotor der Firma ISEL mit 400 Einzelschritten pro Umdrehung. Die Motoren sind über einen Zahnriementrieb mit der jeweiligen Antriebsspindel der Linearführungen verbunden (Bild 3).

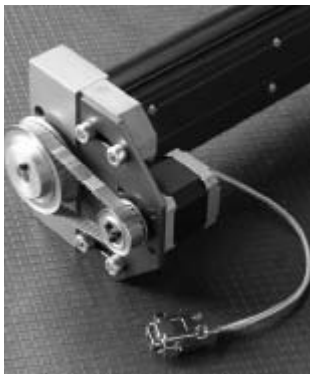


Bild 3: Motorischer Antrieb

Dies führt zu einer kompakten Bauweise und der Möglichkeit die Übersetzung vom Motor auf die Spindel auch nachträglich noch verändern zu können. Die gewählte Übersetzung bietet einem Schlittenvorschub von 2 mm pro Motorumdrehung. Ein Einzelschritt entspricht somit einem Schlittenvorschub von 0,005 mm. Ausgehend von einem Referenzpunkt wird zum Anfahren eines gewünschten Punktes dem jeweiligen Motor die Anzahl der auszuführenden Schritte in die betreffende Richtung mitgeteilt. Nach Erreichen der gewünschten Position wird der Motor weiter bestromt und erzeugt ein Haltemoment von 0,45 Nm. Die maximale Vorschubgeschwindigkeit der beiden motorisch angetriebenen Achsen beträgt 600 mm pro Minute. Aufgrund der Zuordnung von Schritten (Winkelinkrementen) zu einem Fahrweg ist zugleich ein indirekt messendes inkrementales Messsystem gegeben. Bei der x-Achse genügt ein manueller Antrieb über Handrad, Zahnrad und Zahnstange, da eine automatisierte Ansteuerung von Messpunkten nur für eine Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung

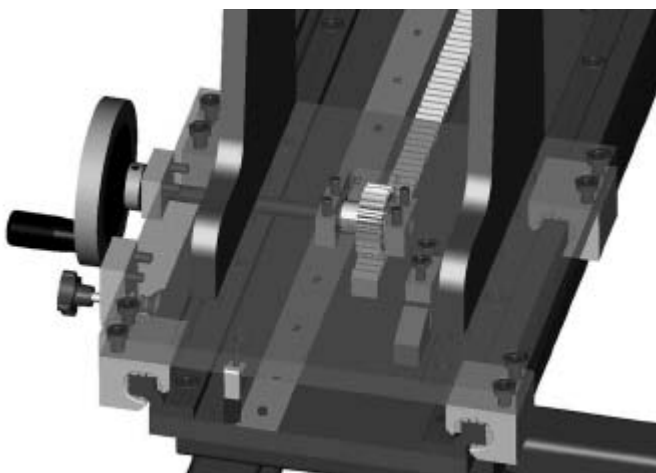


Bild 4: Manueller Antrieb

gefordert ist. Um die Strömung bei einer Messung nicht zu beeinflussen, ist diese Traversiervorrichtung parallel zum Windkanal konzipiert (Bild 4).

Sondenthalterung

Den Versatz von Vorrichtung zur Sonde überbrückt ein Auslegerrohr (Bild 5) aus unidirektional laminierten Verbundmaterial aus Kohlefaser (CFK). Ein flexibles Haltersystem ermöglicht die Aufnahme verschiedener Sonden. Der Hohlraum im CFK-Rohr wird zur Verlegung von Schläuchen für die Fünffloch-Prandtlsonde, sowie für Messleitungen für ein Hitzdraht-Anemometer genutzt. Im ungünstigsten Fall steht dieses Rohr mit der Sonde komplett in der Windströmung. Daraus resultieren Kräfte und Momente, die aber nach den rechnerischen maximalen Windlasten für die Verformung des ausgewählten Rohres als unerheblich anzusehen sind. Eine Strömungsanregung zu Eigenschwingungen des Rohres wird durch eine hohe Biegesteifigkeit bei sehr geringem Gewicht, wie auch durch die guten Dämpfungseigenschaften dieses Werkstoffes weitgehend ausgeschlossen.

Sowohl die Führungen, als auch die tragenden Teile sind großzügig dimensioniert, um die Eigenfrequenzen der ganzen Vorrichtung durch eine hohe Steifigkeit möglichst weit nach oben zu schieben. Alle Fertigungsteile zur Verschaltung der drei Achsen bestehen aus Aluminium (EN AW-5754).

Untergestell

Die komplette Traversiervorrichtung ist auf ein speziell entworfenes fahrbares Untergestell aus geschweißten Vierkantprofilen (S 235 JR) montiert (Bild 6). So wird erreicht, dass die Messstrecke des Windkanals frei zugänglich bleibt. In Verbindung mit einer fest im Windkanal angebrachten Bodenfixierung wird eine Demontage

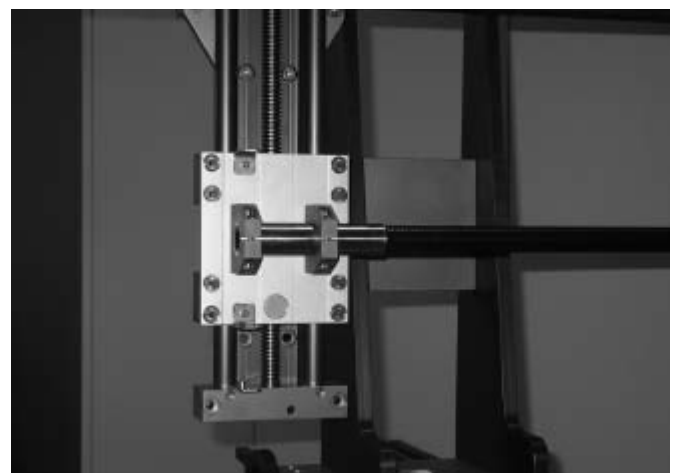


Bild 5: Sondenträgerrohr



Bild 6: Untergestell

mit wenigen Handgriffen erreicht. Über wenige Klemmelemente kann die gesamte Vorrichtung hernach wieder exakt in die gleiche räumliche Lage zum Windkanal ausgerichtet und fixiert werden.

ABSCHLUSSSTATUS

Die fertige Traversiervorrichtung (Bild 7) mit allen Komponenten konnte nach dreimonatiger Entwicklung, Konstruktion und Herstellung dem Laborleiter des Windkanals übergeben werden. Das Gerät, ein Flowscansystem, wurde im Labor feierlich „FloSSy“ getauft (Bild 8). Der neben der Funktionserfüllung bedeutsame Vorzug dieser Eigenentwicklung ist der geringe Kostenaufwand für Kaufteile und Rohmaterialien mit lediglich 1549,73 €. Die Herstellung erfolgte durch die Autoren mit Unterstützung von Herrn Karl, Oberwerkmeister des Labors, und Herrn Bergmüller, Zentralwerkstatt Maschinenbau.

Ein erster Funktionstest mit Ansteuerung der Schrittmotoren war überaus erfolgreich.

Mit der im Labor verfügbaren Messtechnik sowie einer für diese Anwendung entwickelte EDV-Steuersoftware können dank der neuen Traversiervorrichtung künftig komplette Strömungsfelder hochgenau positioniert und durch Automatisierung kostbare Arbeitszeit sparend ausgemessen werden.



Bild 7: Traversiervorrichtung



Bild 8: „FloSSy“ vor dem Leiter des Labors und den Autoren

ENTNAHMEVORRICHTUNG FÜR SPEISEEIS

Bei diesem Projekt handelt sich um eine Studienarbeit, deren Thema vom Studenten frei gewählt wurde.

1 KURZBESCHREIBUNG

Bei der Herstellung von Speiseeis ist die Entnahme des fertigen Produktes aus dem Herstellungsgerät infolge der Bauform immer noch mit einem hohen körperlichen Aufwand verbunden. Zwar gibt es Maschinentypen, welche eine leichte Entleerung ermöglichen, diese weisen jedoch dadurch eine prozessbedingte niedrigere Produktqualität und Quantität auf. Eine eigenständige Entnahmevorrichtung für Speiseeis für traditionelle Typen soll das Ziel haben, die Entleerung einfach und bequem durchführen zu können und die Qualität des Endprodukts zu erhalten.

2 AKTUELLER STAND DER TECHNIK

Bei der Speiseeisproduktion (Milchspeiseeis) muss das Endprodukt gleichzeitig gekühlt und durchgeknetet werden.

Dies wird dadurch erreicht, dass innerhalb eines doppelwandigen Zylinders ein rotierender Knetter die Bestandteile vermengt, während durch die Doppelwandung ein Kältemittel als Kühlmedium gepumpt wird. Dieses entzieht dem Kesselinhalt durch sein Verdampfen Energie und kühlt es somit ab.

Dabei kann man 2 Typen unterscheiden: stehende („traditionelle“) und liegende („Fräser“) Zylindertypen, wobei die Stehenden Typen nochmals untergliedert sind in starre und drehende Zylinder.

Beim liegenden Zylinder befindet sich im starren Zylinder ein rotierender Knetter, welcher auch (im Rückwärtslauf) als Fördereinrichtung genutzt wird. Ein zu langer Kontakt mit den Kühlwänden senkt die Qualität des Endproduktes erheblich. Das Geschmacksemp-

finden wird bei zu langem Kontakt mit den Kühlwänden getrübt, das Eis schmeckt „verbrannt“.

Da dies bei liegenden Zylindertypen jedoch stets der Fall ist – hier hat das Eis permanent Kontakt mit der Kühlfläche – ist das Qualitätsergebnis gering. Da zudem auch noch die Durchmischung nicht optimal ist, sinkt das Ausstoßvolumen der Eismaschine, da sich weniger Luft im Eis befindet. Dies mindert neben den finanziellen Einnahmen durch das geringere Volumen auch zusätzlich den Geschmack, weil die Aromen und der Geschmack des Speiseeises stets mit Luftkontakt entstehen. Durch die einfache Bedienbarkeit und die Entnahme des Endproduktes auf Knopfdruck erfreut sich dieser Typ jedoch immer größer werdender Beliebtheit, auch wenn das Ergebnis des Fertigungsprozesses nicht optimal ist. Bei traditionellen stehenden Zylindern rotiert der Kühlzylinder mit einer hohen Winkelgeschwindigkeit um seine Längsachse. Dadurch wird das Eis regelmäßig durch die Fliehkraft an die Wandung gepresst, kühlt dort ab und wird wieder vom Knetter abgeschabt und in das Kesselinnere zurückgebracht. Dabei findet bei Verwendung entsprechender Knetter eine sehr gute Durchmischung statt. Das Eis hat regelmäßig kurzen Kontakt zur Kühlfläche und wird gut durchmischt, ohne dass sich zu schnell im Eis Kristalle bilden können.

Es gibt heute auch neuere (starre) Typen bei denen bei einem stehenden Zylinder der Knetter achszen-trisch die Rotationsbewegung ausführt und das Eis an die Wandung presst und es von dort wieder herab fällt. Das Eis wird über eine Klappe an der nur teilweise gekühlten Innenwandung entnommen, der Knetter drückt es aus dem Kessel in einen entsprechenden Behälter. Die Durchmischung und somit auch der Geschmack und Volumenzuwachs ist jedoch nicht ganz so gut wie bei traditionellen Typen, da hier kein Wechselspiel zwischen Fliehkraft und Knetter stattfindet.

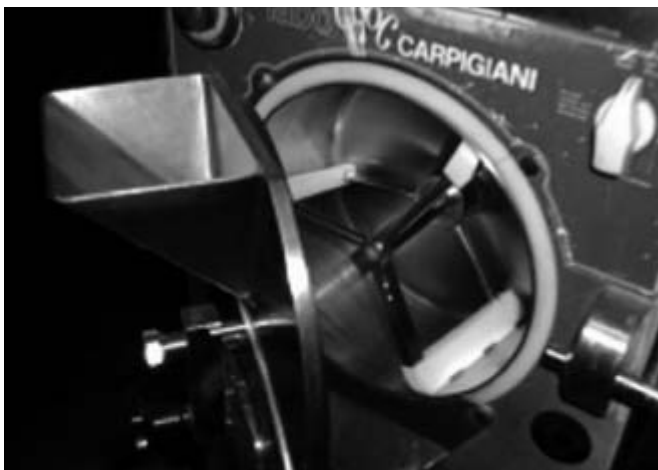


Bild 1 und 2: Prinzip liegende („Fräser“)



oder stehend drehende Eismaschine

3 NACHTEIL TRADITIONELLER DREHENDER TYPEN

Problematisch bei rotierenden Zylindern ist hier die Entnahme des Endproduktes. Da sich bei Flüssigkeiten im drehendem Zylinder eine Parabelform als Oberfläche der Produktmenge einstellt, ergeben sich prozesstechnisch hohe Zylinder mit kleinem Durchmesser als ideale Bauform für hohe Drehzahlen und somit gute Durchmischung. Das durch den hohen Milchanteil entstehende hohe Gewicht des Produkts und die ungünstigen Position am Boden des langen dünnen Zylinders hat eine aufwändige Entnahme zur Folge. Das fertige Eis muss (meist von Hand mit einem Schaber) aus dem Zylinder nach oben heraus befördert werden. Im untersuchten Fall betrug die Mindesthöhe für das Herausheben 460 mm vom Boden des Kessels bis über die Abdeckblende, wobei dies in einer ergonomisch ungünstigen Position stattfindet, da der Kesselboden 400 mm über den Maschinenboden liegt.

Es ergibt sich somit eine Hubbewegung von 40 cm Bodenhöhe um ca. 50 cm auf über 90 cm Höhe. Dies entspricht bei einem stehenden Menschen einer Handbewegung von unterhalb des Knies auf etwa Gürtellinie. Die Verwendung von langen Schabern reduziert zwar die Belastung bei der Entnahme, dennoch ist der körperliche Aufwand infolge der großen und schweren Mengen des Eises in ungünstiger Position immer noch hoch. Gewünscht wird eine zusätzliche automatische Entnahmevorrichtung welche „auf Knopfdruck“ ohne körperlichen Aufwand das Eis in angemessener Zeit möglichst restlos aus dem Kessel befördert ohne seine Qualität zu schmälern.

Diese soll auch bei bereits bestehenden Maschinen als erweiternder Zusatz ermöglicht werden.

4 ANFORDERUNGSLISTE

Die Anforderungsliste an die Fördereinrichtung lautet somit:

1. Förderung von Speiseeis aus dem Kessel
 - ohne großen Kraftaufwand
 - bei möglichst restloser Entleerung
 - innerhalb von 2 min.
 - keine „Beschädigung“ der Qualität des Eises durch Temperaturveränderung.
 - evtl. ohne Abschalten der Rotationsbewegung des Kessels
2. Lebensmitteltauglichkeit
 - nach DIN bzw. FDA
 - geringer Reinigungsaufwand
 - Temperatur Beständigkeit bei Reinigung (65 °C)
 - geringe Kontaktfläche zum Produkt, Vermeidung von Spalten und Hohlräumen
3. Betriebssicherheit durch
 - Erfüllung der Maschinenrichtlinie

- Abschirmung der Verletzungsgefahren
 - intuitive Bedienbarkeit
4. spezifische Anforderungen
 - Langlebigkeit bei Beständigkeit gegen Säuren, Pulverbelastungen (Milchpulver)...
 - keine Veränderung der bestehenden Teile (Add on-Bauteil)
 - keine überstehenden Bauteile
 - ansprechendes Design
 - Gute Sicht und Eingriffsmöglichkeit auf das Produkt noch möglich
 - kostengünstige Konstruktion bei geringen Stückzahlen
 - einfache Fertigung
 - Bedienung und Zerlegung/Reinigung ohne Werkzeug möglich

Teilweise widersprechen sich die Anforderungen an die Vorrichtung. Hier wurde nach Rücksprache mit erfahrenen Anwendern eine Abstimmung gefunden, welche die Anforderungen angemessen zueinander abwägt.

5 MÖGLICHKEITEN DER ENTNAHME

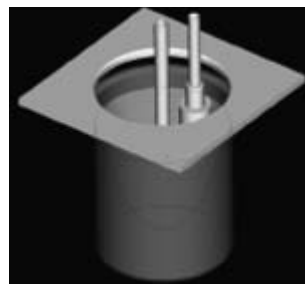


Bild 3: Zugriff auf Produkt nur über Blende (vereinfachte Darstellung)

Das fertige Eis befindet sich zunächst am Boden des Kessels. Idealerweise geschieht die Entnahme noch während der Zylinder rotiert. Dies erfordert eine Entnahme des Eises durch die Zylinderöffnung nach oben durch die Isolationsblende.

Die Innenwand des Zylinders sollte für einen möglichst guten Wärmeübergang zwischen Kühlmedium und Speiseeis klein sein. Für das angestrebte

Abschaben mit dem Knetter muss die Innenwand eine gewisse Rundlauftoleranz erfüllen. Klappen und Abflussrohre fallen somit weg. Ein Zurücksetzen der Entnahmestelle „hinter“ den Durchmesser, den der Knetter abschabt, würde eine Unwucht und einen Totraum erzeugen, in welchem das Produkt nicht durchmengt wird, die effektive Kühlfläche wird kleiner, zudem ergibt sich die Problematik, das zähe Produkt von einem rotierendem Relativsystem an das körperfeste Maschinengestell abzugeben. Bei Stillstand müsste der „Kessel“ bei der Übergabe eine definierte Winkelposition einnehmen, um das Produkt übergeben zu können. Außerdem wäre eine konstruktive Änderung der Maschine nötig. Eine Entnahmevorrichtung darf somit nicht zylinderfest sein, sondern muss sich zumindest an der Abgabeseite stets an der gleichen Stelle befinden, um das aufgenommene Produkt an das (maschinenfeste) System gezielt abgeben zu können. Da eine Überführung von rotie-

rend auf stehend sehr aufwändig und lebensmitteltechnisch bedenklich ist, muss auch der Eingriff maschinenfest sein.

Wenn der Eingriff stets an einer Stelle erfolgt, muss die gesamte Produktmenge am Eingriff vorbei, um eine restlose Entleerung zu gewährleisten. Dies erfordert eine Drehbewegung des Kessels, also eine Entnahme des Produktes bei laufender Maschine.

Es ergibt sich somit als Ort für die Entnahme der äußerste Rand des Kesselbodens, da sich dort durch die Fliehkrafteinwirkung die letzten Teilchen des Produkts bei der Entleerung aufhalten. Dieser Eingriff muss allerdings vor dem Knetter stattfinden, der das Eis wieder in den Kessel zurückwirft. Die Benutzung des Kneters als Archimedische Spirale zur Förderung des Produkts ist infolge der hohen Steigung und des hohen Restvolumen in der „Förderleitung“ nicht sinnvoll, auch nicht bei verändertem Knetter.

Generell sind Pumpenlösungen (wie sie z.B. als Zahnpumpensysteme bei Ausgabemaschinen bereits bei der Sahneisportionierung verwendet werden) allgemein nicht geeignet, die Eismenge in angemessener Zeit aus dem „Kessel“ zu befördern, da entweder bei zu großem Durchmesser das Restvolumen zu hoch oder bei zu kleinem Durchmesser die Fördermenge zu gering ist oder das Eis „geschädigt“ wird.

Außerdem stellt die Ansaugung ein weiteres Problem dar. Bei stationären Tauchpumpensystemen ergeben sich neben dem geringem Bauraum für Pumpe und Motor im Kessel und wegen der entstehenden hohen Momente auf die Pumpenhalterung während des Produktionsprozesses auf die großen Angriffsflächen einer solchen Anordnung weitere Probleme. Der Ein- und Ausbau wird durch die nötige Steifigkeit derartiger Systeme aufwändig.

Es ist anzunehmen, dass eine schwer zugängliche Pumpe trotz Vorschrift nicht von allen Anwendern regelmäßig gereinigt wird und bei qualitätsbewusstem Personal eine aufwändige Reinigung nach jeder Eissorte (um eine Beeinträchtigung der folgenden Sorte durch den Vorgänger auszuschließen) keinen Vorteil mehr gegenüber der bisherigen Entnahme darstellt. Förderpumpen-Systeme, welche in ihrer gesamten Förderlänge das Produkt beinhalten, sind infolge ihrer Restvolumina ungünstig. Druck als Antriebsmedium fällt somit aus. Auch weitere Lösungen welche auf „Anziehung“ basieren finden hier keine Anwendung.

Fördersysteme mit leerer „Resföderleitung“ sind anzustreben, da sie nur wenig verkaufsfähige Produktmasse bei Sortenwechsel verschwenden.

Hierzu gibt es 2 Möglichkeiten:

- vollständige Entleerung in einem Schritt
- Entleerung über mehrere Schritte

Die Entnahme der gesamten Produktmasse auf einen Arbeitsgang ist umständlich. Ein Bodenblech, welches durch Hochziehen das Eis herausfördert, ist wegen des sich nach oben verjüngenden

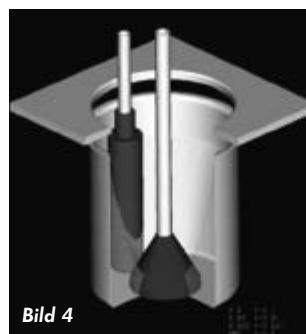
Kunststoffkegels und des Kneters mit zwei unterschiedlichen Steigungen der beiden Flanken nur schwer auszuführen. Zudem gestaltet sich die Entnahme über die stehende Abdeckblende als schwierig, da sich zwischen Zylinder und Abdeckblende ein Luftspalt befindet, in den das Eis gepresst werden würde. Auch das hohe Gewicht der Produktmenge pro Produktionsschritt stellt ein Problem dar.

Die Umkehrung der Entnahmebewegung, also ein Auskippen des Eises aus dem Behälter ist infolge des enorm hohen Gewichtes der gesamten Maschine, dem bereits erwähnten Luftspalt und dem zusätzlich erforderlichem Platzbedarf für eine derartige Schwenkbewegung ebenso nicht sinnvoll.

Eine Entleerung über mehrere Schritte scheint damit vorteilhafter zu sein.

Hier wird nur ein Teil der Menge gefördert, welche am Ende der Bewegung möglichst vollständig und exakt übergeben werden muss. „Schießende“ Fördersysteme haben infolge der unterschiedlichen Zugaben zum Produkt (Schokoladensplitter bei Straciatellasorten, Fruchtstücke) Probleme durch Verstopfungsmöglichkeiten und möglichen Richtungsablenkungen, sofern sie mit Kompression arbeiten. Arbeiten sie mit mechanischer Beschleunigung, so stellt sich die Frage der Energiezufuhr an das System, welches sich am Kesselboden befinden muss und in welcher Weise die Abgabe sicher durchgeführt werden kann.

6 BISHERIGE ENTNAHME



Es ergibt sich also ein Prozess, welcher mehrmals durchgeführt wird und bei dem jeweils eine Teilmenge vom Zylinderboden aufgenommen und gezielt nach außen abgegeben wird. Dies ist die aktuelle Vorgehensweise, indem bei der Entnahme mit einem Schaber „ausgelöffelt“ wird. Dabei wird mit dem Schaber das fertige Eis am Boden aufgenommen (meist während der Kessel rotiert, um die Schaberfläche möglichst gut mit Eis zu füllen). Befindet sich auf dem (schräg gestellten) Schaber genug Eis, wird er hochgezogen. Ist er aus der Maschine befördert, wird das Eis an den neben der Maschine stehenden Transportbehältern abgegeben, indem der Schaber schnell senkrecht nach oben gezogen wird und das Eis in den Behälter hinabfällt. Der noch benetzte Schaber wird zum Schluss mit einem kleinen Schaber abgestreift, wenn er trotz Beschichtung noch Rückstände aufweist. Der komplette rotierende „Zylinderkessel“ kann mit dem großen Schaber gereinigt werden,

auch am Kneter befinden sich keine größeren Restvolumina. Der einzige Nachteil der bisherigen Lösung ist der menschliche Kraftaufwand.

Bei einer genauen Nachbildung dieser Bewegung werden alle Anforderungen durch eine zu konstruierende Zusatzapparatur erfüllt. Durch den geringen Kontakt mit dem Endprodukt nur über eine Schaufelfläche lassen sich lebensmitteltechnische Forderungen leicht erfüllen. Wärmeeinbringung am Produkt findet ebenso wenig statt wie Rückwirkungen des Produktes auf die Vorrichtung. Bei Eingriff der Schaufel am äußeren Kesselboden kann von einer nahezu restlosen Entleerung ausgegangen werden. Ein Weiterlaufen der Rotationsbewegung des Zylinders ist (wie bisher) möglich. Falls sich die Schaufel nur im Inneren des Zylinders bewegt, beeinträchtigen keine überstehende Teile den Platzbedarf der Maschine noch die Sicherheit des Benutzers. Allerdings ergibt sich als weitere Aufgabe neben den Bewegungsablauf eine präzise Übergabe des Schaufelvolumens.

7 DER LÖSUNGSANSATZ

Die Fördereinrichtung soll den bisherigen Entnahmevergange möglichst gut abbilden. Dazu hat eine Schaufel am untersten äußersten Punkt des Kessels das Produkt aufzunehmen, es möglichst vollständig bis zur Abdeckblende zu befördern und dort möglichst vollständig zu übergeben. Der Mechanismus hat sich aus Platz- und Sicherheitsgründen möglichst unter der Abdeckblende zu befinden, soll aber noch dem Benutzer Sicht- und Eingriffsmöglichkeit auf das Produkt ermöglichen. Dies ist notwendig, da der Platzbedarf der Maschine nicht durch die Erweiterung vergrößert werden darf. Die Produktionsstätten sind üblicherweise nur sehr klein. Eine gute Sicht zum Produkt ist auch deshalb zusätzlich erforderlich, da die Eisproduktion größtenteils nach Augenmaß überwacht und geregelt wird. Eine leichte Demontage zu Reinigungszwecken zumindest der mit dem Eis in Berührung kommenden Teile muss sichergestellt sein, möglichst ohne Werkzeug.

Um einen Bewegungsablauf nachzubilden, gibt es zwei Möglichkeiten: Über eine Regeleinrichtung mit Signalverarbeitung oder über eine Steuerung als Zwangskurve. Diese wird für einfache Maschinen im Maschinenbau traditionell als mechanisch geführte Bahn ausgeführt. Eine Regelung der Lage ist mit einem hohen Aufwand verbunden, der hier keine nennenswerten Vorteile bietet. Deshalb wird der Bewegungsablauf nicht nachgeregelt. Dadurch ergibt sich eine über den gesamten Entleerungs-Zeitraum eine gleichbleibende Bewegung.

Dies hat zur Folge, dass beim ersten Hub bereits bis zum Boden in die Eismenge eingetaucht werden muss, wenn nicht noch eine zweite Zustellbewegung konstruiert wird. Da sich der Kessel drehen muss, um die Schaufel zu befüllen und um eine möglichst vollständige Ent-

leerung zu erreichen, treten besonders am Anfang der Entleerung durch die bewegten Eismassen hohe Flächenkräfte auf die Schaufel auf. Diese erzeugen infolge ihres hohen Abstandes zur Blende (als nächste feste Abstützmöglichkeit) ein hohes Moment, welches von der Blende aufgenommen werden muss. Es ist also auch anzustreben, die Apparatur so auszulagern, dass sie während der Eisproduktion nicht in die Eismasse störend eingreift. Hierbei ist auch das Parabelprofil am Anfang des Herstellprozesses durch die Fliehkraft auf die noch nicht vermengte Milch zu berücksichtigen. Führungsbahnen sollten nicht nur aus lebensmitteltechnischer Sicht nicht in das Produkt eingreifen, sondern (wegen den zugegebenen feinkörnigen Pulvern im Produkt) auch aus Gründen der Lebensdauer.

Eine geführte Kurvenbahn hat somit Nachteile infolge ihrer großen Verschleißflächen in Produktnähe. Es sind möglichst wenig Führungsbahnen anzustreben und diese möglichst als Drehlager und nicht als Schiebeführungen ausführen.

Deshalb erweist sich ein ungleichförmig übersetzendes Getriebe aus Drehgelenken als vorteilhaft. Durch ein derartiges Getriebe ist es möglich, Bewegungen nachzubilden. Es besitzt wenig Gleitflächen, ist einfach und billig zu fertigen, da lediglich Bohrungsabstände „genau“ zu fertigen sind. Es weist je nach Kurve eine sehr harmonische Bewegung mit geringer Schlagneigung auf, welche somit auch hohen Drehzahlen genügt. Dadurch lassen sich Schaufelgröße und somit entstehende Momente auf die Blende reduzieren. Zudem kann es einfach montierbar als Steckverbindung ausgeführt werden, erfordert keine hohe Präzision bei der Montage und ist im Betriebsverhalten als sehr robust anzusehen. Als Nachteile derartiger Konstruktionen können der hohe Konstruktionsaufwand und die nicht exakte Nachbildung der gewünschten Bewegung angesehen werden. Da ein effektives Simulationsprogramm für diesen Fall eines ebenen Getriebes verfügbar ist (SAM 4.0) und keine exakten Bahnkurven nachgebildet werden müssen, stellt sich diese Möglichkeit der Realisation als attraktiv für eine weitere Verfolgung dar.

Es ergibt sich im vorliegenden Fall aber eine Problematik mit der Übergabe des Produktes, wozu eine zusätzliche Konstruktion ausgeführt werden muss.

7.1 Anforderung an die Bahnkurve

7.1.1 Der Transport des Eises

Die Bahnbewegung eines „menschlich“ geführten Schabers ist nur unter hohem Aufwand nachzubilden. Da selbst mit aktuellen Theorien und hoher Gelenkanzahl maximal 9 Punkte einer Bahn exakt getroffen werden können, müssen die Anforderungen an die Kurve auf ein Minimum reduziert werden, um den hohen Aufwand für die Konstruktion der Kurve in Grenzen halten zu können und die entstehenden Produktionskosten gering halten zu können.

Zudem müssen an bestimmten Punkten weitere Parameter der Kurve wie Geschwindigkeit Beschleunigung und Winkellagen des bewegten Punktes (welcher die Schaufelspitze darstellt) ebenfalls erfüllt werden. Ebenso sind niedrige und harmonische Verläufe der Geschwindigkeit, der Beschleunigung und der Ruckfunktion anzustreben, um zu verhindern, dass das Produkt infolge seiner Eigenmasse und der Geschwindigkeit bzw. der Beschleunigung die Schaufel unkontrolliert verlässt. Auch durch Sprünge im Beschleunigungsverlauf entstehende Schläge und auch die daraus resultierende Geräuschbelastung durch den Mechanismus sind zu vermeiden.

Des weiteren darf der Mechanismus der Kurve laut Vorgabe nicht über die Maschine hinausragen.

Deshalb muss angestrebt werden, die Gelenkverbindungen im Zylinderinneren unterzubringen, wobei sich dadurch als Bauraum der Zylinderraum zwischen Abdeckblende und Parabeloberfläche des Produktes bei Prozessstart ergibt. Zusätzlich soll er nach Möglichkeit hinter der zentrischen Kesselwelle liegen, damit die vordere Kesselhälfte zur Überwachung des Prozesses einsehbar bleibt.

Dies ist auch aus Gründen der Betriebssicherheit nötig, da bewegte und sich zeitweise überschneidende Gelenkstangen unge schützt eine hohe Gefährdung des Bedienpersonals darstellen.

Die Anforderung an die Kurve lautet somit

- Bauraum innerhalb des Zylinders
- Aufnahme des Eises am unteren Ende der Kesselwandung (bei möglichst vollständiger Füllung der Schaufel)
- möglichst harmonischer und verlustfreier Transport der Eismenge über die Blende (Winkellagen des Punktes beachten)
- gezielte Übergabe des Produktes an der Blende.

7.1.2 Die Aufnahme der Eismasse

Für eine restlose Entleerung ist ein möglichst gutes Abfahren der Eckkontur des Kessels am Boden erforderlich. Hier besteht die Ecke

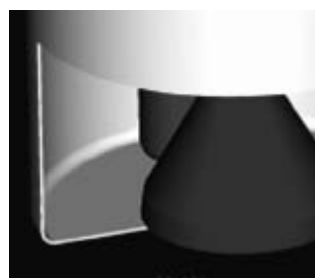


Bild 5: Schema Eingriffsposition

aus einem großen Radius und anschließend senkrecht nach oben verlaufender Wandung. Am Startpunkt wird über eine Anfangsstrecke eine sehr genaue Bewegung gefordert. Es ist infolge des geforderten hohen Hubs geeigneter, die Anfangskontur mit der Bauteilkontur abzugreifen, anstatt eine Kurve zu entwerfen, welche die (Radius-) Kontur ab-

fährt. Danach soll sich der Schaber von der Wandung rasch entfernen, um die dünnwandige Zylinderfläche nicht zu beschädigen. Allerdings soll der Schaber möglichst gut gefüllt bleiben, d.h. er hat eine Position einzunehmen, in welcher er möglichst wenig Eis

beim Transport verliert. Würde die Bewegung des Schabers rein translatorisch nach oben verlaufen, so würde ein Teil der in die Schaufel geförderten Eismenge wieder von der Schaufelfläche gleiten, da das Volumen nur von 3 Seiten (in Betrachtungsrichtung unten, hinten und rechts) umschlossen wird. „Überschüssiges“ Eis würde auf der „linken“ und „vorderen“ Seite abfließen.

Die „vordere“ Seite zeitweise zu verschließen, erfordert einen hohen Aufwand, da sie zum Befüllen der Schaufel geöffnet werden muss. Auch stehende „teilweise abdeckende Seiten“ stellen einen zusätzlichen Aufwand dar, welche jedoch einen höheren Füllgrad versprechen aber bei undurchsichtigen Materialien die Sichtbarkeit beeinträchtigen. Die Abdeckung der „linken“ Seite übernimmt im Moment der Befüllung der Kessel selbst. Würde man die Vorrichtung (in der Draufsicht auf den Kessel) „vor“ der Kesselachse anbringen, so könnte dies auch die Schaufel selbst erfüllen, allerdings ist die Umlenkung und sind somit die Kräfte der Eismassen beim Aufprall auf den Schaber größer und der Sichtbereich deutlich eingeschränkt. Anzustreben ist somit eine Drehung der Schaufel bei der Hochbewegung von der horizontalen L-Lage des Schabers in V-Lage, um möglichst wenig Eismasse über die linke Seite zu verlieren.

Das Eis muss in Höhe der Kesselblende gezielt übergeben werden. Es soll am Ende der Förderung in einen Standardbehälter eingebracht werden. Da eine Anbringung des Behälters auf der Abdeckblende die Förderhöhe zusätzlich erhöhen würde, muss dieser neben der Maschine angebracht werden und das Eis über eine Förderleitung an ihn abgegeben werden. Da hier eine starke Richtungsänderung des Kurvenverlaufs vorliegt, ist es unwahrscheinlich, diese Bewegung mit einem einfachen Gelenkmechanismus gut abdecken zu können. Deshalb wird das Eis nach der „geradlinigen“ (Hoch-) Förderung aus dem Kessel an ein zweites System übergeben, welches den horizontalen Transport übernimmt. Dies ist sinnvoll, da die entstehenden Untersysteme in der Technik bereits oft vorkommen und somit bereits Teillösungen vorliegen. Die Abgabe an den Behälter durch das Ende eines Förderweges ist leicht zu realisieren, da Platz vorhanden ist und die Widerstände gegen das Abfließen gering sind. Zudem ist eine exakte Positionierung nicht nötig, da es sich um relativ große Behälter handelt. Eine einfache nach oben offene Förderstrecke (z.B. ein U Profil als Führung), welche das Eis durch seine Restgeschwindigkeit in den Behälter fördert, ist eine kleinstbauende kostengünstige und sichere Methode, welche zudem noch Einblick- und Eingriffsmöglichkeit auf das Produkt ermöglicht.

7.1.3 Die Übergabe des Eises

Die gezielte Übergabe des Eises vom hochförderndem Mechanismus auf die waagrechte Schiene gestaltet sich problematischer. Ein Abstreifen der Schaufel an einer Kante erfordert eine sehr genaue Konturbewegung (oder Federlagerung) und schränkt die Geometrie der Schaufel ein. „Schießende“ Übergabe erzeugt

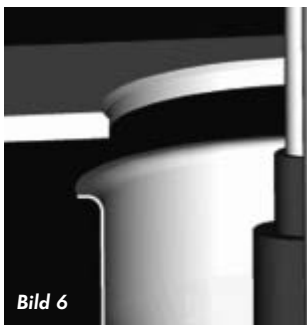


Bild 6

Spritzen und ist infolge der unterschiedlichen Eissorten und Beladungsmengen der Schaufel daher nicht geeignet, die Übergabe mit gezielten Beschleunigungen der Massen durchführen zu können. Gesucht ist also eine Vorrichtung, welche das Eis bei schwankender Beladung sicher und gezielt an die Schiene übergibt.

Eine zusätzliche Energiequelle steht nicht zur Verfügung. Die für die Übergabe nötige Energie muss daher aus dem vorhergehenden System übernommen werden.

Hier bietet sich die Energie der Eismassen und die hohen Kräfte des Schabers in der oberen Totpunktlage an.

Der Schaber befindet sich auf Kesselblendenhöhe im oberen Totpunkt. Er liegt somit immer noch über dem Kessel. Das Eis muss durch eine Rückhaltevorrückung davon abgehalten werden, wieder in den Kessel zurückzukehren. Späterstens hier muss das Eis übergeben werden, um die Anforderungen an die Kurve zu minimieren.

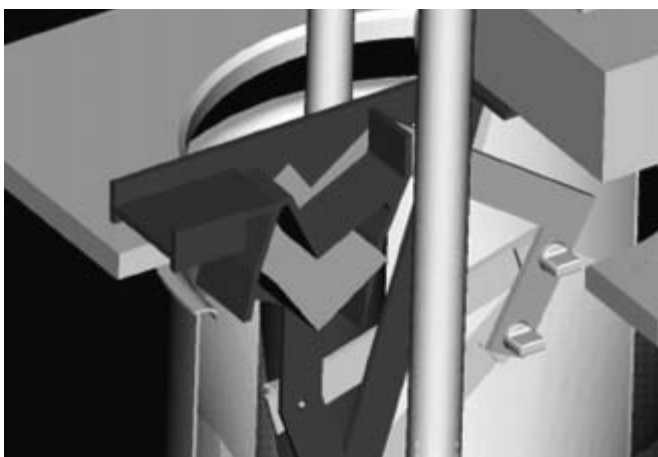


Bild 7: Schema der realisierten Übergabe Eismasse von Schaufel auf Förderstrecke

Die Schaberkraft kann genutzt werden, um das Eis gezielt durch einen Spalt als „mechanisches Rückschlagventil“ zu pressen und so durch dessen eigene Zähigkeit einen Rückfluss des Eises in den Kessel zu verhindern.

Dafür sind folgende Bedingungen nötig. Der Schaber muss eine Schwenkbewegung zwischen den beiden Totpunkten Kesselboden und Übergabeort ausführen. Dies ist durch ein einfaches Kurvengetriebe möglich. Die Übergabebewegung geschieht durch Druck, d.h. das Eis muss über den Widerstand des „Rückschlag-

ventils“ hindurchgepresst werden, wobei Leckagen vermieden werden müssen. Da es einfacher ist, eine Bauteilkontur einer Kurve anzupassen als umgekehrt, wird die Übergabe an den Kurvenverlauf des Fördergelenkes in der Form angepasst.

Da Gelenkkurven nie exakt geradlinig sind, werden eine hohe Förderdrücke nur möglich sein, wenn die Ausformung der Bauteile hinreichend genau dem Kurvenverlauf entspricht. Lagerspiele und Fertigungsungenauigkeiten erfordern mindestens eine Zentrierung und eine Spalthöhe als Spielausgleich oder eine Federlagerung. Da dies nur mit einem hohen Fertigungsaufwand realisierbar wäre, wird versucht, eine Kurve zu entwerfen, welche möglichst „geradlinig“ übergibt. Eine derartige Übergabe hat den Vorteil, dass das Eis durch den Schaber in die Führung gepresst wird und so schubweise entlang des Profils gefördert wird, um dann in den Transportbehälter zu gelangen. Somit ist keine zusätzliche Energiezufuhr an das System notwendig und es besitzt keine beweglichen Bauteile in Anwendernähe. Auch eventuell nötige „Restförderhöhen“ können noch ausgeglichen werden. Rückschlagventile mit Feder als Energiespeicher sind jedoch lebensmitteltechnisch bedenklich und erfordern einen zusätzlichen Reinigungsaufwand. Auch Klappenvorrichtungen haben infolge ihrer Spalte diese Problematik. Besser ist es, die Rückhaltefunktion über die Zähigkeit des Eises auszuführen. Unter dem Druck des Schabers kann das Eis durch eine Struktur gepresst werden, durch welche sie ohne Krafteinwirkung nach außen nicht durchdringen kann. Problematisch sind hier Fruchtstücke und Straciatellsorten, welche dünne Durchgangslöcher verstopfen können. Erhöhter Kraftbedarf bei der Übergabe wäre jedoch bei Totpunktlage weniger das Problem als die Abstützung der entstehenden Kräfte. Ein seitlich angebrachtes stehendes „Rückschlagventil“ kann mit größeren Löchern versehen werden, ohne dass nennenswerte Rückströme in den Kessel zu befürchten sind, da die Gewichtskraft nicht direkt gegen das „Rückschlagventil“ arbeitet. Das Eis wird von seiner Hochbewegung durch das Ventil in die Horizontale umgelenkt und fällt damit in eine Wanne von der es durch nachfolgende Eismassen in Richtung Abfuhrbahn verdrängt und weitergeschoben wird.

7.2 Die Konstruktion

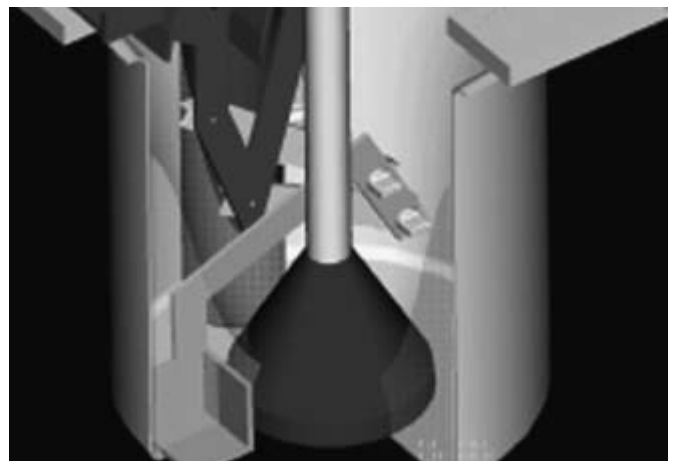
Die Konstruktion wird speziell für eine Speiseeismaschine vom Typ BOKU HS 40 bzw. BOKU MS 41 ausgelegt.

Der Kessel dreht (in Draufsicht) mit einer sehr hohen Drehzahl rechtsdrehend, der Kneiter mit einer sehr geringen Drehzahl entgegen. Durch das Abschaben des Kneters ergibt sich als Eingriffsort für den Schaber nur der Raum zwischen Kesselwelle und Kneiter. Vor der Kesselwelle kann nicht abgegriffen werden, da sonst keine gute Sicht mehr auf das Produkt möglich ist (vgl. 7.1.2).

Dadurch reduziert sich der Bauraum zum einen durch den „zurückspringenden“ Durchmesser nochmals in der Länge. In der Höhe ist er durch das Ende des Kessels begrenzt. Zum anderen ist damit



Bild 8 und 9: „Störkanten“ (ohne Blende)



CAD-Entwurf Fördergelenk im Kessel

auch die Breite des Mechanismus festgelegt. Die Kurveführung in einer Ebene scheint den Platzverhältnissen nach sinnvoll. Die Abführung ist relativ frei gestaltbar, da Platz in fast jeder Richtung vorhanden ist. Die Abstützung der Momente erfolgt über die (im Bild nicht sichtbare) Blende und das Eigengewicht der Konstruktion, vor allem des Motors. Die Konstruktion darf den Knetter die Wandung und den untenliegenden Kunststoffkegel nicht berühren. Durch das „Restvolumen“ am Boden ergibt sich die maximale Schaufelgröße. Aus der Forderung der Entleerung innerhalb von 2 Minuten ergibt sich unter Berücksichtigung des Füllungsgrades und sonstiger Verluste die Hubfrequenz der Vorrichtung. Die gewählte Kombination bewegt sich an der Grenze zu schnelllaufenden Maschinen und wird deshalb auf Massenkräfte mit dem Simulationsprogramm SAM 4.0 untersucht.

Für die Kurve wurde in einschlägiger Fachliteratur [1] keine exakte Lösung gefunden, allerdings wurde ein Gelenkgetriebe mit kleinen Abmessungen, hoher Geradlinigkeit und wenig Bauteilen entdeckt [2]. Es stammt von einem Gabelstaplermechanismus. Dieses war in den seitlichen Abmessungen zu groß und in der Geradlinigkeit noch zu ungenau, schien aber prinzipiell erfolgsversprechend.

Es besteht nur aus vier Gelenken. Zwei Gelenke als feste Lagerstelle sind jeweils mit einem Gelenk am gemeinsamen Koppelglied angelenkt. Mehrere Punkte des Koppelgliedes bewegen sich annähernd linear. Da sich die Lagerung zwischen Koppelglied und den Zielpunkten befindet, addieren sich die Baulängen der Einzelglieder für das Gesamtsystem nicht. Dadurch können ausreichend lineare Förderwege in der Genauigkeit erreicht werden, die über dem 1,5 fachen der Breite des Systems liegen aber nur im unteren Prozentbereich von der Linearität abweichen.

Die schwenkende Bewegung des Gelenkgetriebes wird durch einen Kurbeltrieb über dem Kessel realisiert, welcher über eine „Antriebs“-

Stange an einem der Gelenkstäbe über seinen Hub relativ zum Drehpunkt des Stabes eine Schwenkbewegung des Gelenkstabes auslöst. Diese erzeugt über die Kopplung den Hub für den Zielpunkt des Getriebes. Dabei wird darauf geachtet, dass der Kurbeltrieb (der Antriebsmotor) in den Totlagen der Bewegung ebenfalls in Totlage geht, um als Kniehebel wirken zu können und somit in diesem Bereich bei niedrigen Beschleunigungen möglichst lange zu verweilen. Größere Rasten gestattet ein einfaches Viergelenkgetriebe mit angelenktem Antrieb allerdings nicht.

Mit dem Programm SAM wurden die Beschleunigungswerte der Kurven reduziert, die Kräfte in den Totlagen auf ein gewünschtes Niveau gebracht und die Motorbelastung möglichst harmonisch und gleichmäßig bei niedrigen Spitzenwerten verteilt. Dazu wurden die Gelenklängen sowie die Eingriffspunkte und die Kurvenabschnitte der Bewegungskurven variiert.

Sehr genaue lineare Kurven haben schlechte Beschleunigungswerte, Kurven mit ausreichender Winkeldrehung (zwecks höherem Restfüllgrad) passen nicht in den Bauraum. Niedrige Motorbelastungen bei hohen Endlagenkräften entstehen an Orten, an denen sich bereits andere Bauteile der bisherigen Konstruktion befinden. Kurven mit sehr genauem Anfangshub haben ihre Gelenkpunkte zu tief, d.h. die Lagestellen wären unzulässig im Eis. Harmonische Motorbelastung und niedrige Beschleunigung des Schabers steht im Widerspruch zu großen Hüben. Zudem variiert über das Schaufelvolumen das System; was kleinere Schaufeln bei höherer Frequenz möglich macht, aber mit größer werdenden Trägheitskräften die Vorteile der kleinen Massen wieder nehmen kann.

Die Anzahl der dadurch möglichen Variationen ist außerordentlich groß. Jede Kurve hat Stärken und Schwächen, wobei sich durchaus die positiven und negativen Extreme in einem einzigen Kurvenverlauf finden können. Der größte Teil der Konstruktionszeit der Förder-



Bild 10 und 11: Schaufel in UT

einrichtung wurde deshalb mit dem Auffinden und der Optimierung der geeigneten Kurven verwendet.

Die schließlich gewählte Kurve weist niedrige Motorbelastung bei ausreichendem Hub und niedrigen Beschleunigungswerten auf. Sie hat eine sehr gute Winkeldrehung der Schaufel während des Hubes und eine gute Linearität am Boden bei der Aufnahme.

Bei der Übergabe zieht sie ins Kesselinnere, um an der Blende vorbeizukommen, um Platz für eine Begrenzung auf der „linken“ Seite zu schaffen, um das Eis mit Druck beaufschlagen zu können. Das Gelenk wird so ausgeführt, dass durch die Belastung der rotierenden Eismassen die Lagerstellen nicht aufgehebelt werden, sondern stets kurz abgestützt werden (vgl. Bild 9). Die Gelenke befinden sich in Ruhestellung über dem Rotationsparaboloid, um nicht unnötig in das Eis einzutauchen. Das Koppelgelenk wird mit der Schaufel als ein Bauteil ausgeführt. Sämtliche Teile des Gelenks (ohne Bolzen) können aus Flachstahl mit Hilfe einer Säge, einer Feile und einer Ständerbohrmaschine und den erforderlichen Messmitteln ohne großen Fertigungsaufwand gefertigt werden. Die kleinen Bolzen der Drehverbindung lassen sich auf einer konventionellen Drehmaschine aus gängigem Stangenmaterial fertigen. Die Passungen der Bohrungen werden mit Standardwerkzeug gerieben, die Passungen des Bolzen werden auf der Drehbank hinreichend genau. Die Montage, eine reine Verschraubung, geschieht ohne Werkzeug, da der „Griff“ an den Bolzen zur Klemmung ausreicht. Das Gerät kann vormontiert werden und dann in der Maschine zusammengesetzt werden, indem die Schraubverbindungen mit der Hand bis auf Anschlag des Bolzens angezogen werden. Dazwischen befinden sich Gleitlager, welche für einen direkten Kontakt mit Arzneimitteln zugelassen sind. Sie werden per Hand in die Bohrungen eingepresst. Ihre Lebensdauer ist infolge der gewählten Belastungen ausreichend. Alle Teile sind einfach und schnell zu reinigen.



Antrieb des Gelenks (Ersatzmotor)

Ein funktionsfähiger Prototyp mit Ersatzmotor als Provisorium wurde im Rahmen der Aufgabenstellung eigenständig angefertigt und auf Funktion und Schwingungen überprüft.

Die Ausführung des „mechanischen Rückschlagventils“ wurde ebenfalls als Schweißkonstruktion ausgeführt. Aus Gründen der Ästhetik wurden die Schweißnähte in Anwendersicht reduziert und die Transportrinne sowie die Umfüllkammer sowohl durch Warmumformung wie auch Schweißen hergestellt.



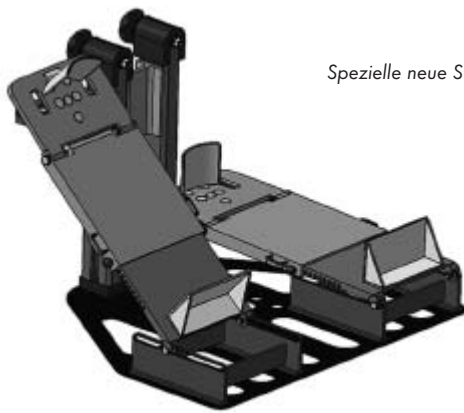
Bild 12: Komponenten des Gelenkmechanismus mit Antrieb ohne Übergabestation

Quellenverweise:

- [1] Atlas für Getriebekonstruktion, Kurt Hain, Vieweg-Verlag
- [2] Getriebetechnik Leitfragen, Autorenkollektiv, VEB-Verlag Technik

STEHVORRICHTUNG FÜR PATIENTEN MIT SPITZFUß

Bei diesem Projekt handelt es sich um eine Studienarbeit im Fach „Auslegung und Gestaltung“, des Fachbereichs Maschinenbau, an der Fachhochschule Regensburg in Zusammenarbeit mit Herrn Klaus Bertelt – leitender Physiotherapeut der Fachklinik für Neurologische Rehabilitation am Bezirksklinikum Regensburg.



Spezielle neue Stehvorrichtung

1 EINLEITUNG

Das Thema dieser Studienarbeit liegt im medizinischen Bereich. Sie wurde angeregt und medizinisch begleitet von Herrn Klaus Bertelt – leitender Physiotherapeut der Fachklinik für Neurologische Rehabilitation am Bezirksklinikum Regensburg.

Es handelt sich um eine Verbesserungsmöglichkeit gegenüber dem momentanen Stehhilfverfahren (Bild 1) bei der Behandlung von Schlaganfall-Patienten durch eine spezielle, neu zu konstruierende Apparatur.



Bild 1: Vorhandene Stehvorrichtung



Bild 2: Spitzfuß

Betroffen sind Patienten, die durch einen überhöhten Muskeltonus (Spannungszustand) einen Spitzfuß (Bild 2) entwickelt haben mit verkürzten Muskeln und Sehnen und evtl. eingeschränkter Gelenkbeweglichkeit. Die Patienten befinden sich zum Teil in einem Zustand mit reduzierter Wachheit (Wach-Koma).

Die Problematik besteht darin, dass die Patienten ohne Vorrichtung auf die Zehen gestellt werden müssten, was sehr schmerzhaft ist und vermieden werden soll. Ziel ist, die Patienten auf eine verstellbare keilförmige Einheit zu stellen, so dass die Muskulatur nach und nach durch das Absenken der Ferse entspannt und wieder gedehnt wird. Die ergonomisch und anatomisch richtige Stellung der Füße und Beine soll wiederhergestellt werden.

2 ANFORDERUNGEN

In Absprache mit Herrn Bertelt wurden folgende Anforderungen an die geplante Stehhilfe formuliert:

- ausschließlich mechanische Funktionen
- anpassbar an unterschiedliche Fußgeometrien
- Schuhgrößenbereich zwischen 36 und 45
- unter Last verstellbar sein
- Befestigungsmöglichkeit des Fußes an der Ferse und im Bereich des Vorfußes
- Belastbarkeit bis ca. 150 kg
- einfache Bedienbarkeit
- Geometrie soll leichte Desinfizierbarkeit ermöglichen
- bei der Werkstoffauswahl sind medizinische Aspekte zu beachten
- in vorhandene Stehvorrichtung integrierbar und auch freistehend verwendbar

3 KONSTRUKTIONSENTWURF

Bei den Recherchen im Internet und in der Literatur stellte sich heraus, dass auf dem Markt keine hinreichend geeignete Vorrichtung für diesen Anwendungsfall vorhanden ist.

Zuerst wurden die geforderten Eigenschaften der Vorrichtung in einzelne Teilfunktionen aufgegliedert und jeweils nach verschiedenen Lösungsansätzen gesucht (Morphologischer Kasten).

Im nächsten Schritt wurden diese nach Vor- und Nachteilen bewertet und die optimalen Lösungsvorschläge für die verschiedenen Anforderungspunkte – Höhenverstellung, Winkelverstellung, Größenanpassung, Zehenteil und Befestigungsmöglichkeiten zusammengestellt.

Höhenverstellung

Das erste zu lösende Problem, die Höhenverstellung, ist an die Forderung von einer maximalen Höhe von 70 mm in der untersten Stellung geknüpft. Damit sollte die Integrierbarkeit in die vorhan-

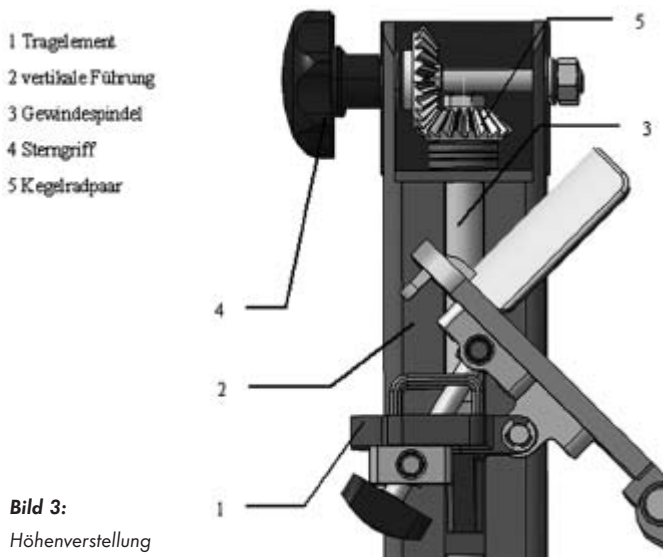


Bild 3:
Höhenverstellung

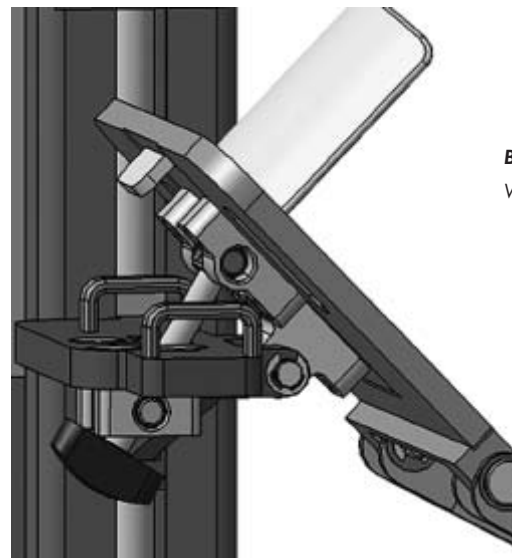


Bild 4:
Winkelverstellung

dene Stehvorrichtung sichergestellt werden. Diese Bedingung stellte sich im Laufe der Entwicklung als eine der am schwierigsten zu erfüllenden Forderungen heraus.

Der Lösungsansatz nach dem Prinzip des Scherenwagenhebers scheiterte trotz zahlreicher Optimierungsversuche. Die Geometrie ist zu groß und lässt sich nicht direkt unter der Ferse platzieren.

Die Entscheidung fiel auf eine Mechanik (Bild 3), welche aus einer Gewindespindel, angetrieben mit Kegelrädern und einem Tragelement besteht. Diese Funktionsart basiert auf einem Pkw-Standardwagenheber mit einem Fuß und einem Tragelement. Im Vergleich zu dem Scherenwagenheber besitzt dieses Konzept weniger Bauteile und dadurch geringeres Gewicht. Die Hebemechanik ist zwischen den Beinen angebracht.

Mit dem Sterngriff wird das Kegelradpaar angetrieben, welches die Spindel rotieren lässt. Auf der Spindel bewegt sich dadurch linear das Tragelement in der Führung. Die Höhenverstellung des Tragelementes beträgt maximal 200 mm.

Winkelverstellung

Die Winkelverstellung (Bild 4) ermöglicht die Anpassung an verschiedene Fußgeometrien. Die Schwierigkeit hierin ist die Verstellbarkeit unter Last und wie bei der Höhenverstellung muss die maximale Höhe von 70 mm in der untersten Stellung eingehalten werden. Aufgrund der eingeschränkten Baugröße fiel die Entscheidung auf die kompakte, mechanisch verstellbare Einheit.

Durch drehen des Flügelgriffes verstellt sich der Winkel zwischen Tragelement und Fersenteil. Dieser Winkel hat einen einstellbaren Bereich von 0° bis 45°.

Mittelteil (Größenverstellung)

Um die Vorrichtung an die verschiedenen Schuhgrößen der Patienten anzupassen, ist eine Verstellmöglichkeit (Bild 5) in der Länge erforderlich. Dazu besteht das Mittelteil aus zwei Elementen, die ineinander auf die gewünschte Länge geschoben und mit den Kugelknopf-Bolzen an den dann korrespondierenden Bohrungen fixiert werden können.

Das untere Ende gleitet ohne zusätzliche Fixierung in einer horizontalen Führung (Bild 6). Durch die Höhenverstellung wird der Winkel des Mittelteils mit beeinflusst.

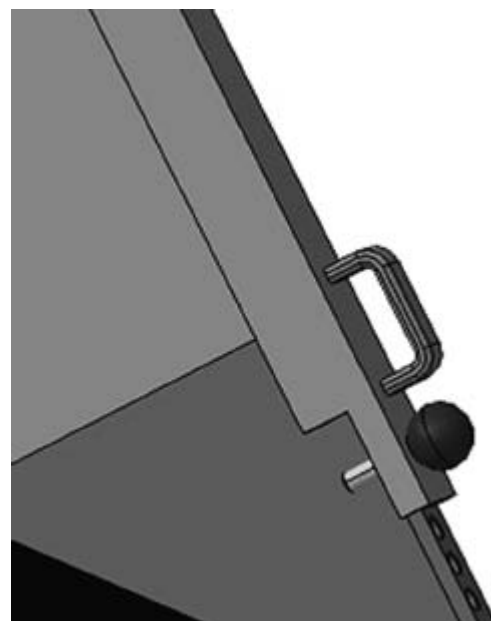


Bild 5:
Größenverstellung

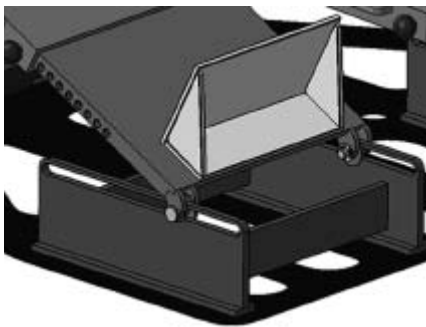


Bild 6: Horizontale Führung

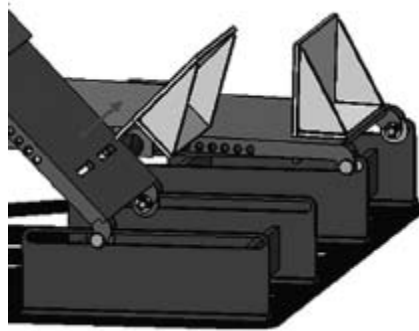


Bild 7: Zehenteil



Bild 8: Ösen

Zehenteil

Dieses Bauteil soll einen zusätzlichen Halt an den Zehen bieten, da es aber nicht ständig zum Einsatz kommt, wäre eine einfache Demontage sehr hilfreich. Seine Form dürfte noch einer Optimierung bedürfen.

Das Zehenteil (Bild 7) kann in die zwei Aussparungen der Fußplatte 2 des Mittelteils (Größenverstellung) gesteckt werden und benötigt keine weitere Fixierung, da es nur in einer Richtung belastet wird.

Befestigungsmöglichkeiten

Um dem Patienten mehr Sicherheit und Stabilität zu bieten, sind an der Vorrichtung 4 Ösen (Bild 8) vorhanden, an welchen Riemen angebracht werden können. Die Sicherung erfolgt durch doppelte Umlenkung und einen Klettverschluss. Außerdem bietet ein abnehmbares Fersenenteil (Bild 9) einen zusätzlichen Halt. Somit wird der Fuß stabil in der Stehvorrichtung gehalten (Bild 10).

Bild 9: Fersenhalterung

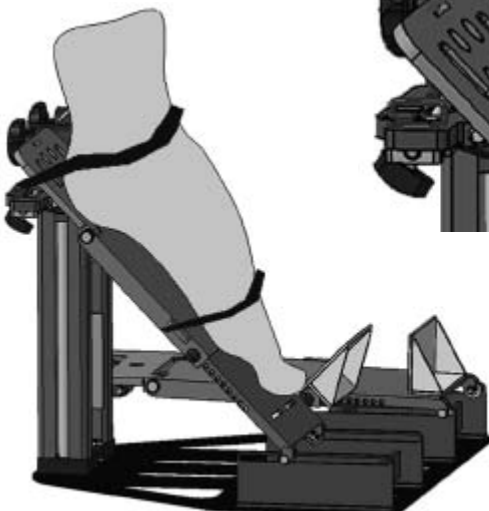


Bild 10:
Fuß in der
Vorrichtung

4 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ergebnis ist eine rein mechanisch bedienbare Vorrichtung, die sich mit wenigen Handgriffen auf die verschiedenen Fußgeometrien anpassen lässt.

Die Höhenverstellung und Winkelverstellung sind unter Last (max. Körpergewicht von 150 kg) einstellbar, im Gegensatz zur Fußgrößenanpassung, die je nach Schuhgröße des Patienten (Schuhgrößenbereich liegt zwischen 36 und 45) vor dem Gebrauch eingestellt werden muss.

Die Riemen dienen der zusätzlichen Sicherheit und können mit der abnehmbaren Fersenhalterung und dem Zehenteil unterstützt werden. An der Ferse und an den Zehen besteht die Möglichkeit, eine optimale Anpassung mit Schaumstoff oder ähnlichem Material zu schaffen.

Die Vorrichtung ist in die vorhandene Stehhilfe integrierbar, aber auch auf ebenen Boden frei aufstellbar, um sie beispielsweise ohne Stehhilfe neben dem Bett eines Patienten aufzustellen.

Damit ein wartungsfreier Umgang möglich ist, wurden vorwiegend wartungsfreie Bauteile wie z. B. Gleitlager, Kunststoffgleitführung verwendet.

Des Weiteren ist für eine einfache Reinigung und Desinfektion vorgesehen, dass alle sichtbaren Oberflächen mit medizinisch einwandfreien Materialien beschichtet werden.

Diese Entwicklung erfüllt die Zielvorgaben einer Stehvorrichtung, mit der Physiotherapeuten eine verbesserte Behandlung der Patienten mit verspannter und verkürzter Bein- bzw. Fußmuskulatur wesentlich erleichtert werden kann.

Es ist vorgesehen, in einem nächsten Entwicklungsschritt ein für die Erprobung geeignetes Muster zu gestalten, welches die wesentlichen Merkmale der vorliegenden Konstruktion enthält, aber für die kürzerfristige Herstellung einfacher und damit auch kostengünstiger wird.

TRENNUNG VON LÖSUNGEN MIT MEMBRANVERFAHREN

1 MEMBRANVERFAHREN - GRUNDLAGEN

Membranverfahren dienen der Stofftrennung von Lösungen und Dispersionen. Kernstück des Prozesses sind Membranen, die eine selektive Abtrennung eines Stoffes ermöglichen. Die Membran wird entweder von dem zu trennenden Fluid überströmt, wobei der abzutrennende Stoff quer zur Hauptströmungsrichtung durch die Membran strömt (Querstrom-Verfahren, oder cross flow) oder durchströmt (Durchström-Verfahren oder dead end flow), Abb. 1.

Beim Durchström-Verfahren muss die angelagerte Teilchenschicht nach Erreichen eines Grenzwertes für den Differenzdruck entfernt werden.

Im Folgenden wird - wenn nicht anders erwähnt - die Querstrom-Methode betrachtet.

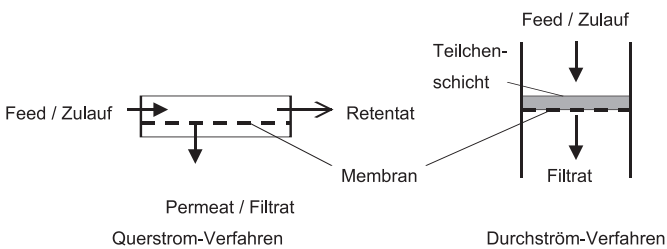


Abb. 1: Querstrom und Durchström-Verfahren

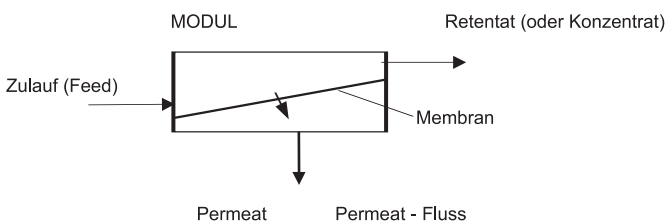


Abb. 2: Grundprinzip des Membranverfahrens, das Modul

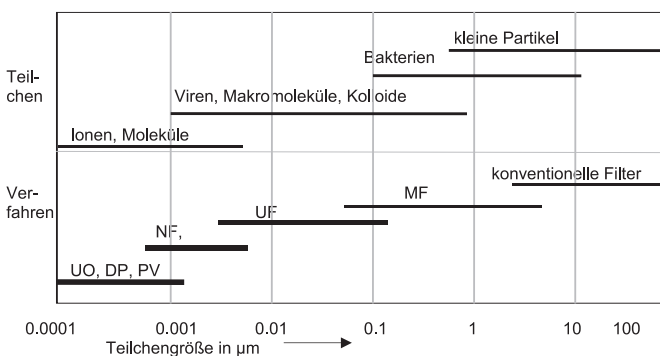


Abb. 3: Trennverfahren in Abhängigkeit der Größe der abzutrennenden Teilchen

Die Eigenschaften der Membran sind von elementarer Bedeutung für die Durchführbarkeit der Stofftrennung, die Trennschärfe und den spezifischen, durch die Membran hindurchgehenden (permeierenden) Fluss F.

Die Membran wird in einem Druckbehälter eingebaut, der Anschlüsse für den Zulauf und die beiden Produkte der Trennung aufweist. Die für den Behälter verwendete Bezeichnung Modul deutet darauf hin, dass Anlagen in Modulbauweise ausgeführt werden. Bei großen Volumenströmen wird das Modul nicht beliebig vergrößert, sondern es werden viele Module parallel geschaltet, was ein wesentlicher baulicher Unterschied zu klassischen thermischen Trennverfahren ist. Wenn die gewünschte Trennschärfe nicht in einem Schritt erzielbar ist, werden Module in Serie geschaltet.

Membranverfahren können entweder konkurrierend zu klassischen Trennverfahren sein oder neue Produktionsmethoden ermöglichen. Hierzu werden unten einige Beispiele erläutert.

Die Abb. 2 zeigt das Grundprinzip und die Definitionen einer Stofftrennung mit Membranverfahren.

Zur Erklärung der zu unterscheidenden Trennmechanismen ist es hilfreich, die Größe der abzutrennenden Teilchen in Klassen einzuteilen, Abb. 3. Aus der Größe der Teilchen und deren physikalisch-chemischen Eigenschaften ergeben sich unterschiedliche Trennverfahren. Abkürzungen der Verfahren (in Klammern englische Bezeichnung, sofern abweichend):

- UO Umkehrosiose (Reverse Osmosis, RO)
- DP Dampfpermeation (Vapour Permeation, VP)
- PV Pervaporation
- NF Nano-Filtration
- UF Ultra-Filtration
- MF Mikro-Filtration

Die ersten drei Verfahren UO, DP und PV sind Molekular-Trennverfahren, sie werden ausschließlich im Querstrom-Prinzip durchgeführt. Die Nanofiltration und Ultrafiltration liegen im Grenzbereich zwischen der Abtrennung von Makromolekülen und Nanopartikeln. Die Mikrofiltration dient der Abtrennung kleiner Partikel aus Fluiden. Bei den drei letztgenannten Verfahren wird auch das Durchström-Prinzip angewandt.

Die Größe kleiner Moleküle beträgt etwa 0.5 bis 1 Ångström (Å) bzw. 0.05 bis 0.1 nm; 1 Å = 10⁻¹⁰ m = 0,1 nm (Nanometer).

Die Molekülgröße lässt sich in eine überschlägige Beziehung zum Molgewicht bringen. Organische Substanzen mit einem Molgewicht von 200 g/mol haben eine Molekülgröße von ca. 10 Å, d.h. von 1 Nanometer (nm). Organische Moleküle können sehr große Molgewichte erreichen, z.B. bis ca. 60 000 g/mol. Das Molgewicht g/mol wird in wissenschaftlicher Literatur meist mit Dalton (Da) bezeichnet.

Bei der Umkehrosmose werden organische Moleküle ab ca. 150 Da völlig zurückgehalten, bei der Nanofiltration etwa ab 200 Da. Die Durchlässigkeit von Membranen für die Nano-, Ultra- und Mikro-Filtration kann durch Wahl des Materials und Herstellungsprozesses beeinflusst werden. Membranen können durch die „Nominelle Molekulargewichts - Trenngrenze“, NMGT charakterisiert werden /Stich 04/.

Die Zeiträume, seit denen sich die Membranverfahren im praktischen Einsatz befinden, sind unterschiedlich. Während die Umkehrosmose schon seit ca. 3 bis 4 Jahrzehnten im großtechnischen Einsatz ist, werden die Verfahren der Dampfpermeation, Pervaporation und Nanofiltration erst seit ca. 10 bis 20 Jahren angewandt, die organo-selektive Trennung steht erst am Anfang. Der Einsatz von Membranverfahren in der westlichen Welt steigt derzeit um 5 bis 15 % pro Jahr. Beispiele für den Einsatz von Membranverfahren:

- Erzeugung von Trinkwasser aus Meerwasser durch Umkehrosmose für die Versorgung von Städten, Passagierschiffen und Yachten. Alternativ zur Gewinnung durch Teilverdampfung
- Erzeugung von Reinstickstoff aus Luft durch Dampfpermeation anstelle von Tieftemperatur-Destillation
- Erzeugung von Reinalkohol nach vorhergehender Destillation durch Pervaporation anstelle von Druckstufen-Destillation oder Extraktiv-Destillation
- Erzeugung von keimfreiem Trinkwasser aus Oberflächenwasser durch Nanofiltration anstelle von Entkeimung durch Chlor
- Reinigung von Abwasser in kommunalen oder industriellen Kläranlagen durch Mikrofiltration mit eingetauchten Rohrmodul Paketen

In den angeführten Beispielen werden durch den Einsatz von Membranverfahren einer oder mehrere Vorteile erzielt:

- Energieeinsparung
- Geringere Betriebskosten
- Vor-Ort Erzeugung von Verbrauchs- oder Betriebsstoffen
- Einfachere Verfahren
- Geringere Anlagengröße
- Umweltfreundliche, hygienische Verfahren und Produkte

Einschränkungen, Begrenzungen oder Nachteile können sein:

- Bei sehr großen Produktionsraten kann das klassische Verfahren wirtschaftlicher sein, wie z.B. bei der Meerwasserentsalzung die thermische Trennung gegenüber der Umkehrosmose
- Bei hoher oder höchster Anforderung an die Produktreinheit, z. B. an die Reinheit von Stickstoff bis 99,999999 % ist nur durch die Tieftemperatur-Destillation erzielbar
- Die Lebensdauer von Membranen ist begrenzt und stark abhängig von der Prozessführung und Wartung der Anlage

- Defekte an Membranen im Betrieb sind schlecht festzustellen, da sie meist eine schleichende Verschlechterung der Trennwirkung bewirken. Im Zweifelsfall müssen Integritätstests durchgeführt werden, Cote / Adams in /AMK 05/
- Manche Trennprozesse werden erst durch zukünftig zu entwickelnde Membranen möglich oder wirtschaftlich sein

Es kann sich als vorteilhaft erweisen, einen klassischen, thermischen Prozess mit einem Membran-Trennprozess als Hybrid-Prozess zu kombinieren, Kap. 4, Abb. 12.

2 MEMBRANEN

Membranen werden aus organischen oder anorganischen Materialien hergestellt. Die organischen werden durch Polymerisation von Kohlenwasserstoffen erzeugt.

Anorganische Membranen werden in erster Linie aus Keramik erstellt. Im Augenblick erscheinen Keramik Membranen als attraktive Alternative, weil sie robuster und vor allen Dingen temperaturbeständiger sind. Allerdings sind sie etwa um den Faktor 10 teurer als organische. Am häufigsten werden sie für die drei Filtrationsverfahren NF, UF, MF eingesetzt, wogegen die Molekular-Trennverfahren UO, PV und DP derzeit fast ausschließlich mit organischen Membranen betrieben werden.

Bezüglich des Mechanismus der Stofftrennung besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen den Molekular-Trennverfahren und der Filtration, wobei bei der Nano-Filtration der Übergang fließend ist. Die beiden Trennmechanismen können wie folgt beschrieben werden.

Porendurchgang:

Von den im Zulauf enthaltenen Teilchen können kleine Teilchen mit einem Teil des Fluids durch die Poren der Membran strömen, größere werden zurückgehalten, d.h. sie verbleiben im Hauptstrom, der durch die Trennwirkung vom Zulauf in das Retentat übergeht. Beim Durchströmen des Permeats oder Filtrats durch die Membran ergibt sich ein Druckabfall, die transmembrane Druckdifferenz. Der Massenstrom durch die Membran pro Flächeneinheit, der Fluss F , hängt von der transmembranen Druckdifferenz Δp , der Porengröße, ausgedrückt durch den Porenradius r , der Porosität ϵ , der Membrandicke s , und der dynamischen Viskosität des Fluids η nach dem Hagen-Poiseuille Gesetz wie folgt ab:

$$\text{Fluss} \quad F = \frac{\dot{m}_p}{A} = \frac{\Delta p \cdot r^2 \cdot \epsilon}{8 \cdot s \cdot \eta} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \quad (1)$$

Die treibende Kraft für die Trennung ist die transmembranen Druckdifferenz.

Lösungs-Diffusions-Modell (LDM):

Hierbei liegen in der Membran keine Poren vor. Wenn hier die Betrachtung auf die organischen Membranen beschränkt wird, besteht die Trennschicht aus vernetzten Polymeren, die eine gewisse molekulare Bewegung durchführen /Bak 04/. Der Permeat-Fluss kommt zustande, indem Moleküle an der Grenzfläche durch Stoffübergang in die Membran eindringen und durch die Membran diffundieren. Das ist physikalisch ein völlig anderer Mechanismus als der Porendurchgang. Der Stoffübergang der Moleküle vom Fluid in die Membran wird als „in Lösung gehen“ betrachtet mit der Vorstellung, dass sich die Polymer-Membran wie ein Gel verhält. Deshalb sind folgende zwei Punkte von Bedeutung:

- das Vermögen, dass sich Moleküle stoffselektiv und nicht größenabhängig in die Substanz der aktiven Membran-Trennschicht lösen können
- das Diffusionsverhalten dieser Moleküle durch die Trennschicht

Beide Vorgänge stellen einen Stofftransport-Widerstand dar, beide sind vom chemisch-physikalischen Verhalten zwischen den selektiv abzutrennenden Molekülen und der Polymer-Substanz abhängig.

Chemisch-physikalische Eigenschaften

Wichtige Unterscheidungen bezüglich des Trennverhaltens von Polymer-Membranen stellen folgende Eigenschaften dar:

- hydrophil oder hydrophob
- organophil oder organophob
- Polarität
- Organo-Selektivität

Hydrophiles Verhalten z.B. bedeutet, dass eine Membran bevorzugt Wasser durchlässt. Die Organo-Selektivität erlaubt die Trennung von unterschiedlichen organischen Substanzen.

Die treibende Kraft für den Stofftransport durch die Membran ist die Differenz des chemischen Potentials μ , das aus Konzentration c , Druck p und Temperatur T gebildet wird.

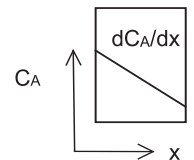
$$\Delta\mu = fkt(\Delta c, \Delta p, \Delta T)$$

So können z.B. Moleküle die Membran trotz kleinerer Konzentration im Zulauf auf die Permeat-Seite permeieren, wenn der Druck auf der Zulaufseite entsprechend höher ist. Für die Bestimmung des Flusses müssen Versuche durchgeführt oder semiempirische Modelle angewandt werden.

Asymmetrie der Membranen

Membranen, besonders die für die molekulare Trennung, haben eine sehr dichte Struktur. Der Transport des Permeats, z.B. Stoff A, durch eine Membran infolge eines Konzentrations-Gradienten pro Flächeneinheit \dot{m}_A/A kann mit dem Fick'schen Gesetz der Diffusion, beschrieben werden:

$$\frac{\dot{m}_A}{A} = -D \cdot \frac{dC_A}{dx} \approx -D \cdot \frac{\Delta C_A}{\Delta x} \text{ kg/sm}^2 \quad (2)$$



D = Diffusionskoeffizient, m^2/s

C_A = Konzentration des Stoffes A, kg/m^3

ΔC_A Konzentrationsdifferenz über die Membrandicke Δx

Der Permeat-Fluss ist also umso größer, je größer die Konzentrations-Differenz ΔC_A sowie der Diffusionskoeffizient D und je geringer die Dicke der Membran ist. Der Diffusionskoeffizient ist wegen der Dichte der Membran sehr gering, deshalb ist von besonderer Bedeutung, dass die Dicke der Trennschicht Δx sehr klein ist. Um einer sehr dünnen aktiven Trennschicht Festigkeit zu geben, werden Membranen asymmetrisch hergestellt, d.h. auf eine poröse Stützschiicht von z.B. 50 – 100 μm wird die aktive Trennschicht von einer Dicke von ca. 1 μm aufgebracht.

Dies geschieht auf zwei Arten:

Phaseninversions-Membran

(auch *integral-asymmetrische Membran*):

Die Membran wird aus einem einheitlichen Polymer hergestellt. Durch gesteuerte Verfestigungs-Vorgänge erstarrt das in einem Lösemittel gelöste, und auf eine Fläche aufgebraachte Polymer durch Verdampfung des Lösemittels an der freien Oberfläche. Außen bildet sich schnell einer sehr dünne und dicht vernetzte Polymerschicht, während die darunter liegende dickere Schicht langsamer und porös erstarrt.

Komposit-Membran:

Auf eine Stützschiicht wird eine andere Substanz als gelöstes Polymer in sehr dünner Schicht aufgetragen und durch partielle Vernetzung verbunden. Dies kann durch Besprühen der freien Oberfläche mit gezielter Trocknung erreicht werden. Als Stützschiicht werden z. T. auch anorganische Stoffe verwendet.

Modulformen

Für die unten beschriebene Pervaporation sind einige Modulformen vorteilhaft.

Bei der Auswahl von Modul-Bauformen sind von Bedeutung:

- Eine große Packungsdichte m^2/m^3 , da die erforderliche Membranfläche bei industriellen Anlagen hoch ist
- Die Überströmlänge soll nicht zu lange sein, wegen der Abkühlung des Retentats
- Kostengünstige Herstellung
- Geringer Druckverlust

Bezüglich der geometrischen Gestalt der Membranen kann unterschieden werden:

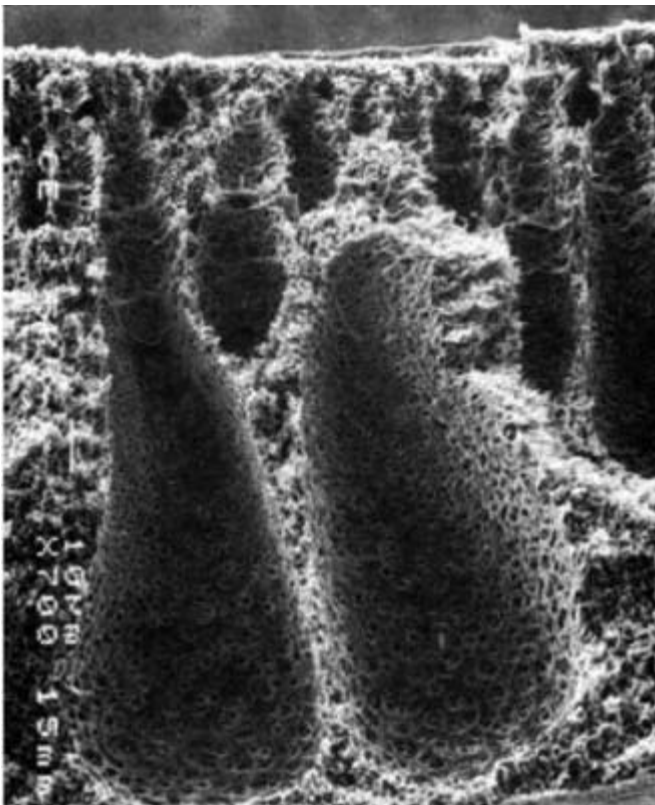


Abb. 4: REM Aufnahme der Schnittfläche einer Phaseninversions-Membran. Ganz oben befindet sich die dünne aktive Trennschicht, darunter die dicke poröse Stützschicht

- Flachmembranen für Platten- und Wickelmodule, für organische Membranen bei der PV bevorzugte Form
- Rohrmembranen, häufig bei der Nano- und Ultra-Filtration, etwa 5 - 20 mm Durchmesser, oft aus Keramik, hiermit werden auch Rohrbündel-Module gebildet
- Kapillarmembranen, organische Membranen, ca. 100 µm Durchmesser, bis dato nicht für PV verwendet

Aufgrund eines moderaten Betriebsdruckes von ca. 3 - 5 bar, sind Plattenmodule in verschraubter Ausführung ähnlich wie bei Platten-Wärmetauschern vorteilhaft aufgrund ihrer großen Packungsdichte. Ein Plattenmodul ist in Abb. 8 dargestellt.

Zulauf und Retentat werden über Rohranschlüsse zu und abgeführt, während das Permeat in offenen Zwischenräumen in eine Vakuumkammer entweichen kann.

Das in Abb. 6 dargestellte Spiralwickelmodul wird nach /Bak 04/ für organophile Pervaporation eingesetzt.

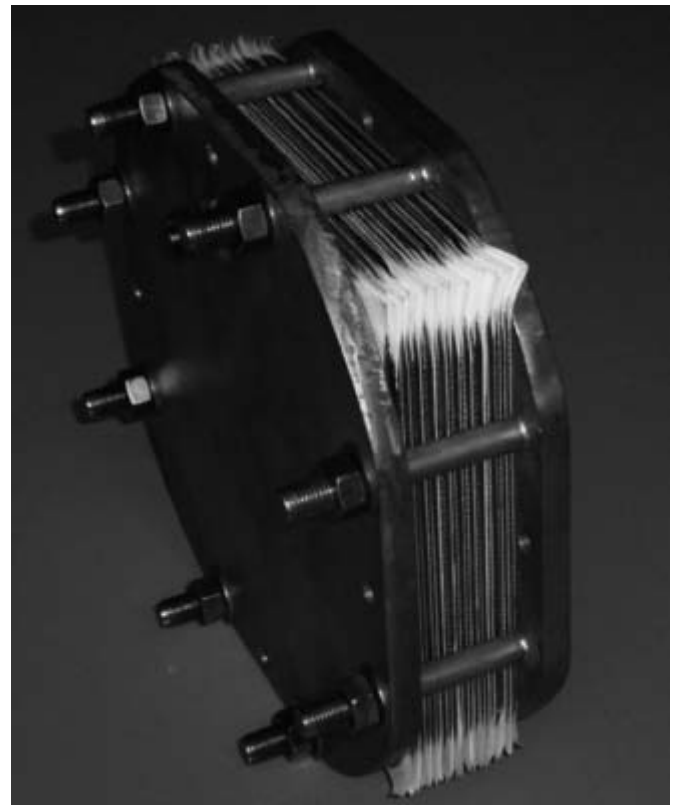


Abb. 5: Plattenmodul für die Pervaporation, Gerät von GFT /Alb 04/

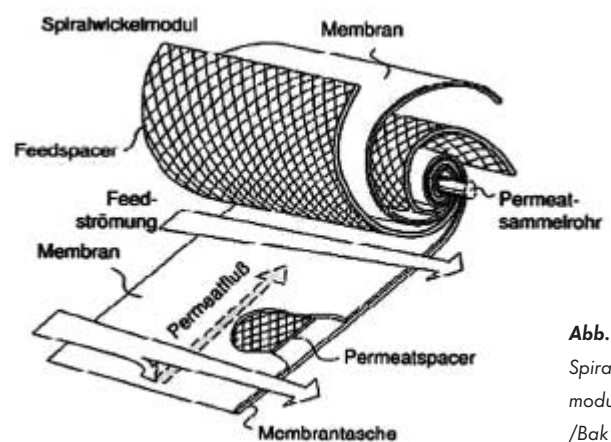


Abb. 6: Spiralwickelmodul nach /Bak 04/

Bei Rohrmodulen werden meist Keramikrohre verwendet, die innen die aktive Trennschicht besitzen. Bei einer Filtration sollte das Feed auf der Seite der aktiven Trennschicht geführt werden, weil andernfalls die poröse Schicht durch Partikel verblockt werden könnte. Die Bauweise eines Moduls mit Rohrbündel ist in Abb. 7 zu sehen. Darin sind die Rohre Mantelseitig beheizt.

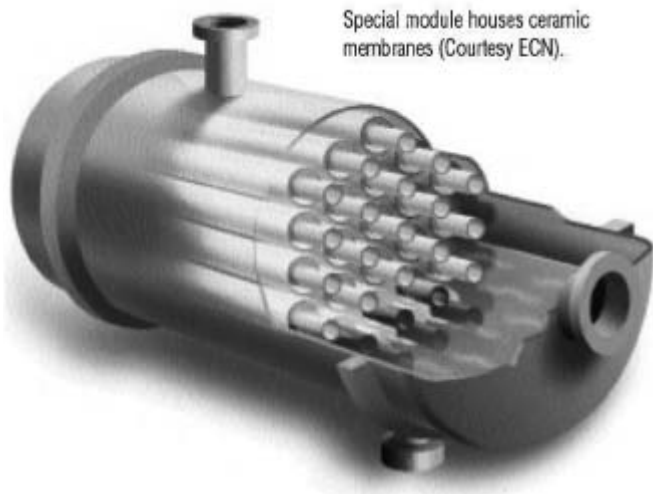


Abb. 7: Aufbau eines Rohrmoduls von Sulzer Chemtech mit Doppelrohren für Wärmezufuhr, nach Brüscke in /Nun 01/

Rohrmodule sind für höhere Drücke geeignet. Bei Einsatz für die Pervaporation kann mit Doppelrohren mantelseitig durch ein Heizmedium die erforderliche Wärme zugeführt werden.

3 PERVAPORATION

Die Pervaporation ist ein Membranprozess, der folgende Merkmale aufweist:

Eine Lösung wird in flüssigem Zustand bei Drücken von 2 bis 5 bar und Temperaturen von 60 bis 100 °C dem Modul zugeführt. Die Trennung wird umso besser, je höher die Feed-Temperatur ist, deshalb geht man hier bis an die Grenze, die organische Membranen im Dauerbetrieb erlauben. Die abzutrennende Substanz soll möglichst rein durch die Membran permeieren. Bei der Diffusion durch die Trennschicht verdampft das Permeat. Das für den Stofftransport erforderliche Potential wird erzeugt, indem die Dämpfe auf der Permeat-Seite bei tiefer Temperatur kondensiert werden, damit der Partialdruck der permeierenden Komponente auf der Permeat-Seite niedriger ist als Siede-Partialdruck auf der Feedseite. Nicht kondensierbare Gase werden mit einer Vakuumpumpe abgesaugt. Das sich einstellende Vakuum entspricht dem Kondensationsdruck. Wenn beispielsweise das Permeat aus Wasser besteht, ergibt eine durch Kühlung erzielbare Kondensations-Temperatur von 10 °C einen absoluten Druck auf der Permeat-Seite von 12 mbar.

Die zur Verdampfung des Permeats benötigte Wärme wird dem Retentatstrom entzogen, dieser kühlt sich deshalb ab. Die Pervaporation ist das einzige Membranverfahren, bei dem eine Phasenänderung erfolgt. Die folgende Abbildung zeigt das Verfahrensfließbild.

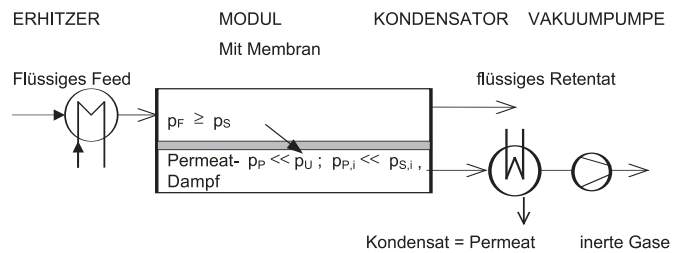


Abb. 8: Verfahrensfließbild einer Pervaporation

Für den Stoffübergang bei der Molekular-Trennung ist noch von Bedeutung, dass die Konzentration des abzutrennenden Stoffes im Retentat nicht nur entlang der Strömungsrichtung abnimmt, sondern dass sich eine Konzentrations-Grenzschicht bildet, die bewirkt, dass die treibende Konzentration zur Membranoberfläche hin abnimmt. Dieser für den Stofftransport nachteilige Effekt wird als Konzentrations-Polarisation bezeichnet. Er kann durch eine größere Geschwindigkeit und Turbulenz fördernde Einbauten verringert werden.

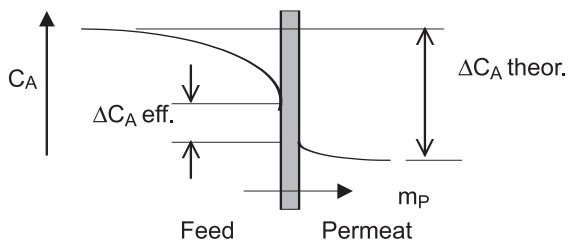


Abb. 9: Konzentrations-Polarisation

Die Anforderungen an den PV Prozess sind eine hohe Selektivität und ein hohes Rückhaltevermögen. Das bedeutet, dass möglichst nur die abzutrennende Komponente permeiert, sodass im Permeat diese in hoher Konzentration vorliegt.

Außerdem soll der Fluss hoch sein, weil dieser die für den Trennprozess erforderliche Fläche bestimmt. Praktische Erfahrungen zeigen, dass diese beide Forderungen in gewissem Maße konträr sind.

Die Selektivität aus Feed- und Permeat-Massen-Konzentrationen, z.B. Abtrennung von Wasser aus einer Ethanol-Wasser-Mischung, ist wie folgt definiert:

$$S_{w_a,E} = \frac{w_{i,p} / w_{j,p}}{w_{i,z} / w_{j,z}} \quad \text{z.B.} = \frac{0,90/0,10}{0,15/0,85} = 51 \quad (3)$$

- darin: i: permeierende Komponente, z.B. Wasser
- j: die zurückgehaltene Komponente, z.B. Ethanol
- z: Zulauf; p: Permeat

Laboranlage

Im Rahmen von internen Diplomarbeiten wurde eine Laboranlage für die Pervaporation gebaut, mit dem Ziel, durch Versuche im Praktikum Verfahrenstechnik dieses moderne Verfahren zu demonstrieren /Siegl 00/, /Hell 02/. Mit dieser Laboranlage wurde die Trennung von Ethanol-Wasser Lösungen durchgeführt. Die Membranen wurde uns von den Firmen, cm-celfa und Sulzer-Chemtech, beide Schweiz, zur Verfügung gestellt. (Sulzer hat die deutsche Firma GFT erworben, die in Europa führend war auf dem Gebiet der Pervaporation).



Abb. 10: Foto Laboranlage

4 PROJEKTSTUDIE ANWENDUNG DER PERVAPORATION

Suche nach Anwendungs-Möglichkeiten

Die Beschäftigung mit dem Verfahren zeigte, dass erfolgreiche Anwendungen im Raffineriewesen denkbar sind. Literatur-Recherchen ergaben, dass dieses Thema bereits intensiv erforscht wurde bzw. worden war /Bak 04/. Insbesondere die amerikanischen Ölgesellschaften, ESSO und Texaco hatten in den 70-er und 80-er Jahren des vorigen Jahrhunderts Anwendungsmöglichkeiten der Pervaporation und Dampfpermeation für die Mineralölindustrie intensiv erforscht und zahlreiche Patente angemeldet. Weil zu dieser Zeit mögliche Anwendungen noch nicht als wirtschaftliche Lösungen erkennbar waren, verloren diese Verfahren an Aufmerksamkeit. Seit einigen Jahren ist jedoch wieder ein starkes Interesse entstanden. Als Beispiele für die derzeit erfolgreiche, großtechnische Anwendung der beiden Molekular-Trennverfahren PV und DP können zwei Prozesse genannt werden:

- Trennung von Ethanol-Wassergemischen mit der Pervaporation für die Gewinnung von reinem Ethanol für Treibstoff oder als industrielles Zwischenprodukt (GFT, Sulzer)
- Reinigung der Abluft aus Tanklagern von Benzindämpfen mit Rückgewinnung durch die Dampfpermeation (GKSS, Borsig), z.B. auch im Osthafen Regensburg

Für die Anwendung in der Mineralöl-Industrie kommen in Frage:

- Erzeugung von entwässertem Alkohol für die Beimischung in Ottokraftstoffen
 - Abtrennung von Aromaten aus Ottokraftstoffen u.a. wegen der Herabsetzung des zulässigen Benzolgehalts /Matu 04/
 - Entzug von Wasserstoff aus Raffineriegas
 - Trocknung von Kohlenwasserstoffen
 - Abtrennung von Schwefel-Verbindungen Brüscke in /AMK 03/
- Probleme bei diesen Anwendungen sind die Verträglichkeit von organischen Membranen mit Mineralölprodukten bei erhöhter Temperatur, geringe Selektivität bei der Trennung von Aliphaten-Aromaten-Gemischen sowie Kapazitätsgrenzen durch den geringen Permeatfluss. Aus letzterem folgt, dass die in geringem Anteil vorliegende Substanz durch die Membran abgeführt werden muss um eine wirtschaftliche Anwendung erzielen zu können. Wenn die abzutrennende Substanz in größeren Anteilen, z.B. größer als 10 - 20 % vorliegt, muss für einen wirtschaftlichen Betrieb i.a. eine Vortrennung erfolgen.

Der Einsatz von temperaturbeständigen Keramikmembranen scheidet wegen der hohen Kosten aus.

Wahl der Trennaufgabe

In einer Projektarbeit mit der Bayernoil Raffineriegesellschaft mbH Neustadt, werden Anwendungsmöglichkeiten für die Pervaporation auf verschiedene konkrete Trennprobleme gesucht. Mit den aus der durchgeführten Literatur-Recherche gewonnenen Informationen u.a. aus /Lip1 99/, /Lip2 99/, /Garcia 2000/, /Nun 01/, /Jonq 02/, /Mel 04/, /Bak 04/ über den Stand der Wissenschaft und Technik, erschien unter Berücksichtigung der derzeitigen und zukünftigen Anforderungen an Mineralölprodukte, des Zeitrahmens und der möglichen technischen und wirtschaftlichen Vorteile von Membranverfahren die Trocknung von Heizöl am aussichtsreichsten.

Das Ziel des zu untersuchenden Prozesses ist es, in einem Produktionsschritt eine durch vorhergehende Prozesse gegebene Wasserkonzentration so zu reduzieren, dass der für eine zukünftige Produktqualität angestrebte Reinheitsgrad erreicht wird.

Der zu untersuchende Pervaporations-Prozess steht dabei in wirtschaftlicher und technischer Konkurrenz zu klassischen thermischen Trennverfahren.

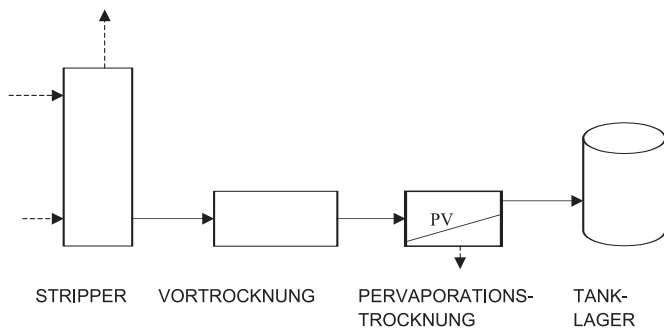


Abb. 11: Fließbild Trocknung von Kohlenwasserstoffen in Raffinerie

Experimentelle Untersuchung

Die bisher durchgeführten experimentellen Untersuchungen zeigen, dass folgende Punkte beachtet werden müssen:

- Sorgfältiger Umgang mit der Membran
- Absolute Sauberkeit bei dem Zusammenbau der Anlage und beim Austausch von Membranen
- Filtration des Feeds durch eine Mikrofiltration
- Gezielte Konditionierung der Membran nach Einbau, vor dem Betrieb und in Betriebspausen

Die in Angriff genommene Trocknung von Heizöl durch Pervaporation wird an der Laboranlage experimentell untersucht. Es muss dafür gesorgt werden, dass die Probe, die wir aus dem Betrieb erhalten, zur Untersuchung in den thermischen Zustand bzw. Wasser-Sättigungs-Zustand gebracht wird, welcher der anvisierten Nachbildung einer Produktionsstufe entspricht. Dies erfolgt in einem beheizbaren Rührwerk, welches auf dem Foto der Laboranlage noch nicht installiert ist.

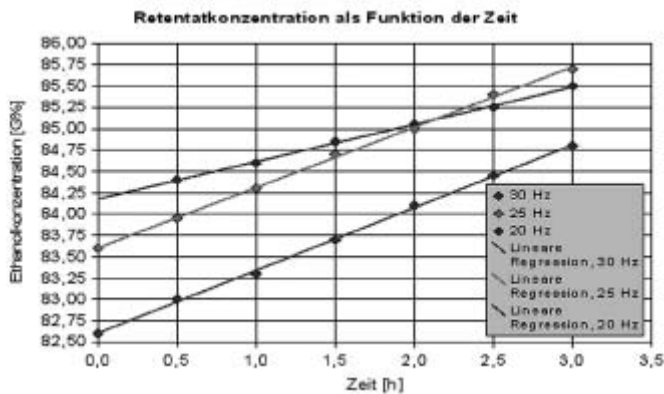


Abb. 12: Verlauf der Konzentrations-Zunahme eines Ethanol-Wasser Gemischs im Batchbetrieb mit der Durchflussmenge (Pumpen-Antriebsfrequenz) als Parameter /Albr 04/

Die Messung des Wassergehalts im ppm-Bereich zur Kontrolle des Trenneffekts erfolgt mit der coulometrischen Karl-Fischer Titration. Die Untersuchungen werden im Batchbetrieb durchgeführt. In Abbildung 12 wird gezeigt wie bei der Trennung eines Ethanol-Wasser-Gemischs eine bestimmte Vorlagemenge als Funktion der Zeit aufkonzentriert wird. Um optimale Betriebsbedingungen zu ermitteln wurde die Rückführungsrate variiert.

Für die kommenden Untersuchungen werden uns die Membranen wiederum von der Firma Sulzer Chemtech zur Verfügung gestellt.

Folgende Punkte werden im Experiment und in System-Studien untersucht:

- Erzielbarer Trocknungsgrad im Produkt das als Retentat anfällt. Hier sind bereits gute Ergebnisse erzielt worden
- Konzentration im Permeat. Ideal wäre abgetrenntes Wasser mit geringem KW-Gehalt, d.h. im niedrigen Prozentbereich
- Fluss zur Abschätzung der erforderlichen Membranfläche für eine Großanlage. Das stellt den kritischen Punkt bezüglich der Wirtschaftlichkeit dar
- Stabilität der Membran über längere Zeit

Beispiele technischer Pervaporations-Prozesse

In folgender Abb. 13 ist das Schema einer vierstufigen PV-Anlage mit Zwischen-Erwärmung für die Entwässerung eines Ethanol-Wasser Gemischs zu sehen. Das 4-stufige Plattenmodul ist in einem Vakuumgehäuse untergebracht ist, in welches der Permeat-Dampf entweicht. Das Permeat wird außerhalb kondensiert, inerte Gase werden mit Vakuumpumpe abgesaugt.

Wie oben erwähnt, können für einen optimierten Prozess thermische Verfahren mit Membranverfahren zu Hybrid-Prozessen verknüpft werden. Ein Beispiel zeigt die Abbildung 14.

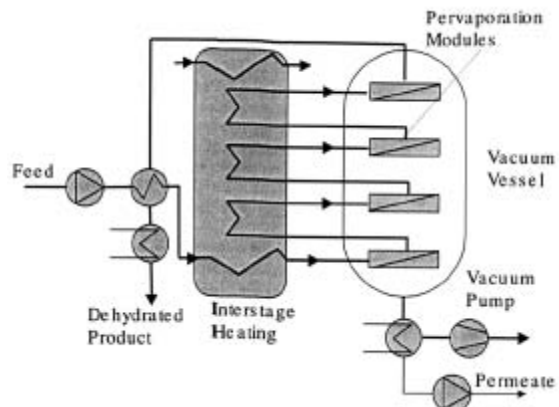


Abb. 13: Fließ-Schema einer vierstufigen, kontinuierlich arbeitenden Pervaporation /Nun 01/

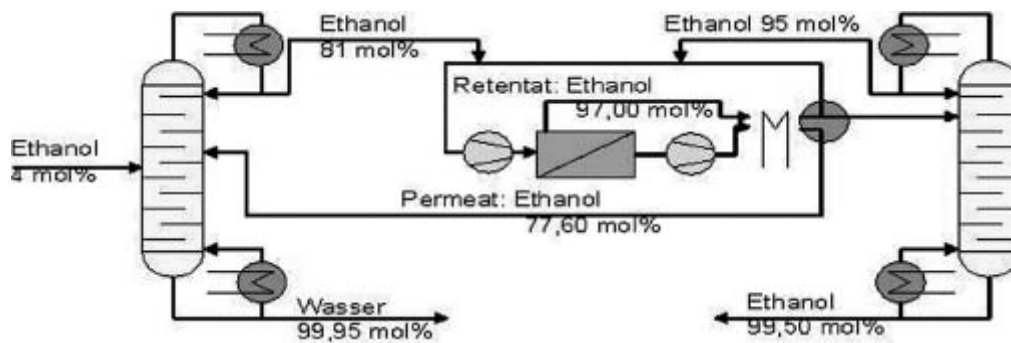


Abb. 14: Hybridprozess zur Ethanol-Entwässerung /Lip2 99/

5 ZUSAMMENFASSUNG

Zu Beginn wird ein Überblick über verschiedene Membran Trennverfahren gegeben. Danach werden Membranen, die Mechanismen der Stofftrennung und Module beschrieben. Das Verfahren Pervaporation wird für die Anwendung bei der Trennung von organisch-anorganischen Lösungen betrachtet.

Mit der im Labor Thermische Verfahrenstechnik vorhandene Pervaporations-Anlage wurde bisher die bereits etablierte Trennung von Ethanol-Wasser Mischungen durchgeführt, um mit dem Verfahren praktische Erfahrungen zu sammeln.

Neue Entwicklungen in der Membrantechnik zeigen, dass es neue Anwendungsmöglichkeiten für organisch-anorganische wie auch von organo-selektive Trennungen gibt. In einer Projektstudie mit Bayernoil wurde eine Anwendungsmöglichkeit zur Kohlenwasserstoff-Wasser Trennung gewählt. In einer umfangreichen Literatur-Recherche wurde der Stand von Wissenschaft und Technik untersucht. In der derzeit laufenden Stufe der Projektarbeit wird die Trocknung von Heizöl experimentell untersucht. Es soll geprüft werden, ob dieses Verfahren für die zukünftig erforderliche Reinheit technisch geeignet ist und wie eine Einbindung in einen bestehenden Produktionsprozess erfolgen kann. Außerdem sollen in Zusammenarbeit mit Bayernoil die Wirtschaftlichkeit geprüft werden, wenn die technische Durchführbarkeit gegeben erscheint.

Danksagung:

Herrn Kossol, Bayernoil Neustadt, Leiter Konzepte und Studien sei gedankt für seine Aufgeschlossenheit und Unterstützung, Herrn OWM Greß für seine wertvolle Mitarbeit im Labor Thermische Verfahrenstechnik sowie Frau cand. Ing. Ninja Hildebrand für ihr Engagement bei den laufenden Untersuchungen.

LITERATUR

- /Albr 04/ Albrecht, Alexander: Untersuchung der Trennung von organischen Substanzen mit der Pervaporation, Diplomarbeit FH Regensburg, 2004
- /AMK 03/ 9th Aachen Membrane Colloquium, March 2003
- /AMK 05/ 10th Aachen Membrane Colloquium, March 2005
- /Bak 04/ Baker, Richard W.: Membrane Technology and Application, Wiley 2nd Ed., 2004
- /Hell 03/ Heller, Dirk: Optimierung einer Pervaporations-Laboranlage, Diplomarbeit FH Regensburg FB M, Juni 2002
- /Jonq 02/ Jonquieres, Anne et al: Industrial state-of-the-art of pervaporation and vapour permeation in the western countries, J. Membrane Science, 206 (2002), p. 87-117
- /Lip1 99/ Lipnizki, F. et al: Organophilic pervaporation: prospects and performance, Chem. Eng. J., 73 (1999), p. 113-129
- /Lip2 99/ Lipnizki, et al: Pervaporation-based hybrid process: a review of process design, applications and economics, J. Membr. Science, 153 (1999), p. 183-210
- /Matu 04/ Matuschewski, Heike / K.-D. Westermann: Benzolgehalt in Kraftstoffen reduzieren, CIT-plus, 10-2004
- /Mel 04/ Melin, T. / R. Rautenbach: Membranverfahren, Springer, 2004
- /Nun 01/ Nunes, S.P./K.-V. Peinemann (Eds.): Membrane Technology, Wiley, 2001, darin Brüschke, H.: State-of-Art of Pervaporation Processes in the Chemical Industry
- /Siegl 00/ Siegl, Christian: Membrantechnologie / Flüssigkeitstrennung mit Pervaporation, Diplomarbeit, FH Regensburg FB M, Nov. 2000
- /Stich 04/ Stichelmaier: Ultrafiltration, Praktikum Umwelttechnik, TU München

DESIGN OF A NEW ARGUS, FOR INTENSITY MEASUREMENTS IN MEGASONIC BANKS

ABSTRACT

The Argus system for measuring the intensity in megasonic banks, has already been described in the publication of G. W. Ferrell and La. A. Crum, „A novel cavitation probe “ [1]. However the probe used in these investigations, is no tool for online measurements. The new Argus probe that has been developed enables to supervise the cleaning process in megasonic cleaners without influencing it. It is possible to visualize local differences in intensity of a megasonic bank. Moreover accidental happening deviations in the emitted power of the transducer can be detected. These features make the Argus system being a tool to guarantee best cleaning quality in megasonic cleaners.

INTRODUCTION

The Argus probe has been developed to give a semi quantitative answer to the question, how many cavitations exist at a certain point in a megasonic cleaner. Cavitations are the most important physical effect in megasonic banks to remove the particles. The sonic waves itself help to lift the particles off the wafer surface, but they play a minor role in their removal [1]. There are two kinds of cavitation, vapor cavities and gas cavities. Vapor cavities play the major role in ultrasonic banks. They are very powerful and can easily damage microstructures, therefore these cavitations are useless in wafer cleaning processes. The second sort of cavities, the gas cavities are predominant in megasonic banks [5]. These cavities are less powerful but allow a soft wafer cleaning. In the particle removal, cavities effect in two ways. It starts with the shock wave, when the cavitation bubble collapses. The power of this shock wave depends on the megasonic frequency and the temperature of the medium. The hotter the medium and the higher the frequency, the less powerful are the cavities, and the softer is the cleaning process. The second effect is micro streaming. Micro streaming occurs when bubbles collapse asymmetric and the surrounding fluid streams with high speed through the bubble (Fig.1) [1,2]. This jet blows the particles off the wafer surface.

For these reasons, it’s important to know how many cavities are generated in a megasonic cleaner, to guarantee an excellent cleaning process.

The Argus uses a third effect that occurs in the moment of collapse to detect the cavities, the sonoluminescence. Before collapsing,



pressures of more than 1000 bar and temperatures between 3000 and 6000 K can occur inside the bubbles [2]. These conditions make it happen, that photons are emitted. Even with the naked eye, a light glowing can be seen in a megasonic cleaner if the environment is completely dark. What the Argus system does, is to detect and count these photons. This enables to draw conclusions from the numbers of photons to the numbers of cavities.

THE ORIGINAL ARGUS SYSTEM

The Argus system itself consists of the probe, that has been redesigned, the photomultiplier, and a computer to record and analyse the data (Fig. 2). The probe is a cell, the surrounding medium but no light from outside can enter. The medium level inside the probe depends on how deep the probe is put into the medium. A thin tantal membrane transmits the megasonic waves into the probe, so the cavities generated in the megasonic bank are also generated in the probe itself. A lens on top of the probe transmits the photons into the photomultiplier, which is specially adapted to the sonoluminescence spectrum of water. The photomultiplier used in the Argus system is highly sensitive, so that even single photons can be detected. The computer records the number of detected photons, called counts, per time interval. The choice of the used time interval is not determined. In the experimental results shown below, a time interval of 1/10 second was set. This value is a good choice to get a fine temporal resolution on the one hand and a high signal - noise ratio on the other hand.

The Argus system gives a semi-quantitative answer to the question, how many cavities exist in a certain area in the megasonic bank, but nevertheless this Argus probe was not suitable as an online

¹ Institute of Microsystems engineering, University of applied sciences Regensburg, 9305X Regensburg, Germany

² Hans Kruwinus, Harald Okorn-Schmidt; Sez Research & Development, Villach, Austria

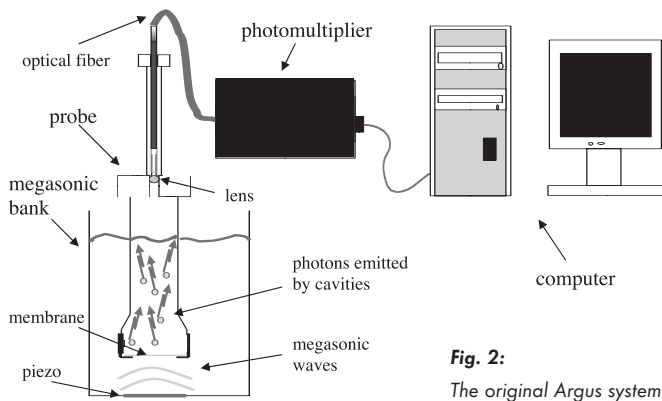


Fig. 2:
The original Argus system

tool. To make the Argus-system become an online tool, certain bugs concerning the probe had to be fixed.

As an online tool, the Argus has to measure in diverse media e.g. SC1 and SC2. The medium is one of the parameters, the sonoluminescence depends from. A medium with good sonoluminescence properties is DI-water and water containing solutions [2]. There are only very few other fluids where sonoluminescence has been detected. So every water containing medium produces another intensity of sonoluminescence, and moreover a different sonoluminescence spectrum. As already mentioned, the photomultiplier and the optical fiber used in the Argus is adapted to the spectrum of DI-water. And though the exploitation of photons is very little anyway, another loss of photons, caused by a wrong spectral res-

ponse and a reduced intensity, could make it impossible to distinguish between counts and dark counts (counts that will be detected even in absolutely dark environment). To guarantee a good signal and comparable measurements, the ideal medium to use inside the probe is DI-water.

Another point to get comparative results is to provide a constant water level inside the probe, due to the fact that more water inside the probe causes more cavities and more counts per time, and the other way round. But the higher the water level inside the probe, the worse the signal-noise ratio. So a compromise had to be found.

There is also another fact that has to be considered when a low water level is used inside the probe, the temperature. The higher the temperature of the medium, the lower the intensity of the sonoluminescence [4]. As Fig.3 shows, the temperature rises about 20°C within 3 minutes, when the probe is placed directly over the piezo of a megasonic bank. This increase of temperature decreases the number of counts to zero. To prevent the water from heating, it has to be continuously replaced.

These facts built the frame for the design of the new probe.

THE MODIFIED ARGUS PROBE

Fig.4 shows the modified Argus probe. The probe itself wasn't changed, but a new cell was designed which can easily be plugged onto the probe. This cell fulfills all tasks the Argus needed to become an online tool.

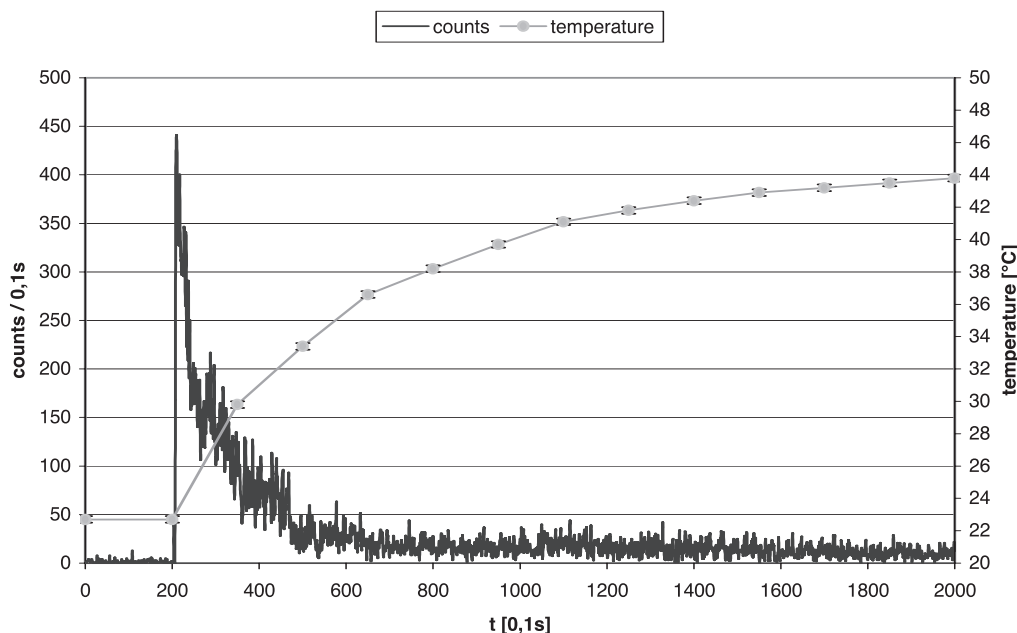
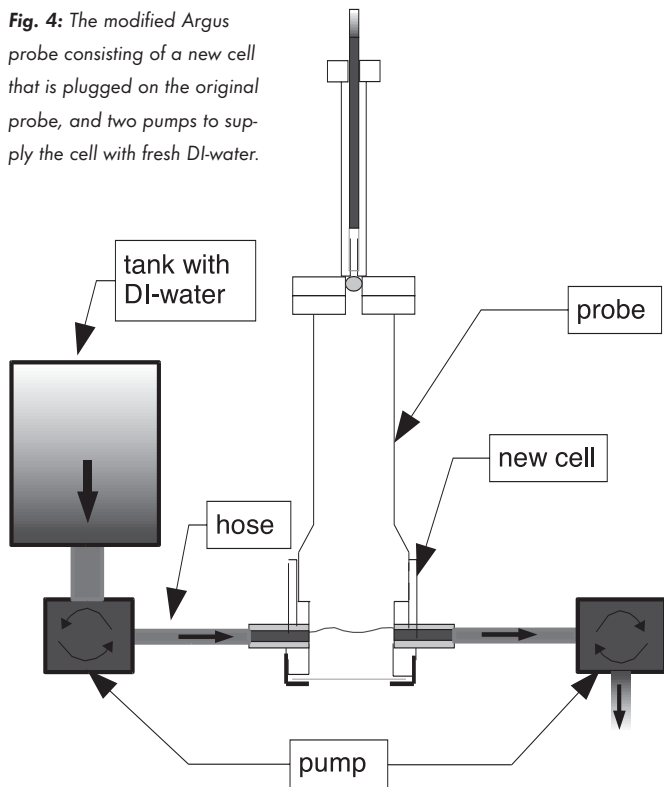


Fig. 3: Context between temperature and counts

- Megasonic was started after $t = 20s$ to see the number of dark counts
- The probe was placed on the bottom of the megasonic bank
- Transducer power: 100%

Fig. 4: The modified Argus probe consisting of a new cell that is plugged on the original probe, and two pumps to supply the cell with fresh DI-water.



The heating water problem is now solved by a continuous water flow through the cell. The water flow is set by the two pumps. The second pump at the water outlet is necessary to prevent a rising water level inside the probe. Another construction with only one pump and a waterproof cell, with a glass disc on top of the cell failed. Experiments showed that an air layer over the water level

is absolutely necessary to measure the sonoluminescence. Reflections, because of different refractive indexes between water, air and the glass disc, as a reason for the need of an air layer can be excluded.

This construction provides additionally a constant and independent water level inside the probe, and the possibility to pump the best medium for sonoluminescence with the ideal temperature through the probe.

The following section demonstrates the capability of the modified Argus.

EXPERIMENTAL

Experiments with the modified probe (Fig.5) demonstrated, that a constant number of counts is possible over time, without any decrease caused by temperature. Another positive aspect is, that the number of counts is very high, so that noise plays a minor role in measurements. Further experiments demonstrated, that the counts are independent from the water flow through the cell.

It's even possible to measure in bigger distances between probe and bottom of the megasonic bank, without getting a significant reduction of counts (Fig. 6). This result confirms the theoretical expectations, because in theory the intensity of megasonic waves (1000 kHz) in water halves every 13,7m [3].

Fig.6 suggests, that the number of counts is higher when the distance between probe and transducer is bigger. This effect depends on the phase of the megasonic wave. The frequency the generator emits varies between 1000kHz (wavelength in water: 1,483mm) at maximum transducer power and 1025kHz (wavelength in water:

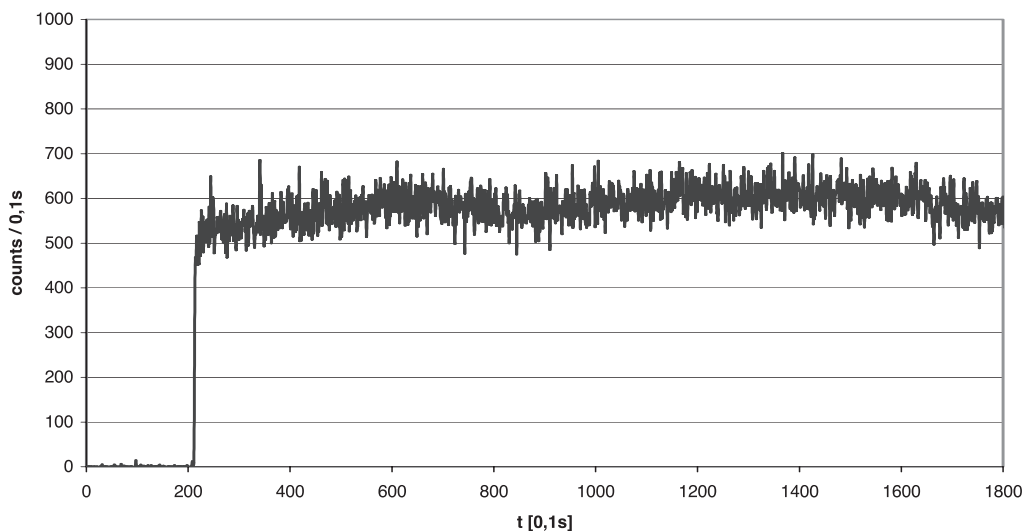


Fig. 5: Horizontal curve shapes of the counts are possible with the new cell, because the medium inside doesn't heat.

- Megasonic was started after $t = 20s$ to see the number of dark
- $T(\text{water}) = 22^\circ\text{C}$
- Distance between probe and bottom of the megasonic bank: 6cm
- Transducer power: 100%

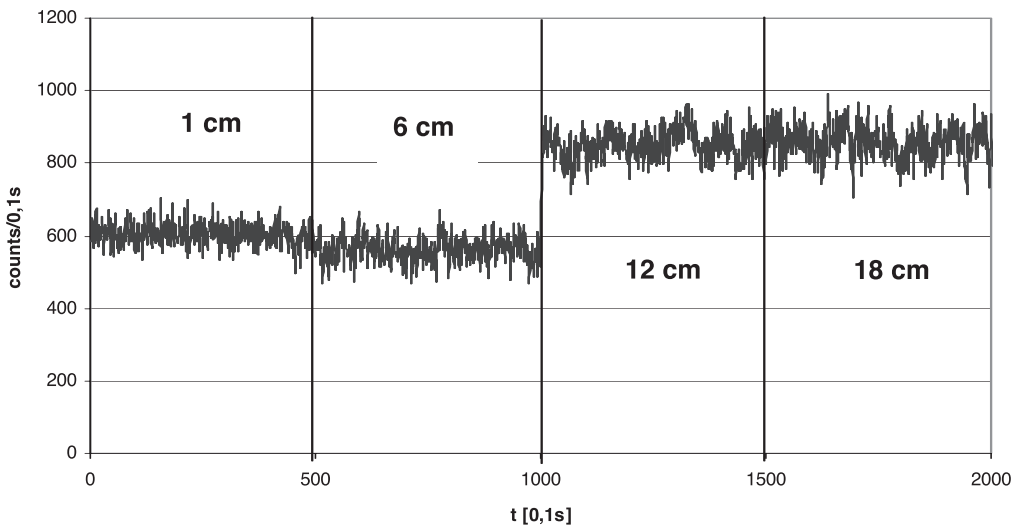


Fig. 6: Counts are independent from the distance between piezo and probe. This graph unites parts of other measurements taken at distances between piezo and probe at 1 cm, 6 cm, 12 cm, 18 cm.

- $T(\text{water}) = 22^\circ\text{C}$
- Transducer power: 100%

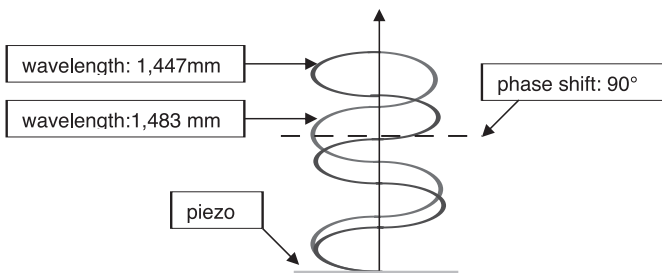


Fig. 7: Although the power of the transducer is set from minimum to maximum, less cavities will be generated inside the probe, because the phase shift causes a minima at the membrane of the probe.

1,447mm) at minimum transducer power. These different wavelengths cause a phase shift at the membrane of the probe, if the power is changed and the position of the probe is kept fix (Fig.7). In the used megasonic bank, the power of the transducer is set manually by a potentiometer. A scale reaching from 50% to 100%, divided into 5% steps, helps to find the right power setting, but an exactly power setting is not possible. In Fig.6 it was tried to find the power setting within the 100% range that produces the maximum numbers of counts. But the bigger the distance between probe and piezo, the easier is it, to get the maximum amplitude by changes in power smaller than 5%. That's why the number of counts at 1 cm and 6 cm is smaller than at 12 cm and 18 cm. A better result could be accomplished by using a holder, which is able to set the vertical position of the probe by micrometer. This would make it possible to move the probe toward to the next maximum.

The experimental results showed, that the modified probe offers the possibility to visualize the distribution of megasonic intensity everywhere in a megasonic bank. Moreover the Argus is able to detect different transducer power settings. The following experiment (Fig.8) shows the correlation between counts and power. Within a small power range (e.g. between 70% and 85% power), and a short distance between probe and piezo (about 1 cm), the step width the number of counts changes per 5 % power is constant (about 200 counts / 5% power), because the effect of phase shift is very weak. Fig.8 also shows the minimum power that is necessary for the generation of sonoluminescence (here: 70%).

In the following section the Argus system demonstrates its ability to become an online tool that supervises the cleaning process. Previous measurements showed, that the curve shape is not always a straight horizontal line. In most times little deviations in the number of counts can be seen. And in several cases abrupt changes and suddenly occurring heavy noise was detected during the measurements (Fig 9, 10).

It was proofed that these disturbances were caused by the megasonic generator (Fig.11). The experiment in Fig.11 started with little deviations and a falling curve shape that ended in a heavy noise. Before the counts start to normalize again, the power of the megasonic generator was changed by few per cent. The new power setting was still within the 100% power range (100% - 95% power). This effect, that a little change in power can stop suddenly occurring strange curve shapes, has been regarded several times, so that a failure of the Argus system can be excluded. This means the Argus is able to detect the assumed changes in the emitted power that leads to a faulty cleaning process.

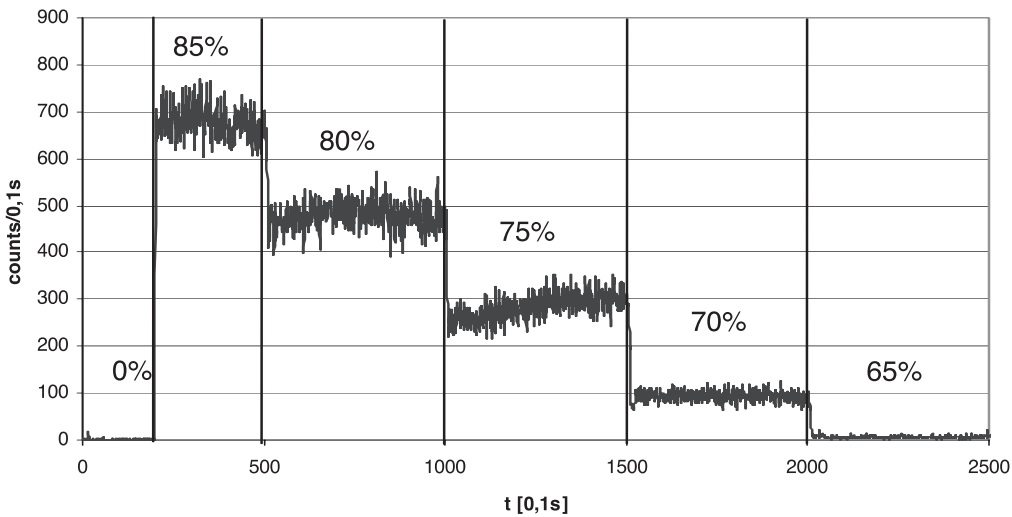


Fig. 8: Starting at a power of 85%, the power of the megasonic generator is reduced every 50s by 5%. To keep the influence of phase shift small, the power only varies within a range of 20%, and the distance between probe and piezo is set at 1 cm.

- Megasonic is started after 20s
- $T(\text{water}) = 22^\circ\text{C}$

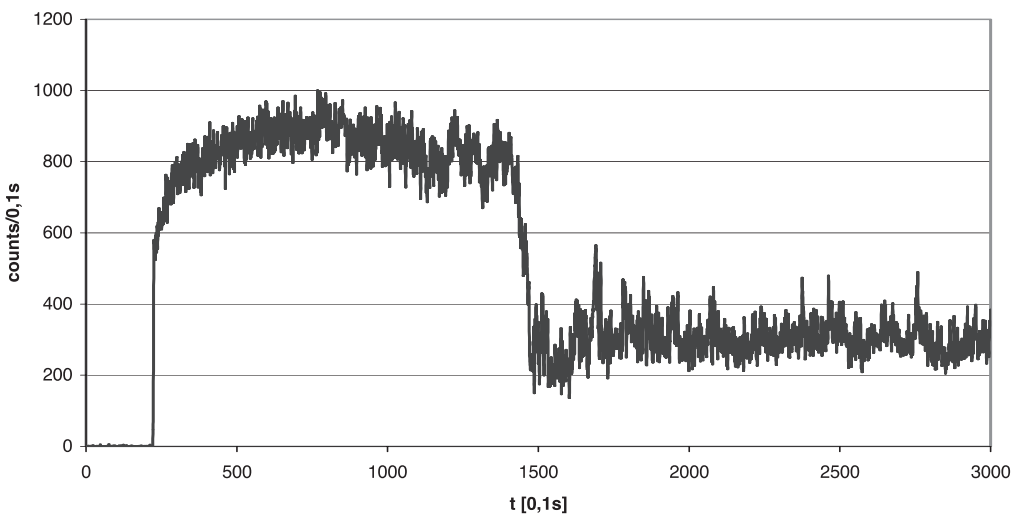


Fig. 9: Without any changes during this experiment, the number of counts falls within few seconds by about 500 counts/0,1s.

- Megasonic is started after 20s
- $T(\text{water}) = 22^\circ\text{C}$
- Distance between probe and piezo: 18cm

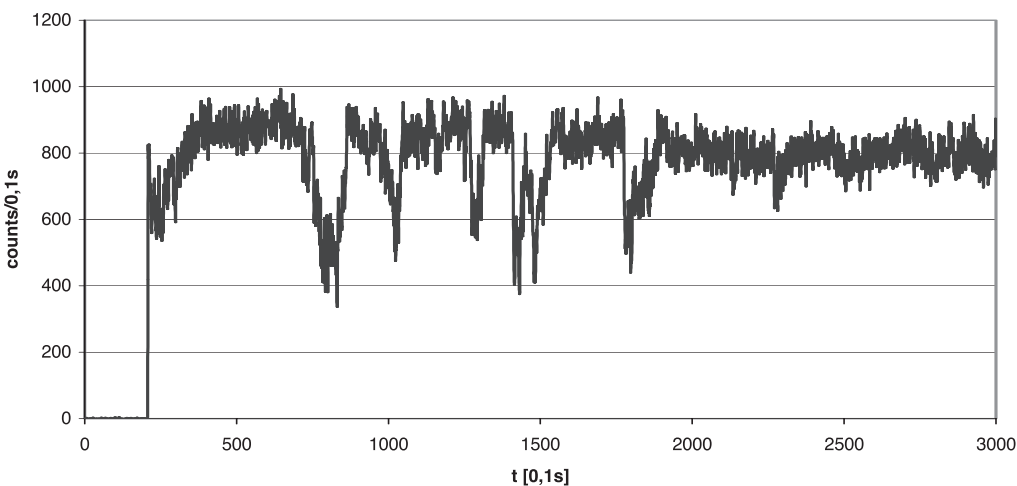


Fig. 10: Without any changes during this experiment, negative peaks appear suddenly and vanish again.

- Megasonic is started after 20s
- $T(\text{water}) = 22^\circ\text{C}$
- Distance between probe and piezo: 18cm
- Transducer power: 100%

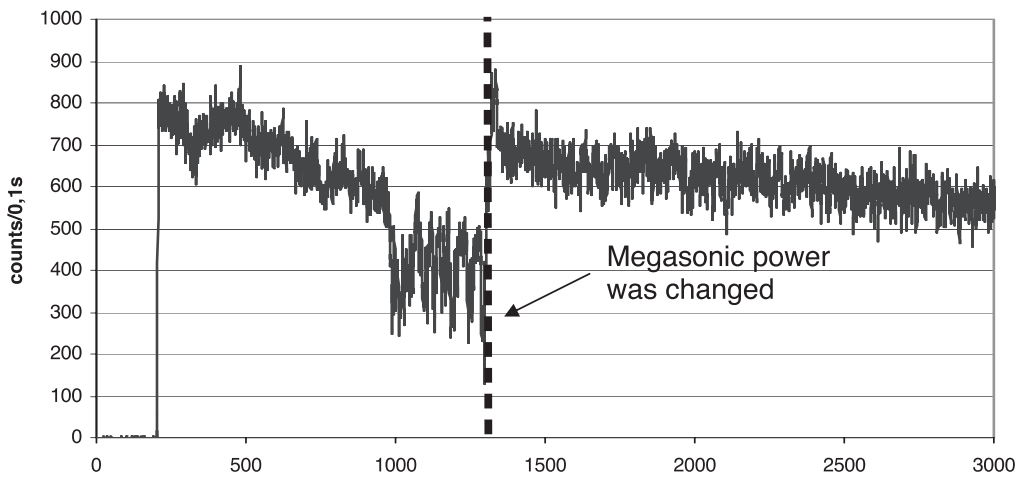


Fig. 11: The measurement started with little deviations that ended in heavy noise. The dotted line marks the position when the megasonic power was changed (the power is still within the 100% range).

- Meagsonic is started after 20s
- $T(\text{water}) = 22^\circ\text{C}$
- Distance between probe and piezo: 18cm
- Transducer power: 100%

DISCUSSION

The experiments demonstrated, that the modified Argus system is able to scan megasonic banks, and produce semi quantitative results. Further is it possible to draw conclusions from the number of detected counts to the emitted power of the transducer. This enables to set a minimum limit at a certain number of counts per time that guarantees an optimal cleaning process. By scanning a complete meagasonic bank, locations with an insufficient megasonic intensity can be visualized. These abilities make the Argus system to be an ideal tool for controlling an optimising megasonic banks.

[1] G. W. Ferrell and La. A. Crum, „A novel cavitation probe “, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 112, No.3, Pt. 1, Sep. 2002

[2] M. P. Brenner, S. Hilgenfeldt and D. Lohse, „Single-bubble sonoluminescence“, Review of modern physics, Vol. 74, Ape. 2002

[3] F. Jansing, „Ultraschallanwendungen in der Verfahrenstechnik“, Studienarbeit an der Fh-Köln, WS. 98 / 99

[4] S.J. Putterman and K.R. Weninger, „Sonoluminescence: How Bubbles Turn Sound into Light“, Annu. Rev. Fluid. Mech. 2000

[5] Megasonics Streamline Substrate Cleaning <http://www.cleantechcentral.com/Magazine/Past-Issues/jan1998/2.as>

WET CHEMICAL PRODUCTION OF SPHERIC MICRO LENSES IN GLASS-CERAMIC

ABSTRACT

The forming of micro glass lenses or structures in combination with micro resist lenses is allowed through HF/NMP, NH₄F or DI mixtures. At first two ways of manufacture could be imagined. The first way is a one to one transfer of resist lenses into glass-ceramic, as in dry etching processes. The second way is to use the resist micro lenses as mask structures for underetchings. The transfer of the resist lenses in a one to one step is not successful because of an irregular dissolve of the resist lenses. The underetching process of the resist lens mask structures results according to a mixture in etched micro lenses, micro plateaus or micro pyramids. Generally the structure is dependent on the surface tension of the etchant and the vertical and lateral etch rates. The structures are below 1.2 μm. The sides of the structures were 12 μm x 12 μm. Ultimately HF/additive mixtures form various different shapes.

1 INTRODUCTION

In the development of glass-ceramics and with the production of bulk and fibrous glass-ceramics, important advances have begun. Glass-ceramics were established as important materials in fields such as consumer products, vacuum tube envelopes, radomes for the aerospace industry and protective coating for metals. The fantastic combination of properties is probable to make them attractive for a number of specialised engineering applications. [1] Now, one special application should be added. Here will be tried etching micro lenses in neoceram n-0, a so called glass-ceramic. These micro lenses are useful for displays.

2 EXPERIMENTAL

Two processes are studied. The first process is a transfer of resist lenses into glass-ceramic, in association with a mixture made of a solvent and hydrofluoric acid. The second possibility of micro lens fabrication in neoceram n-0 exist in defined underetchings. Variations in the concentration of etchants forms the micro shape. For this, fitted quadratic photoresist masks and additives with HF are necessary, like NH₄F/HF, DI/HF or NMP/HF. The side length of the quadratic photoresist mask structures are around 12μm. The roundings will be dependent on the additive/HF proportions and the surface tension of the mixture on the substrate. Similar flank investigations are already done in SiO₂ to look up in Prof. Dr. A. Lechner "Chemicals of Semiconductor Technologies", 4., rev. Edi-

tion. In SiO₂ the shapes change dependent on the HF concentration and temperature. For the variation of the concentration was used NH₄F. [2] The advantage of this proceeding is, that only a quadratic mask structure would be needed. Figure 1 depicts the underetching process of defined mask structures.

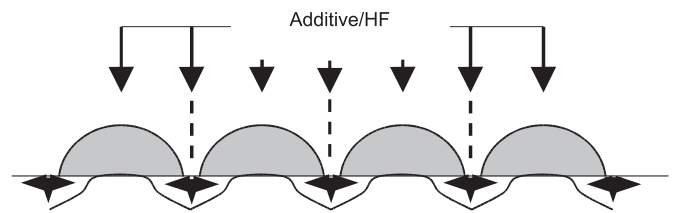


Figure 1: Underetchings caused by an additive like NH₄F or NMP and HF

RESULTS AND DISCUSSION

For the first way different solvent/HF mixtures were used, but no one was enough qualified. The second way of manufacturing glass-ceramic micro lenses by an underetching process leads to further interesting structures besides glass-ceramic micro lenses. So figure 2 below shows wet chemical proceeded plateaus which are etched with NH₄F/HF in a volume proportion of 1:1. The periode of etching is 30 secs. The temperature belongs to room temperature. Small contaminations at the edges of the plateaus are caused by chemical reactions with the mask structures. Just as the micro plateaus, micro pyramids (figure 3) and micro lenses are etched at room temperature. The edge length of the plateaus and pyramids is around 12 μm. Furthermore are the heights of the pyramids measurable in an area around 1,1 μm. After the pyramids with a lack of smoothness spherical structures of figure 4 are etched with NMP/ HF proportioned to 1:1. The periode of etching is 120 secs. The height belongs to 450 nm. Again the edge length is around 12 μm. An explanation of the structures are given through a view on the lateral and vertical etch rates and the surface tension of the single mixtures.

NH₄F/HF

With a weak HF concentration the shape is a small plateau. The additive and the HF are proportioned 5:1. Plateaus like this will only be created if the lateral etch rate is smaller than the vertical etch rate. For the weak HF the vertical etch rate is 3,1 μm/min and

^{a)} University of Applied Sciences Regensburg, Section Microsystemstechnology; ^{b)} SEZ Villach AG
*Person to turn to. Tel.: 0049-0941-943-1271; E-mail address: alfred.lechner@mikro.fh-regensburg.de

the lateral etch rate $3,2 \mu\text{m}/\text{min}$. The lateral etch rate and the vertical etch rate are equal but in contrast to the spherical or pyramidal structures the creep below the resist lenses is much more difficult for the $\text{NH}_4\text{F}/\text{HF}$ mixture as for the NMP or DI/HF mixture. The lower the surface tension of the etchant the higher the creep below the resist lenses during the etching. The surface tension of a $\text{NH}_4\text{F}/\text{HF}$ mixture is very high that can be seen in contact angle measurements. NH_4F increase the surface tension of the mixture. Because of this the mixture isn't able to etch below the mask structures. The lateral etching is restrained and the vertical direction corrodes in a favoured way. A higher proportion of HF and NH_4F with 1:1 ends in more marked plateaus. This lies in a higher surface tension and in higher etch rates. A further increase of the HF concentration results in pyramids.

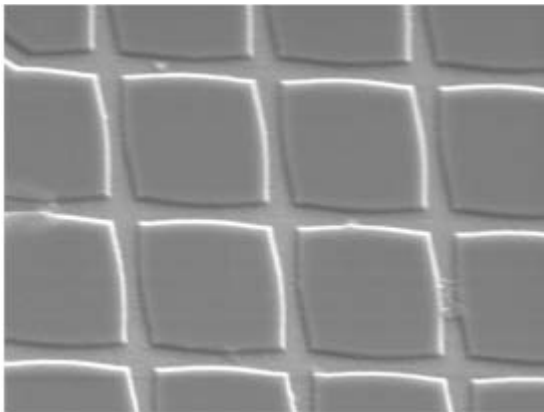


Figure 2: Flatten nonspherical structures etched with $V_{(\text{HF})}/V_{(\text{NH}_4\text{F})} = 1:1$ for 30 secs and at room temperature

DI/HF

The next structures were etched with DI and HF. The ability of etching pyramids is only given if the lateral and the vertical etch rates are rather the same. The best pyramids are etched with a resulting concentration of around 40% HF which has the etch rates of $13,6 \mu\text{m}/\text{min}$ for lateral and $13,9 \mu\text{m}/\text{min}$ for vertical direction. The experiments show that the lower the HF concentration the higher the unevenness of the micro pyramids. Furthermore most the surface tension is higher than in the NMP/HF mixture and a little bit smaller than in the $\text{NH}_4\text{F}/\text{HF}$ mixture. So the mixture isn't prevented to creep below the mask structures as in the $\text{NH}_4\text{F}/\text{HF}$ mixture. The structures of the photoresist mask is reflected in the sides of the pyramids. This is caused by a regular etching.

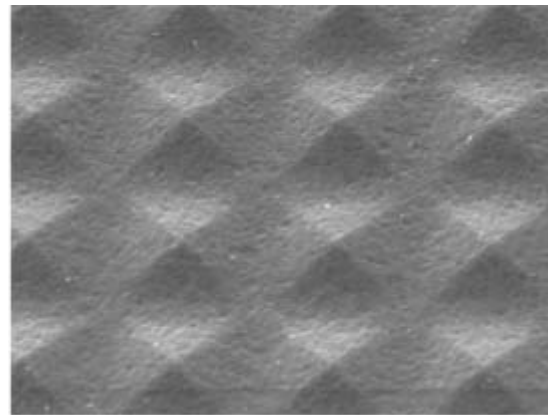


Figure 3: Etched pyramids with a height of $1,2 \mu\text{m}$ etched with $V_{(\text{HF})}/V_{(\text{DI})} = 5:1$ for 30 secs at room temperature

NMP/HF

Spherical structures came into being with NMP and HF. A HF/NMP mixture with a volume proportion of 1:1 results in spherical structures. The spherical shapes can only be etched if the lateral etch rate is higher than the vertical etch rate. The vertical etch rate belongs to $1,9 \mu\text{m}/\text{min}$, the lateral etch rate to $3,4 \mu\text{m}/\text{min}$. In combination with a high creep below the resist lens structures based on a low surface tension of the mixture NMP/HF this spherical structures are explainable. The etchant creeps more below the mask structures and already support the glass-ceramic etching in lateral direction. Again an increase of the HF concentration results in pyramids. But a decrease ends in lower spherical structures. Thus, the peak of the pyramids will be rounded through the high lateral etch rate.

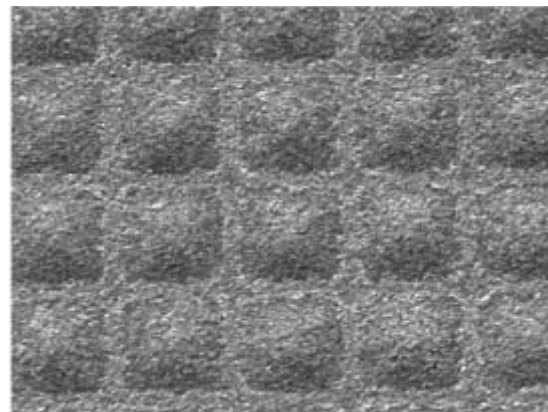


Figure 4: Spherical structures etched by $V_{(\text{HF})}/V_{(\text{NMP})} = 1:1$ for 120 secs at room temperature

$V_{(HF)}/V_{(Additive)}$	Depiction	Etch Rates	r_V/r_L	Surface Tension/Contact angle
Additive = NMP				
1 : 5			-	○ 25°
1 : 1			0,58	○ 55°
5 : 1			1,21	● 65°
Additive = DI				
1 : 5			0,20	○ 53°
1 : 1			0,75	○ 53°
5 : 1			1,03	● 63°
Additive = NH₄F				
1 : 5			0,08	● 90°
1 : 1			0,61	● 65°
5 : 1			1,23	● 65°

Figure 5: Conclusion of the etched structures through underetched micro resist lenses

CONCLUSION

A direct one to one transfer of the resist lenses into the glass-ceramic isn't possible. On the other hand are the etchings with different hydrofluoric acid mixtures and additives like NMP, DI and NH₄F ending in different structures. This structures are glass-ceramic micro lenses, pyramids and plateaus. An explanation of the structures lie in the lateral and vertical etch rates as soon as in the surface tension of the mixtures. A summary of the surface tension, lateral- and vertical etch rates are depicted in figure 5. There can be seen the etched structures with darts representing the vertical and lateral etch rates. Furthermore are painted green points for a low surface

tension, yellow points for a middle surface tension and red points for a high surface tension of the etchants. A lower surface tension favours a lateral etching despite of a high surface tension prevents it.

Acknowledgements

Thanks to SEZ AG in Villach, Austria, which supported this work.

REFERENCES

- [1] McMillan, P.W.:Glass-Ceramics, Academic Press, 1979, Page 5
- [2] Lechner, A.: Chemikalien in der Halbleitertechnologie, 2000, Page 18

WIE ELTERN DEN BEGLEITETEN UMGANG BEWERTEN¹ – EINE KATAMNESTISCHE BEFRAGUNG AN ERZIEHUNGSBERATUNGSSTELLEN

Randbemerkungen von Müttern und Vätern im Elternfragebogen (nach Abschluss des begleiteten Umgangs)

Was Mütter über Väter denken

„Ein engagierter Vater ist er nur, wenn es um das Vergnügen geht!“

„Auf Absprachen mit dem Vater kann ich mich sowieso nicht verlassen, denn er macht so weiter, wie er in der Ehe aufgehört hat!“

„Für mein Kind ist der leibliche Vater eher ein Spielgefährte, nicht aber ein Vater im eigentlichen Sinn!“

„Der Vater ist nur für sich und seine Bedürfnisse engagiert und dazu benutzt er sein Kind!“

„Der Vater hat mich in der dritten Schwangerschaftswoche verlassen und mir eine Abtreibung freigestellt. Von da an gibt es nichts mehr Gemeinsames, außer den Gerichtsterminen!“

„Der Vater ist ja nur scheinheilig!“

„Im Aufhetzen der Kinder gegen mich war er immer schon gut!“

„Er spielt nur den guten Vater!“

Was Väter über Mütter denken

„Für Mütter gibt es immer tausend Gründe, den Umgang nicht stattfinden zu lassen!“

„Die Mutter ist zu keiner Absprache bereit, alles muss ich erzwingen!“

„Die Mutter entzieht bewusst dem Vater die Kinder!“

„Das Kind hat sich der Macht der Mutter unterworfen!“

„Die Mutter hat Angst, dass ich meinen Sohn fresse! Ich liebe meinen Sohn!“

„Die Mutter schafft es immer wieder, dass ich mein Kind nicht sehen kann!“

„Durch den Umgangsboykott der Mutter hat sie mir mein Kind noch mehr entfremdet!“

„Die Mutter hat meinen Sohn total eingeschüchtert!“

„Die Mutter schikaniert mich, wo sie nur kann!“

„Meine Exfrau demütigt mich!“

ERLÄUTERUNG DER FRAGESTELLUNG

Der begleitete Umgang nach der Kindschaftsrechtsreform

Nach Einführung des neuen Kindschaftsrechts ist der Bedarf nach Umgangsbegleitung deutlich gewachsen, und gleichzeitig hat es bei seiner Indikation eine Ausweitung und Akzentverschiebung gegeben. Vor der Reform wurde er vor allem unter der Rahmenbedingung „beschützter Umgang“ praktiziert. Die Familiengerichte ordneten ihn in einigen wenigen Fällen des begründeten Ver-

dachts auf sexuellen Missbrauch und bei Gefahr einer Kindesentführung an. Nach der Reform wird der begleitete Umgang stärker als Instrument der Kontaktabbauung und des Elternerhaltes für das Kind in besonders schwierigen (strittigen) Fällen eingesetzt.

Der begleitete Umgang ist also in Deutschland kein neues Instrument, er ist aber mit der Einführung des neuen Kindschaftsrechts in den Blickpunkt der Fachöffentlichkeit gerückt. Willutzki spricht von einem „geradezu sensationellen Aufschwung“, den der begleitete Umgang nach der Reform genommen hat (2003, 50).

Für ihn sind vor allem drei Gründe für den „Höhenflug des begleiteten Umgangs“ verantwortlich: Erstens wird der begleitete Umgang im Kindschaftsrecht explizit erwähnt, zweitens wurde der Ausschluss erschwert und zum dritten wurden eheliche und nichteheliche Kinder im Umgangsrechts gleichgestellt (2003, 50).

Wie wichtig möglicherweise die Ausweitung des Angebotes an Umgangsbegleitung ist, zeigt eine neuere Studie von Karle und Klosinski (2000), die Kinder und deren Eltern untersuchten, bei denen der Umgang zeitlich befristet durch Gerichtsbeschluss ausgeschlossen wurde. Sie kommen in ihrer Katamnese (2-6 Jahre nach dem Beschluss) zu dem Ergebnis, dass in 90 % der Fälle der Umgang nicht mehr zustande kommt. D.h., ist der Umgang – auch zeitlich befristet – einmal ausgeschlossen, führt der Ausschluss zu einem Dauerzustand. Als Anlässe für den zeitlich befristeten Umgangausschluss wurden am häufigsten der „Wille des Kindes“ (76,6 %) und „Spannungen zwischen den Eltern“ (73,3 %) angegeben. Nur in einem einzigen Fall wurde vor der Entscheidung ein begleiteter Umgang praktiziert. Man darf vermuten, dass der vermehrte Einsatz des begleiteten Umgangs in einigen Fällen den Dauerausschluss eines Elternteiles hätte verhindern können.

Ob die Hoffnungen, die mit dem begleiteten Umgang verbunden sind, aber auch eingelöst werden können und ob die zahlenmäßige Ausweitung auf der Angebotsseite auch zu angemessenen Ergebnissen vor allem für die betroffenen Kinder führt, ist offen. Rexilius, der als Familientherapeut und Sachverständiger tätig ist, scheint da eher skeptisch, was die Lösung von Umgangsproblemen betrifft: „Alle Fachleute scheinen, trotz der Impulse durch das neue Kindschaftsrecht, auf der Stelle zu treten, zündende Ideen und innovative Handlungsmuster fehlen“ (2003, 39). Er konstatiert eine eher zunehmende Hilflosigkeit in ihrer fachlichen Bewältigung von Umgangsproblemen. Fegert ist nicht ganz so pessimistisch, warnt aber ebenfalls: „Der begleitete Umgang kann eine Chance sein, er kann aber auch eine Scheinlösung sein zu Lasten des Kindes“ und weiter in dem selben Aufsatz: „Den Familiengerichten sollte klar

¹ Dieser Aufsatz wurde in der Zeitschrift Kind-Prax (2/ 2005, S43 ff) veröffentlicht.

sein, dass die scheinbar erledigten Pattsituationen durch begleiteten Umgang in der Regel nicht geklärt sind. Insofern ist es eine Frage der Prozess- und Ergebnisqualität, Ziele bei der Anordnung eines begleiteten Umgangs bei der Anordnung zu operationalisieren und zu überprüfen, ob diese Ziele in bestimmten Zeiträumen auch erwartungsgemäß erreicht wurden.“ (2002, 219). Gerade dieser rasante Ausbau von Umgangsbegleitung in der Jugendhilfe erfordert Maßnahmen der Qualitätssicherung.

Empirische Forschung zum begleiteten Umgang

Empirische Forschungsarbeiten zum begleiteten Umgang spielen in Deutschland bisher keine große, aber doch an Bedeutung zunehmende Rolle. Da ist vor allem auf eine Untersuchung der Forschergruppe um Fthenakis hinzuweisen, die im Auftrag des Bundesministeriums für Familie, Senioren, Frauen und Jugend durchgeführt wird. Dieser Untersuchung verdanken sich die vorläufigen deutschen Standards zum begleiteten Umgang (2001). Außerdem liegen Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Richterinnen und Richtern zum begleiteten Umgang vor (2002).

Diese Studie bestätigt den Ausbau an Umgangsbegleitungen. Gut die Hälfte der Befragten gibt an, dass in ihrem Gerichtsbezirk mehrere geeignete Anbieter für den begleiteten Umgang vorhanden seien (56,6%), ein weiteres Drittel nennt einen Anbieter. Lediglich eine Minderheit (7,3%) gibt an, nicht zu wissen, wie viele solcher Anbieter vorhanden sind (Fichtner & Fthenakis 2002, 232). Mit der Qualität ist ca. die Hälfte „ziemlich zufrieden“ und zusätzlich 33,9% sind „mittelmäßig zufrieden“.

Proksch (2002) berichtet folgendes Ergebnis seiner bundesweiten Richterbefragung, die er zur Umsetzung des neuen Kindschaftsrechts insgesamt durchgeführt hat:

70 % der RichterInnen finden, dass der begleitete Umgang sich „sehr/ziemlich“ bewährt hat. Dieses Ergebnis ist durchaus mit dem von Fichtner & Fthenakis zu vergleichen. Proksch hat auch die Jugendämter zum begleiteten Umgang befragt. Auffallend ist, dass sich die Jugendhilfe (hier die Jugendämter) sehr viel weniger zufrieden mit den Erfolgen zeigen: 38,9 % sagen, dass der begleitete Umgang sich „meistens/oft“ bewährt hat. „Manchmal“ bewährt hat sich die Umgangsbegleitung für 27,3 % der Jugendämter und jedes 5. Jugendamt sagt, dass er sich „selten/nie“ bewährt hat. In der Erfolgseinschätzung ergeben sich also deutliche Unterschiede zwischen den Familiengerichten und den Jugendämtern. Wir vermuten, dass die Maßnahmeträger, die die Probleme im begleiteten Umgang hautnah erleben, die Möglichkeiten dieses Instrumentes sehr viel nüchterner beurteilen.

Empirische Erhebungen bei den Eltern und Kindern, die den begleiteten Umgang erhalten, sowie bei den Fachkräften, die den begleiteten Umgang durchführen, sind uns kaum bekannt.

Der Familiennotruf München (2002) hat in einem Follow-up Eltern in schriftlicher Form zum begleiteten Umgang befragt. Das zentrale Ergebnis war für die Fachkräfte, die die Studie durchgeführt haben, sehr enttäuschend: 75 % der abgeschlossenen Fälle wurden vor Erreichen der Ziele beendet. Die Autor/innen dieser Studie schlagen vor, das Screening oder die Diagnostik vor Beginn der Maßnahme zu verbessern, um Retraumatisierungen der Kinder durch abgebrochene und erfolglose begleitete Umgänge zu verhindern.

Die einzige Studie, die das Kind in den Mittelpunkt der Untersuchung stellt, ist die Arbeit einer Regensburger Forschergruppe um den Bindungsforscher Grossmann. Diese Gruppe hat sich die Analyse der Qualitätsentwicklung der Eltern-Kind-Interaktion während der begleiteten Umgänge zur Aufgabe gemacht. So wurden verschiedenen Beobachtungsskalen entwickelt, mit denen videografierte Umgangsbegleitungen – und zwar jeweils die erste und die letzte Sitzung – untersucht wurden. U.a. bewerteten sie die elterliche Spieleinfähigkeit, Unterstützung und Wertschätzung, das Ausmaß erkennbarer Belastung des Kindes sowie Spiel- und Kommunikationsfreude beim Kind (Reinhold 2004). Als wichtiges Ziel wird zum einen die Messung von Effekten in der Qualität der Interaktion und im Verhalten der Kinder genannt. Zum anderen erhofft man sich die Identifikation von Variablen, die bereits zu Beginn der ersten Begegnung im begleiteten Umgang eine Vorhersage über den weiteren Verlauf erlauben, eine Verbesserung der prognostischen Möglichkeiten im konkreten Fall. Uns erscheint dieser Ansatz auch aus der Perspektive der Praxis sehr interessant, liefern die Forschungsmethoden (Skalen für die Eltern-Kind-Interaktion und das Verhalten der Kinder) doch eine Fülle sensibilisierendes Material für die Beobachtung wichtiger Aspekte der Vater-Kind bzw. Mutter-Kind-Beziehung.

In einigen Ländern bestehen bereits langjährige Erfahrungen mit dem begleiteten Umgang. In Europa sind da vor allem Frankreich und die Schweiz zu nennen. Evaluative Studien liegen vor allem aus Kanada, den USA und Australien vor. Fthenakis (1999) hat die wichtigsten Ergebnisse zusammengestellt. Stellvertretend soll an dieser Stelle kurz auf eine amerikanische Untersuchung eingegangen werden, in der auch die Perspektive der Eltern thematisiert wurde. Die Eltern äußerten hohe Zufriedenheit mit den zustande gekommenen Kontakten. Allerdings zeigt die Abbruchrate des begleiteten Umgangs von über 50 %, dass die geäußerte Zufriedenheit relativiert werden muss. Über 25 % der nicht sorgeberechtigten Eltern äußerten außerdem Klagen über ihre Erfahrungen mit dem begleiteten Umgang, weil sie eine Bevorzugung des anderen Elternteils sahen. (Fthenakis 1999, S. 5).

Neu erschienen ist eine Forschungsübersicht zu Umgang und Umgangsbegleitung, die grundlegende Annahmen des bundes-

deutschen Umgangsrechts mit den internationalen Forschungsergebnissen abgleicht und einen guten Überblick zur Thematik bietet (Friedrich, Reinhold & Kindler 2004).

Methode und Durchführung

Mit diesem Projekt anwendungsbezogener Forschung wurde eine Qualitätssicherung des begleiteten Umgangs (BU) durchgeführt und zwar sowohl aus der Perspektive der Klientinnen und Klienten als auch der der Fachkräfte. Wir haben Einschätzungen der Umgangsbegleitung und ihren Verlauf fallbezogen untersucht und einen Vergleich der Bewertungen von Müttern, Vätern und Fachkräften durchgeführt. Verschiedene Beratungsstellen der Diakonie (4) und anderer Träger in Bayern (3), die diese Maßnahme regelmäßig praktizieren, haben an dieser Untersuchung teilgenommen.

• Erhebung bei Eltern im begleiteten Umgang

Die Eltern wurden im persönlichen Kontakt mit Interviewer/innen nach Abschluss des BU befragt. Der Fragebogen umfasste Bereiche wie: Vorbereitung des BU, das Kind im BU, die begleitenden Beratungsgespräche, Organisation des BU, der andere Elternteil, Entwicklungen nach Abschluss. Insgesamt wurden die Bewertungen und Einschätzungen der Maßnahme im Verlauf und nach Abschluss erhoben. Der Zeitraum der Erhebung liegt zwischen einem bis höchstens 18 Monaten nach Beendigung der Maßnahme. Die Umgangsbegleitung wurde im Zeitraum 03.2002 und 05.2003 durchgeführt. Die Eltern wurden von den Fachkräften in den Einrichtungen auf ihre Bereitschaft zur Teilnahme befragt und im Fall einer Zustimmung wurden die Adressen an uns weitergeleitet, so dass sich die Interviewer/innen mit den Müttern oder Vätern in Verbindung setzen konnten.

Für die Studie war ein Stichprobenumfang von mindestens 50 Elternteilen geplant, zum einen um ein möglichst breites Spektrum von Fällen einzubeziehen und zum anderen um statistisch relevante Aussagen treffen zu können. Dieses Ziel konnte leider trotz intensiven Bemühens der Fachkräfte in den meisten der teilnehmenden Einrichtungen bei weitem nicht erreicht werden. Ausgewertet werden konnten 25 Fragebögen. Der fallbezogene geschätzte Rücklauf liegt zwischen 20 % und 30 %. Berücksichtigen wir beide Elternteile, dann halbiert sich der Rücklauf noch einmal. Diese Zahlen machen deutlich, dass die Elternbefragung nicht über die Qualitätsstufe einer ersten Exploration hinauskommt. Die Ergebnisse verstehen sich daher als ein Diskussionsbeitrag.

• Erhebung bei den Fachkräften des begleiteten Umgangs

Methode und Durchführung: Jeder Berater und jede Beraterin erhielt nach Abschluss des BU einen Fragebogen (Fallerhebungsbogen) zum jeweiligen Fall. Wie schon in den Elternfragebögen, so wurden auch die Fachkräfte nach Vorbereitung, Verlauf, Orga-

nisation und Ergebnis der Umgangsbegleitung befragt. Der Zeitraum der Befragung variiert von einem Monat bis 18 Monaten nach Beendigung der Umgangsbegleitung.

Die Stichprobe umfasst 61 Fälle, bei denen Bewertungen der Fachkraft gegeben wurden. Wir erhielten also zu jedem Fall sowohl Informationen eines Elternteils sowie der den Fall betreuenden Fachkraft in den Beratungsstellen. Damit war es möglich, die Bewertungen der Eltern mit den Bewertungen der verantwortlichen Berater/innen des begleiteten Falls zu vergleichen.

AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Wir stellen an dieser Stelle einige Ergebnisse der Elternbefragung vor, die wir mit wenigen ausgewählten Ergebnissen der Fachkräftebefragung ergänzen. Die Darstellung sämtlicher Ergebnisse der Studie liegt als Forschungsbericht der Fachhochschule und des Diakonischen Werkes Regensburg vor (Buchholz-Graf, W., Brand, E.-M. & Vergho, C. 2004).

Zur Stichprobe: Informationen zu den befragten Eltern

- Den Fragebogen beantworteten 56 % Mütter und 44 % Väter.
- In allen Fällen lebt das Kind bzw. leben die Kinder bei der Mutter. Es waren also ausschließlich Väter, deren Umgang begleitet wurde.
- 65,0 % der Elternteile hatten zum Zeitpunkt der Befragung einen neuen Partner oder eine neue Partnerin.
- Die weitaus meisten Eltern haben „nur“ ein Kind (86,4 %).
- Mehr als die Hälfte (54,6 %) war mit der oder dem ehemaligen Partner/in verheiratet, damit sind die Unverheirateten in der Stichprobe sehr stark vertreten.
- Fast die Hälfte hatte sich bereits vor oder kurz nach der Geburt getrennt (47,6 %).
- Ein Drittel gibt an, dass sich beide Elternteile nach der Trennung „eine zeitlang zusammen um die Erziehung gekümmert haben“, es werden Zeitspannen von zwei Wochen bis zu zwei Jahren angegeben.
- Mehr als die Hälfte (54,5 %) hat einen Schulabschluss von mindestens mittlerer Reife und 95,5 % weisen einen qualifizierten Hauptschulabschluss auf (die Stichprobe dürfte somit in Richtung höherer Bildungsabschlüsse verzerrt sein).
- 80 % sind erwerbstätig (mindestens teilzeitig halbtags), wobei der Unterschied zwischen Männern und Frauen gering ist (bei der Frauen ist häufiger Teilzeitarbeit angegeben).
- 83,3 % der Befragten geben an, dass die Entscheidung zum BU vor Gericht fiel. 16,3 % vereinbarten einen BU durch Beratungsgespräche im Jugendamt oder in Beratungsstellen.

Wie es zum begleiteten Umgang kam

Mutter: „Der begleitete Umgang fand statt aufgrund einer Vereinbarung vor Gericht. Im Nachhinein kann ich die Vereinbarung akzeptieren.“

Der BU kam in 73,8 % der Fälle entweder als Beschluss oder elterliche Vereinbarung vor dem Familiengericht zustande, durch eine „freiwillige Entscheidung beider Eltern“ lediglich in 11,5 % der Fälle. Eine Anordnung durch das Familiengericht ist in dieser Stichprobe (N = 65) bei jedem 3. Fall gegeben. Vermutlich ist es aber auch für die Fachkräfte nicht immer eindeutig feststellbar bzw. rekonstruierbar, ob der BU durch einen Gerichtsbeschluss oder eine entsprechende Vereinbarung der Eltern vor Gericht zustande kam. Vorsicht bei der Interpretation ist also geboten.

Die Vorbereitung auf den begleiteten Umgang

Mit der Anzahl der Vorbereitungsstermine sind sowohl die Müttern als auch die Vätern zufrieden (84 %). Die wenigen Unzufriedenen (16 %) haben sich mehr dieser Vorbereitungen auf den BU gewünscht; d.h. keinem Elternteil erscheinen diese Termine überflüssig. 64% der Eltern bezeichnen die Vorbereitung für das Kind als „hilfreich“ (92 % als zumindest „teilweise hilfreich“). Auch für sich selber erlebten sowohl die Mütter als auch die Väter diese Termine als hilfreich (62,5 % bzw. 83,3 % als zumindest teilweise hilfreich). Die Zahl der sich positiv äussernden Frauen (92,3 %) ist deutlich höher als die der Männer (72,7 %).

Die den BU begleitenden Beratungsgespräche

Mutter: „Ich fühlte mich geschützt durch die Beraterin, d.h. es war sehr hilfreich, dass noch eine dritte Person anwesend war.“

Vater: „Wie bringt man die Mutter zur Beratung, die in einer Verweigerungshaltung beharrt?“

Wie die Vorbereitungsstermine so werden auch die begleitenden Beratungsgespräche voll und ganz akzeptiert und teilweise verstärkt gefordert. Fast 30 % der Eltern wünschen sich mehr davon. Besonders erfreulich ist, dass die begleitende Beratung von vielen als hilfreich eingeschätzt wird. 79,2 % bestätigen den Nutzen dieser Gespräche „ohne Einschränkung“. Sogar gemeinsame Beratungsgespräche werden gefordert (54,2 % der Eltern stimmen „eher“ zu), wobei hier doppelt so viele Männer wie Frauen sich von gemeinsamen Beratungsgesprächen etwas versprechen (63,6 % gegenüber 30,8 %). Die kleine Stichprobe lässt aber nur die Aussage einer Tendenz zu: Männer plädieren eher als Frauen für gemeinsame Beratungsgespräche.

Zur Organisation des begleiteten Umgangs

Die Eltern geben an, dass in fast jedem zweiten Fall Berater/innen und Umgangsbegleiter/innen in Personalunion tätig waren. In 54,2 % der Fälle wurden der begleitete Umgang und die Bera-

tung von verschiedenen Personen durchgeführt. Fast zwei Drittel aller Eltern (62,5 %) bevorzugten die Personalunion, wobei sich dieser Wert vor allem den Müttern verdankt (76,9 % gegenüber 45,5 % der Väter).

Die meisten Eltern hatten männliche Berater (78,3 %). Dieses Ergebnis ist schon erstaunlich, denn die Zahl der weiblichen Beschäftigungen an den Beratungsstellen ist deutlich höher als die der Männer. Werden vielleicht von Fachkräften im begleiteten Umgang eher männliche Verhaltensweisen gewünscht? Bei der Tätigkeit des BU im engeren Sinn kehrt sich dieses Verhältnis zugunsten der Frauen um.

Die Umgangsbegleiter/innen

Mutter: „Die Betreuerin war sehr einfühlsam, nett und natürlich.“

Wir wollten wissen, in welcher Rolle Mütter und Väter die Umgangsbegleiter/innen erleben. Die Tabelle zeigt die Reihenfolge der Nennungen getrennt bei Müttern und Vätern. Mütter sehen (und erwarten?) von den Umgangsbegleiter/innen vorrangig Aufgaben der Kontrolle. Unterstützende und helfende Aufgaben werden erst ab dem 4. Rang genannt. Ganz anders die Väter, die im Umgangsbegleiter den Unterstützer sehen. Die Reihung bei den Müttern hat möglicherweise mit Erfahrungen und Ängsten in der Vergangenheit zu tun, und konsequenterweise erwarten sie von Umgangsbegleiter/innen zu allererst den Schutz des Kindes. In den Vorbereitungsgesprächen müssten die unterschiedlichen Erwartungen entsprechend berücksichtigt werden.

Rang	Mütter	Rang	Väter
1	Aufpasser/in	1	Unterstützer/in
2	Kontrollperson	2	Kontakthelfer/in
3	Bewerter/in, Gutachter/in	3	Bewerter/in, Gutachter/in
4	Unterstützer/in	4	Kontrollperson
5	Kontakthelfer/in	5	Aufpasser/in
6	Erziehungshelfer/in	6	Erziehungshelfer/in

Tab. 1: Welche Rollen und Aufgaben sehen die Eltern in der Umgangsbegleitung

Die Eltern geben den Umgangsbegleiter/innen gute Noten für ihre Tätigkeit im BU.

- 75,5 % der Eltern bewerten die Arbeit im BU „eher positiv“ (die Unterschiede zwischen Müttern und Vätern sind gering)

Das Ergebnis ist eine Zusammenfassung unterschiedlicher Items („konnte sich in mein Kind einfühlen“, „Kind war bei Umgangsbegleiter/in geschützt“, „ging auf die Bedürfnisse meines Kindes ein“, „er hat dem Kind gegenüber weder Mutter noch Vater bevorzugt“). Die Eltern konnten diesen Items zustimmen oder diese ablehnen. Der Wert von 75,5 % zeigt eine hohe durchschnittliche Zustim-

mung und gibt damit den Umgangsbegleiter/innen im Umgang mit den Kindern gute Noten. Der Aussage „Die/ der Umgangsbegleiter/in hat dem Kind gegenüber weder den Vater noch mich bevorzugt“ stimmen insgesamt 70,8 % der Eltern zu.

Das Kind im begleiteten Umgang

Mutter: „Mein Kind hat das Gefühl des Ausgeliefertseins, der Wille des Kindes hat keine Bedeutung.“

Vater: „Es (das Kind) hat sich der Macht der Mutter untergeordnet. Es hat die Sachlage nicht verstanden. Meine zwei Kinder sind durch den BU krank und verstört geworden!“

Mütter und Väter bewerten das Erleben des Kindes im BU sehr unterschiedlich. Nur wenige Väter sehen Belastungen, die der BU ausgelöst hat. Im Unterschied zu den Müttern (58,3 %) sieht nur jeder 10. Vater negative Folgen für das Kind. Natürlich sind diese Angaben auch interessensgeleitet. Dass aber fast alle Mütter Angaben zu diesen Belastungen für ihr Kind gemacht haben und diese auch konkret benennen, spricht allerdings für eine realitätsnahe Angabe. Und trotz der wahrgenommenen Belastungen beim Kind stimmt jede zweite Mutter der Äußerung zu, dass für das Kind der BU eine wichtige Erfahrung war.

Die Unterschiede zwischen Müttern und Vätern sind auch deutlich (stat. sehr signifikant), wenn nach Problemen gefragt wird, die durch den BU beim Kind entstanden sind.

- 84,6 % der Mütter benennen Belastungen und Probleme. Immerhin sehen auch
- 27,3 % der Väter diese Probleme beim Kind und weitere 27,3 % sagen „das ist mir nicht bekannt“

Wenn auch die Angaben der Eltern als an jeweils diametral entgegen gesetzte Interessen gebunden anzusehen sind, so zeigen auch hier die sehr detaillierten Angaben der Mütter zu den Problemen ihrer Kinder, dass sich die Mütter die Beantwortung der Fragen nicht leicht gemacht haben. Übrigens ist die Zahl der Mütter, die Probleme bei ihren Kindern sehen, nach dem BU sogar noch größer geworden (von 76,9 % vor dem BU auf 84,6 % nachher). Aber der begleitete Umgang hat nicht nur Probleme ausgelöst, sondern in vielen Fällen Freude und Neugier auf den Vater:

- „Freude auf den Vater“ 75,0% stimmen zu („trifft eher zu“)
- „Neugier auf den Vater“ 65,2 % stimmen zu („trifft eher zu“)

Wenn auch die Väter deutlich mehr zustimmen, so stimmt doch etwa jede zweite Mutter ebenfalls diesen Aussagen zu (53,9 % und 46,2%). Das Ergebnis zeigt ebenfalls, dass die Mütter doch sehr differenziert antworten, und ihr Antwortverhalten stellt keineswegs eine schlichte Ablehnung positiver Aspekte zwischen Vater und Kind dar.

Die Eltern im begleiteten Umgang

Die Umgangsbegleiter/innen erhalten auch im Umgang mit den Eltern selbst recht gute Noten. Fast 80 % der Elternteile „hatten Vertrauen zu meinen Umgangsbegleiter/innen“. Es gab zwar Unterschiede zwischen Müttern und Vätern, aber auch die Zustimmung der Mütter war mit ca. 70 % hoch.

Allerdings attestieren 46,1 % der Mütter den Umgangsbegleiter/innen Parteilichkeit im Unterschied zu 27,3 % der Väter.

Den begleiteten Umgang erleben Mütter und Väter sehr unterschiedlich: Für 3 von 4 Vätern ist der BU keine Belastung. Für sie

	Zustimmung Eltern insgesamt	Zustimmung Mütter	Zustimmung Väter
Für mein Kind war der BU eine Belastung	33,3 %	53,9 %*	9,1 %
Für mein Kind war der BU wichtige Erfahrung	58,3 %	46,2 %	72,7 %
Für mein Kind und seine Entwicklung war der BU vorteilhaft	50,0 %	30,8 %*	72,7 %

* statistisch signifikant (nach Fisher-Yates)

Tab.2: Wie das Kind den begleiteten Umgang erlebt hat

Zustimmung („trifft zu“ und „trifft eher zu“)	Mütter	Väter	Eltern insgesamt
Für mich war der BU eine Belastung	75,0 %*	27,3 %	52,2 %
Für mich war der BU wichtige Erfahrung	25,0 %*	72,7 %	47,8 %
Für mich und meine Zukunft war der BU vorteilhaft	33,3 %*	81,8 %	56,5 %

* statistisch signifikant (Chi-Quadrat nach Pearson)

** statistisch signifikant (Fisher-Yates)

Tab.3: Wie Mütter und Väter den Umgang erlebt haben

ist der BU eine wichtige Erfahrung und sie sehen Vorteile für ihre Zukunft. Für die Mütter kehrt sich dieses Ergebnis um: 75 % sagen, dass sie der BU belastet.

Übrigens sind die Ergebnisse aus der Fachkräftebefragung ein Spiegelbild der Elternbefragung. So geben die Fachkräftebefragung den Eltern ähnlich gute Noten für deren Kooperation im BU. Als zumindest „befriedigend“ wird in fast 80 % der Fälle die Kooperation der Väter eingeschätzt. Aber auch die Mütter erhalten mit 72,4 % gute Bewertungen.

Wie Eltern den begleiteten Umgang insgesamt bewerten

Vater: „Durch die lange Zeitdauer wurde mir mein Kind noch mehr entfremdet. Der Umgangsboykott der Mutter wurde noch stärker manifestiert. Berater waren zu soft!“

Mutter: „Kann nur gelingen, wenn ein Vater auch sein Kind liebt und es annehmen will.“

Nur jeder dritte Elternteil bezeichnet die Veränderungen, die der BU für die Beteiligten erbracht hat, als zufriedenstellend. Mütter stimmen dieser Äußerung („trifft zu“) in keinem (!) Fall zu, Väter dagegen zu 72,7 %. Übrigens ergab unsere Fachkräfteerhebung nahezu denselben Wert: In 72,1 % der Fälle wurde der BU von den Professionellen als zumindest ausreichend im Gesamtergebnis bewertet.

Die vergleichsweise hohe Zufriedenheit der Väter erklären wir damit, dass der Kontakt - und sei es nur unter Begleitung - von den Vätern als eine im Vergleich zur vorherigen Situation zufrieden stellende Situation angesehen wird, wohingegen in den meisten Fällen Mütter

für sich und das Kind eine Verschlechterung ihrer Situation wahrnehmen und für die Zukunft befürchten. Dennoch sehen Mütter in vielen Fällen im BU einen gute Möglichkeit (Item 7). Mütter differenzieren also zwischen der grundsätzlichen Einschätzung der Maßnahme (und der Beratungsstelle) und ihrer Situation im konkreten Fall. Nicht der BU ist die falsche Methode, sondern der Vater „taugt einfach nicht dazu“ oder wie eine andere Mutter es formuliert „der BU ist eine sinnvolle Methode für andere Menschen, aber nicht für mich!“

Das positive Votum für den begleiteten Umgang als Maßnahme insgesamt wird auch darin deutlich, dass Mütter und Väter nicht nur den BU weiterempfehlen, sondern in der Mehrheit sich wieder auf diese Situation einlassen würden.

Was der begleitete Umgang im konkreten Fall erbracht hat

• Keine Verbesserung der Elternbeziehung

Mutter: „Er macht so weiter wie er aufgehört hat!“

Vater: „Ich will nur eins, meinen Sohn endlich einmal sehen können, auch am Wochenende. Die Mutter schafft es immer wieder, dass ich mein Kind nicht sehen darf.“

Mutter: „Gilt nur für mich (die Ablehnung des BU), für andere mag der BU eine gute Lösung sein!“

Wenn man sich die Beziehung der Eltern anschaut, so ist das Ergebnis trostlos. Waren die Bewertungen, wenn es um das Kind ging, zwischen den Eltergruppen sehr unterschiedlich, so sind sich in der schlechten Beurteilung des jeweils anderen Mütter und Väter vergleichsweise einig. Zwar sieht noch fast jeder dritte Vater eine leichte

	Zustimmung Eltern insgesamt	Zustimmung Mütter	Zustimmung Väter
(1) Ich bin mit den Veränderungen, die der BU für Mutter/ Vater, Kind und mich gebracht hat, zufrieden	33,3% (45,8%) ¹	0% (15,4%)*	72,7% (81,8%)
(2) Ich habe einen guten Eindruck von der Beratungsstelle	66,7% (79,2%)	69,2% (84,6%)	63,6 % (72,7%)
(3) Ich war mit der/dem Umgangsbegleiter/in zufrieden	65,2% (82,6%)	58,3% (75,0%)	72,7% (90,9%)
(4) Ich war mit der/dem Berater/in zufrieden	65,2% (73,9%)	66,6% (75,0%)	63,6% (72,7%)
(5) Ich würde den BU weiterempfehlen	75,0% (83,3%)	69,2% (84,6%)	63,6% (81,85)
(6) Aufgrund meiner Erfahrungen würde ich mich heute wieder auf den BU einlassen	65,2% (78,3%)	69,2% (76,9%)	60,0% (80,0%)
(7) Heute sehe ich den BU als sinnvolle Möglichkeit bei Umgangsproblemen an	58,3% (75,0%)	61,5% (69,2%)	54,5% (81,8%)

¹ Die Zahl in Klammer umfasst die Personen, die sowohl „trifft zu“ als auch „trifft teilweise zu“ angekreuzt haben.

* statistisch sehr signifikant (Chi-Quadrat)

Tab.4: Wie Mütter und Väter den BU insgesamt bewerten

	Zustimmung Mütter	Zustimmung Väter	Zustimmung Eltern insgesamt
Der BU hat unsere Beziehung zueinander verbessert	0 %	27,2%	12,5%
Auf Absprachen kann ich mich nicht verlassen	72,7%	72,7%	72,7%
Gespräch über Organisatorisches sind nicht möglich	83,3%	81,8%	82,6%
Gespräche über Erziehungsthemen sind nicht möglich	91,7%	72,7%	82,6%

Tab.5: Wie Mütter und Väter ihre Beziehung nach Abschluss des BU sehen

Verbesserung der Beziehung („trifft eher zu“). Aber Gespräche und Absprachen untereinander werden von beiden Elterngruppen als ausgesprochen schlecht eingeschätzt. Ergänzen müssen wir, dass fast alle Eltern in diesen Items zu extremen Bewertungen neigen („trifft völlig zu“). Die Bewertung „trifft eher zu“ kam nur sehr vereinzelt vor.

In fast jedem zweiten Fall haben die Elternteile nach dem BU Kontakt (47,8 % gegenüber 29,2% vor dem BU). Die Steigerung dieser Kontakte durch den BU ist doch als sehr bescheiden einzuschätzen, zumal die Treffen mit dem Kind ein Minimum an Absprachen notwendig machen.

- Die Mütter sehen die Väter in der Väterrolle auch nach Abschluss des BU negativ

Mutter: „Er ist für sich und seine Bedürfnisse engagiert und benutzt dazu sein Kind. Er ist weniger als Vater im eigentlichen Sinne engagiert!“

Es wurde der Zustimmungsgang der Mütter zu verschiedenen Aussagen erhoben wie „Der Vater ist für die Entwicklung meines Kindes wichtig“, „Er ist ein einfühlsamer Vater“, „Er ist ein engagierter Vater“, „Er ist ein zuverlässiger Vater“. Wegen der kleinen Fallzahlen haben wir alle positiven Äußerungen über die Väter zusammengefasst. Von allen Wertungen der Mütter sind 91 % negativ. Wir nehmen an, dass die Mütter die negativen Erfahrungen in der Vergangenheit auch nach dem BU in die Zukunft projizieren. Die Väter dagegen gehen den Müttern in ihrer Mütterrolle überwiegend positive Bewertungen (66 %). Das spricht dafür, dass auch Väter trotz aller negativen Emotionen offenbar versuchen, differenziert zu urteilen.

- Der Kontakt zwischen Vätern und Kindern wurde in vielen Fällen angebahnt

Mutter: „...weil es für mein Kind positiv ist, dass es weiß wer sein Vater ist.“

Mutter: „...das z.B. 5-6 Umgangskontakte nicht zeigen können, dass es nach Abschluss der Maßnahme besser wird, daher bleibt alles wie bisher.“

Da in vielen Fällen ein regelmäßiger Kontakt zwischen den Kindern und Vätern eine zentrale Zielsetzung im BU ist, haben wir die Väter nach der Kontakthäufigkeit befragt: 70 % der Väter haben nach Abschluss des BU Kontakt zum Kind, wobei die Treffen mindestens 1-2 mal monatlich stattfinden.

- Einschätzungen der Fachkräfte entsprechen denen der Väter
- Da wir sowohl die Elternteile als auch die sie betreuenden Fachkräfte nach ihren Einschätzungen des Ergebnisses nach Ablauf des BU befragt haben, bietet sich ein Vergleich dieser Einschätzungen an. Urteilen die Eltern ähnlich wie die Fachkräfte? Gibt es einen Zusammenhang zwischen den Urteilen der Mütter und denen der Väter und entsprechen die Einschätzungen der Fachkräfte eher denen der Mütter oder denen der Väter?

Es besteht eine nur schwache Korrelation zwischen dem Urteil der Eltern und dem der Fachkräfte. Wir müssen annehmen, dass die Kriterien, nach denen bewertet wird, bei den Eltern andere als bei den Fachkräften sind.

Ein deutlicher (statistisch signifikanter) Zusammenhang ergibt sich allerdings zwischen den Einschätzungen der Fachkräfte und denen der Väter: Fachkräfte schätzen also den Erfolg ähnlich wie die Väter ein. Völlig anders verhalten sich dagegen die Urteile der Fachkräfte zu denen der Mütter. Hier handelt es sich um eine negative Korrelation: Wenn Fachkräfte den Fall z.B. positiv einschätzen, tendieren die Mütter dazu, diesen negativ zu bewerten. Offenbar gelingt es im BU nur sehr unzureichend, den Müttern einen „persönlichen Gewinn“ für die Kinder und für sich selbst durch die Vater-Kind-Kontakte zu vermitteln.

Betrachten wir die Fälle, bei denen sowohl Väter als auch Mütter den Ausgang des BU bewertet haben, so ergibt sich eine mittlere negative Korrelation zwischen den Urteilen der Elternteile. Dieses Ergebnis zeigt, dass Mütter und Väter zu polarisierenden Bewertungen neigen: Je eher der eine Elternteil einen positiven Ausgang sieht, desto eher sieht der andere einen negativen. Das Ziel, zumindest ansatzweise eine Annäherung zwischen den Elternteilen zu erreichen, scheint weit entfernt.

Die wichtigsten Ergebnisse im Überblick

- (1) Die Fachkräfte und die Beratungsstellen werden von den Eltern und zwar von Müttern und Vätern durchweg „gut“ bewertet. Umgekehrt geben auch die Fachkräfte sowohl Vätern als auch Müttern für Kooperation und Gesprächsbereitschaft in den meisten Fällen gute Bewertungen.
- (2) Die Einstellung zum begleiteten Umgang als Maßnahme der Jugendhilfe hat sich im Verlauf des BU bei beiden Elternteilen sehr zum Positiven entwickelt. Die meisten Eltern würden den BU weiterempfehlen und sich wieder auf einen BU einlassen.
- (3) Demgegenüber ist eine Zufriedenheit der Eltern mit dem Ergebnis des BU in ihrem Fall eher selten gegeben. Nur jeder dritte Elternteil äußert Zufriedenheit.
- (4) Unter den Elternteilen, die mit dem Ergebnis zufrieden sind, befinden sich ausschließlich die den Umgang suchenden Väter (72,7%) und keine (!) der Mütter.
- (5) Mütter lasten ihre Unzufriedenheit mit dem Ergebnis des BU den Vätern an (und nicht der Maßnahme oder den Fachkräften).
- (6) Die Fachkräfte schätzen das Ergebnis nach Abschluss des BU in ähnlich großer Zahl wie die Väter (72,1) zumindest als „ausreichend“ ein. Ihre Einschätzung korreliert mit der der Väter und nicht bzw. leicht negativ mit der der Mütter.
- (7) Positive Ergebnisse des BU auf die Beziehung der Eltern sind nicht vorhanden, und Mütter und Väter sind sich in der schlechten Beurteilung des jeweils anderen vergleichsweise einig.
- (8) Nach dem BU haben 70 % der Väter mindestens 1-2mal im Monat Kontakt zu ihrem Kind.

FRAGEN UND ANREGUNGEN – DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Auch wenn der begleitete Umgang (BU) als Maßnahme grundsätzlich akzeptiert ist und die beteiligten Fachkräfte in der vorliegenden Untersuchung dafür gute Noten bekamen, so gibt es doch mit Verlauf und Ergebnis im jeweiligen Einzelfall bei den betroffenen Eltern deutlich weniger Zufriedenheit. Stehen zeitlicher und psychischer Aufwand sowohl der Fachkräfte als auch der Familienmitglieder in einem vertretbaren Verhältnis zu Sinn und Nutzen der Maßnahme, also zum Kindes- bzw. Familienwohl?

Drei Ergebnisse fordern zu besonderem Nachdenken zumindest über Veränderungen und Verbesserungen beim BU auf:

Die unzufriedenen und skeptischen Mütter

Die Zufriedenheit jedes dritten Elternteils mit den Ergebnissen des BU verdankt sich überwiegend den insgesamt 72 % zufriedener Väter. Mütter sehen dagegen vorrangig Belastungen und Probleme für ihre Kinder, während Väter eher eine positive Entwicklung ihrer Beziehung zum Kind durch den BU erleben. Auch haben

Mütter weit weniger das Gefühl, den BU aktiv mitgestalten zu können im Vergleich zu Vätern. Mütter erleben deutlich stärker als Väter den Umgangsbegleiter tendenziell parteilich. So gesehen ist es nicht verwunderlich, dass nicht eine einzige Mutter mit den „Veränderungen, die der begleitete Umgang gebracht hat“ uneingeschränkt zufrieden ist. Mütter erleben den BU für sich selbst auch überwiegend als Belastung (siehe Tab. 3).

Ist der begleitete Umgang grundsätzlich eher eine väterfreundliche Maßnahme? Müssen die Umgangsbegleiter/innen nicht zwangsläufig von den Müttern eher als „Verbündete väterlicher Interessen“ erlebt und somit kritisch bewertet werden, ganz gleich, wie gut sie sich um das Kindeswohl oder um Allparteilichkeit bemühen? Sind Umgangsbegleiter/innen vielleicht wirklich stärker mit den väterlichen Anliegen und Bedürfnissen identifiziert, schon allein deshalb, weil der gerichtliche Auftrag heißt, Kontakt zum Vater herzustellen? Oder werten sie zu stark den Vollzug eines BU dem Gericht oder dem Jugendamt gegenüber als eigenen Erfolg und sehen somit oft zuwenig die auftretenden Belastungen für Kinder, die v. a. Mütter im Blick haben? Haben Umgangsbegleiter/innen überhaupt eine Chance, Mütter für eine positive Einstellung und Mitarbeit zum BU zu gewinnen?

Sicher sind zunächst die Väter gefordert, im Rahmen eines BU z.B. durch Zuverlässigkeit und kindgerecht-verständnisvolles Verhalten bestehende Skepsis oder Abwehr der Maßnahme gegenüber bei Müttern zu verändern. Es gibt in der Tat viele nachvollziehbare Befürchtungen und Sorgen: Mütter zweifeln an einer echten, väterlichen Motivation, befürchten Belastungen für das Kind wegen früherer traumatischer Erfahrungen mit dem Vater, oder durch ein unsensibles väterliches Verhalten dem Kind gegenüber während der Maßnahme. Deswegen ist es grundsätzlich hilfreich, solchen Befürchtungen in den Vorbereitungsgesprächen mit Müttern viel Platz einzuräumen und gemeinsam mit ihnen nach präventiven Strategien zur Vermeidung negativer Auswirkungen eines BU zu suchen. Auf keinen Fall sollte die Maßnahme vom Umgangsbegleiter bzw. -begleiterin den Müttern gegenüber idealisiert oder ein positiver Ausgang versprochen werden. Mütter fühlen sich vermutlich sicherer, wenn auch die Umgangsbegleiter/-in ihrerseits mögliche Risiken oder Nebenwirkungen eines BU thematisieren, oder wenn sie einen möglichen Abbruch bei zu starken Belastungen für das Kind in Aussicht stellen.

Beide Elternteile sollten zu Beginn eines BU auch explizit Anerkennung bekommen: Väter für ihre Bereitschaft, sich an einem fremden Ort in Anwesenheit einer fremden Person unter Beobachtungsbedingungen mit ihrem Kind zu treffen und damit auf Privatsphäre zu verzichten, und Mütter für das Zurückstellen eigener Bedenken und damit für das Eröffnen einer Chance für Väter, den Kontakt zum gemeinsamen Kind wieder herzustellen oder aufzubauen.

Auch die zumindest anfängliche Anwesenheit von Müttern, gerade bei kleineren Kindern, sollte vom Umgangsbegleiter/in angeboten bzw. abgewogen werden, um entsprechenden mütterlichen Schutz- und Sicherheitsbedürfnissen Rechnung zu tragen. Auch so genannte „Zwischendurchgespräche“ für alle Beteiligten vermitteln ein Gefühl von Mitwirkung. Fast alle Eltern gaben an, dass es für die Kinder keine weiteren, unterstützenden Angebote während des BU gab. Die Mitwirkung der Eltern gilt auch und selbstverständlich für die zeitliche Ausgestaltung des BU, die auf private, familiäre und berufliche Situation von häufig alleinerziehenden Müttern Rücksicht nehmen soll.

Ein paar Beispiele für hilfreiche und vertrauensbildende Fragestellungen an Mütter könnten dabei sein:

- „Welche Informationen oder Hinweise über Ihr Kind können Sie mir geben, damit ich ein guter und hilfreicher Kontaktbegleiter/in sein kann und sich Ihr Kind beim Zusammentreffen mit dem Vater einigermaßen sicher und wohl fühlt?“
- „Wie und womit kann der Vater Sie als Mutter überzeugen, dass er es in seinem Bemühen um Kontakt zum Kind ernst meint und vielleicht in seiner väterlichen Kompetenz etwas dazu gelernt hat?“
- „Was brauchen Sie als Mutter während der Zeit, in der Ihr Kind mit dem Vater zusammen ist?“

Kann der begleitete Umgang ohne elterliche Beziehungsverbesserung gelingen?

Auch wenn sich Väter und Mütter in der Bewertung uneins sind, so stimmen sie doch darin überein, dass sich ihre Beziehung zueinander während bzw. durch den BU – auch wenn er durch parallele Beratungsgespräche flankiert wurde – kaum verbessert hat. Von einer wünschenswerten „kooperativen Elternschaft“ sind sie also weit entfernt. Meist reicht es nicht einmal zu einer einigermaßen friedlichen „parallelen Elternschaft“. Eltern befinden sich während der Maßnahme häufig in einem chronifizierten „Rosenkrieg“, der nach Abschluss der Maßnahme oft unverändert bleibt.

Der Feststellung „Der begleitete Umgang hat unsere Beziehung zueinander verbessert“ hat keine Mutter zugestimmt (siehe Tab. 5) und nur ein Viertel der Väter. Auch die Fachkräfte sehen eine Verbesserung der Beziehungen der Eltern nach Beendigung der Maßnahme höchstens in einem Drittel der Fälle. Fast alle Mütter geben an, dass „Gespräche über Erziehungsthemen nicht möglich sind“, und die überwiegende Anzahl der Väter sieht dies ebenso. Man könne sich auf Absprachen kaum verlassen und „Gespräche über Organisatorisches sind kaum möglich“ bestätigen beide Elternteile. Dementsprechend negativ fällt auch die gegenseitige elterliche Wertschätzung aus, wenngleich die Väter sich deutlich positiver über Mütter und Mutterrolle äußern als umgekehrt. Mütter beklagen sich über Unzuverlässigkeit, Vergnügungssucht, Scheinheiligkeit der Väter, und Väter sehen in Müttern Umgangsboykotteure,

die ihnen bewusst Kinder entfremden, sie demütigen und schikaniazen wollen (siehe auch Kasten am Anfang des Textes).

Alberstötter beschreibt in seinem Artikel drei Stufen eskalierter Elternkonflikte, wie sie auch während des BU zu beobachten sind (Alberstötter; 2004):

- Stufe 1: „Zeitweilig gegeneinander gerichtetes Reden und Tun“
- Stufe 2: „Verletzendes Agieren und Ausweitung des Konfliktfeldes“
- Stufe 3: „Beziehungskrieg, der Kampf um jeden Preis“

Der Gerichtsbeschluss zu einem BU ist meist ein sicheres Indiz für höchstes Konfliktniveau. Und tatsächlich haben sich bei den beteiligten Eltern oft schon chronifizierte Gefühle von Verzweiflung und Hass entwickelt, verbunden mit starker gegenseitiger Ablehnung. Direkte Begegnungen werden vermieden. Das Bedürfnis nach Rache (bzw. nach Gerechtigkeit) steht im Vordergrund. Dem anderen Elternteil werden oft „unmenschliche Züge“ zugeschrieben. Verdächtigungen stehen im Raum. Und die Kinder werden oft unbewusst instrumentalisiert und in ihren Bedürfnissen nicht mehr ausreichend wahrgenommen.

Die Untersuchungsergebnisse von Reinhold belegen, dass ein BU einen ungünstigen Verlauf v. a. bei hohem elterlichem Konfliktniveau nimmt. Dies führt zwangsläufig zu Belastungen für das Kind, die wiederum eine Kontaktverweigerung nach sich ziehen, die ihrerseits zu einer weiteren Konfliktverschärfung zwischen den Eltern führen kann (Reinhold, 2004).

Die negativen Befragungsergebnisse unserer Studie im Hinblick auf eine elterliche Beziehungsverbesserung erklärt sich zum Teil auch durch die besondere Stichprobe (siehe Kasten „zur Stichprobe“): Knapp die Hälfte davon waren unverheiratete Paare, bei denen es noch wenig (positive) Erfahrungen mit Elternschaft gab. Ebenso hatte sich fast die Hälfte aller Eltern bereits kurz vor oder nach der Geburt getrennt. Und in der Gruppe der hochstrittigen Eltern gibt es meist überproportional viele Gewalterfahrungen oder Missbrauchsverdächtigungen. Möglicherweise wurde auch das einschlägige Item, das nach einer verbesserten „Beziehung“ fragte, unterschiedlich verstanden und beantwortet. Und vielleicht hat auch manche Mutter eine Beziehungsverbesserung während des BU deswegen nicht wahrgenommen, weil sie dadurch ihren Anspruch auf das alleinige Sorgerecht vor Gericht gefährdet sah. Trotzdem ist davon auszugehen, dass positive Entwicklungen auf der Elternebene durch einen BU so gut wie nicht erlebt wurden.

Sicher will der BU vorrangig dem Schutz und Wohl des Kindes dienen und nicht so sehr der Durchsetzung väterlicher Rechte um jeden Preis. Er sollte aber – falls nötig – zu einer verbesserten Vater-Kind-Beziehung ebenso beitragen wie zur Deeskalation elterlicher Konflikte und somit vertrauensbildend zwischen den Eltern wirken. Den viel zitierten Wunsch für eine Trennung „Eltern bleiben Eltern“ scheint der BU wenig zu unterstützen.

Macht aber ein BU überhaupt Sinn und ist sein beträchtlicher Aufwand gerechtfertigt, wenn Eltern nach Beendigung der Maßnahme unverändert ihre Konflikte offen oder verdeckt austragen? Wie kann längerfristig überhaupt ein wünschenswerter unbegleiteter Umgang funktionieren, wenn die Eltern ihre Kommunikation nicht verbessern und ihr gegenseitiges Verständnis nicht vertieft haben? Sollen Fachkräfte ihre Zeit und Energie für das nahezu aussichtslose Ziel einer elterlichen Beziehungsverbesserung überhaupt investieren? Kann man dafür überhaupt einen „Auftrag“ von beiden Eltern bekommen, denen meist mehr nach Kampf als nach Verständnis oder gar Versöhnung zumute ist? Ist eine Verbesserung der Elternbeziehung in der „heißen Phase“ elterlicher Konflikte überhaupt möglich? Bzw. wann wäre ein besserer Zeitpunkt dafür? Kann Beziehungsarbeit im Zwangskontext eines BU überhaupt funktionieren? Oder fehlt den Fachkräften ganz einfach das nötige Instrumentarium dafür? Möglicherweise scheuen die Fachkräfte mehr oder weniger aussichtslose Versuche zur elterlichen Beziehungsverbesserung und konzentrieren ihre Kräfte auf das Zustandekommen des Vater-Kind-Kontakts, weil dies ein sichtbarer Erfolg ist als subtile Veränderungen auf der Beziehungsebene. Oft riskieren Umgangsbegleiter/innen keinen gemeinsamen „Gesprächstisch“ für Eltern, weil dort unnötigerweise noch mehr „Beziehungssporzellan“ zerschlagen werden könnte. Gelegentlich sind Umgangsbegleiter/innen selbst in das höchst aggressiv-konfliktvolle Geschehen zu verstrickt, um deeskalierend wirken zu können.

Immerhin fanden knapp ein Drittel der Mütter und doppelt so viele Väter grundsätzlich die „Möglichkeit gut, mit dem anderen Elternteil gemeinsame Beratungsgespräche während des BU zu führen“. Begleitende Beratungsgespräche werden zwar grundsätzlich gewünscht, allerdings weniger gemeinsam mit dem anderen Elternteil. Sollte man also Eltern stärker zu ihrem „Kommunikationsglück“ zwingen, z.B. mit der Auflage bzw. Vorbedingung paralleler Beratungsgespräche? Sind in vielen Fällen gemeinsame Gespräche nicht geradezu kontraindiziert und ein beraterischer Kunstfehler, der das Zustandekommen des BU gefährdet? Ist es also sinnvoll oder notwendig, die elterliche Beziehung zu verbessern oder reicht es nicht aus, gute Rahmenbedingungen für den Kontakt von Vater zu Kind zu ermöglichen? Hat nicht ein einigermaßen ruhiger Verlauf der Maßnahme auf Eltern eine viel deeskalierendere Wirkung als aufgeregte, gemeinsame Gespräche? Überfordern sich die Umgangsbegleiter/innen nicht unnötig mit dem Versuch der Beziehungsverbesserung?

Zumindest sollte in den Vorbereitungsterminen auf einen BU die Konfliktstärke der Eltern genauer abgeklärt werden, um ein mögliches belastendes und frustrierendes Scheitern besser abschätzen zu können. Tatsächlich verlaufen viele BU für Eltern zwischen „Demütigung“ und „Triumph“, wie es Alberstötter (2003) formuliert.

Was können die Berater/innen dazu beitragen, dass sich beide Gefühlszustände in Grenzen halten bzw. die elterliche Logik durchbrochen wird „Wie Du mir, so ich Dir!“? Er schlägt deswegen bei hochstrittigen Eltern ein lösungsorientiertes und zum Teil paradoxes Vorgehen vor, verbunden mit Kontrolle und Grenzsetzung. So sollte die Umgangsbegleiter/innen z.B. immer dann dem Gericht einen Schlichtungsvorschlag ihrerseits vorlegen, wenn Eltern sich endlos streiten. Der Autor meint, dass „Beziehungskriege“ eben eigene „Gesetze“ des Vorgehens erfordern. Fehlende oder unklare Regeln für den BU bzw. das Ausbleiben von angekündigten Sanktionen setzen meist einen „Kriegszustand“ fort und laden die Beteiligten zu weiteren Grenzüberschreitungen ein. Vertrauensbildende Maßnahmen dagegen können „Verträge auf Gegenseitigkeit“, das „Suchen nach Minibiotopen“ oder die „Arbeit mit dem Schatten“ sein. Auch Spindler (2003) empfiehlt bei konflikthafter Trennung ein zielorientiertes Vorgehen mit direktiven Elementen. Praxis und Forschung sollten gemeinsam einen möglichst konkreten Katalog von Risikofaktoren für das Gelingen eines BU entwickeln. Damit verbunden ist die grundsätzliche Klärung der „fachliche Hoheit“ über die Maßnahme: Wer entscheidet letztlich über die Angemessenheit, über Durchführungsmodalitäten oder Rahmenbedingungen? Kann also eine Fachkraft, die ja häufig als Teil der Jugendhilfe tätig ist, de facto einen richterlichen Beschluss außer Kraft setzen, wenn sie ihn nicht mehr verantworten kann? Hier ist vor allem eine enge Kooperation und Absprache zwischen Familiengericht, Jugendamt und Maßnahmeträger wünschenswert. Eine gründliche Eingangs- und Beobachtungsdiagnostik kann unnötige Belastungen für das Kind und die beteiligten Familienmitglieder vermeiden. Ansätze dazu gibt es in den Beobachtungsskalen für das „Ausmaß der erkennbaren Belastungen des Kindes“ oder das „Vermeidungsverhalten des Kindes“, wie sie bei Reinhold (2004) beschrieben sind.

Übersehen Väter die Belastung ihrer Kinder beim begleiteten Umgang?

Eine häufige Beobachtung von Umgangsbegleiter/innen bestätigt ein wesentliches Ergebnis der Untersuchung: Väter sind oft mehr mit der Durchsetzung ihrer Umgangsrechte beschäftigt als sie sensibel für die besondere Situation und die Bedürfnisse ihrer Kinder sind. Das Item „Für mein Kind war der begleitete Umgang eine Belastung“ bejahten gut die Hälfte der Mütter, dagegen ganz wenige Väter (s. Tab. 2). Während Mütter möglicherweise eine gewisse Überbereitschaft in der Wahrnehmung von Problemen durch den BU haben, scheinen Väter hier eher eine von ihren Interessen gesteuerte Wahrnehmungsabwehr gegenüber kindlichen Belastungen zu haben. Die Einschätzung der Fachkräfte dazu liegt dazwischen. Väter gehen auch deutlich weniger problembewusst und etwas „blauäugig“ für mögliche Belastungen ihrer Kinder in den BU.

Die Untersuchung von Reinhold weist ebenso auf eine geringe Sensibilität und Kompetenz von Vätern hin. Dort wurde das „Ausmaß der erkennbaren Belastungen des Kindes“ im Verlauf des BU mit einer fünfstufigen Skala erfasst. Ebenso beobachtet wurde die väterliche „Unterstützung und Wertschätzung“ für das Kind und die „Spielfeinfühligkeit in einer unstrukturierten Spielsituation“. Die einschlägigen Ergebnisse sind nicht gerade ermutigend: Väter, die zu Beginn der Umgangskontakte wenig feinfühlig und unterstützend waren, blieben dies meist auch im weiteren Verlauf. Geringe väterliche Sensibilität wiederum bedeutet für Kinder mehr Belastung. Und belastete Kinder ihrerseits werden den Kontakt zu ihrem Vater stärker vermeiden. So jedenfalls die Zusammenhänge, wie sie in dieser Untersuchung aufgezeigt wurden. Weiterhin scheint auch nur ein tendenzieller Zusammenhang von väterlicher Spielfeinfühligkeit zur Anzahl der parallelen Beratungsgespräche zum BU zu bestehen. Gespräche scheinen väterliche Kompetenzen wie Wertschätzung, Unterstützung oder Spielfeinfühligkeit für Kinder wenig zu verbessern.

Sicher lässt die besondere Situation eines BU, die gekennzeichnet ist durch ein subjektives Gefühl von Kontrolle, Beobachtung oder Bewertung, nicht gerade viel Spielraum für Sensibilität oder unterstützende Wertschätzung. Zumindest gilt dies für viele Väter. Kann man im Rahmen einer „Zwangmaßnahme“ überhaupt Kompetenz und Sensibilität von Vätern fördern, wenn die Berater/innen dafür gar keinen entsprechenden Auftrag haben? Die Hauptfunktion des BU ist zunächst der Schutz und das Wohl des Kindes. Überfordern sich demnach die Umgangsbegleiter/innen nicht, wenn sie zudem auch noch väterliche Kompetenzen erweitern wollen?

Zumindest kann ein entsprechendes Angebot an Väter bereits in einem Vorbereitungsgespräch gemacht werden. Denkbar wäre dabei das Angebot, den BU zu videografieren und anschließend gemeinsam mit dem Vater im Sinne eines Video-Home-Trainings auszuwerten. Vielleicht könnte ein solches Vorgehen die Skepsis mancher Mütter beruhigen, die den Vätern – zu Recht oder Unrecht – wenig zutrauen. Mütter, die grundsätzlich offen dafür sind, könnten dann eine positive Entwicklung der Väterlichkeit erleben (falls es eine solche gibt) und einschlägige Bedenken gegen die Vater-Kind-Kontakte abbauen. Vermutlich wird es aber in einer Vielzahl von Fällen schwierig sein, einen entsprechenden Auftrag von Vätern zu erhalten, weil dies vermeintlich als das Eingestehen von Mängeln erlebt wird, das in der Auseinandersetzung mit der Mutter schwächen könnte.

In Vorbereitungsgesprächen ist es auch wichtig, mögliche kindliche Verhaltensauffälligkeiten dem Vater gegenüber anzusprechen und sie zu „normalisieren“, um es Vätern zu erleichtern, solche Auffälligkeiten nicht als Ausdruck väterlichen Versagens oder

väterlicher Schwäche zu interpretieren und abwehren zu müssen. Tatsächlich ist es „sehr normal“, wenn Kinder z.B. bei einem Zusammentreffen nach langer Unterbrechung verwirrt, aufgedreht oder ängstlich reagieren. Solche Auffälligkeiten sind meist weniger Hinweis auf ein unangemessenes väterliches Verhalten während des BU oder einer Störung des Kindes, sondern eher Ausdruck kindlicher Normalität im Rahmen „unnormaler familiärer Verhältnisse“.

Überdacht werden könnte auch die Möglichkeit eines mehr oder weniger verpflichtenden Trainings oder einer Bindungsberatung für wenig sensible oder ungeübte Väter als Voraussetzung für die Durchführung eines BU. Solch ein Vorgehen hätte dann aber sicher alle Vor- und Nachteile einer „Zwangmaßnahme“.

Begleitete Umgänge frustrieren und belasten auch immer die Fachkräfte und verlangen viel Geduld, Toleranz und langen Atem. Vielleicht beugt eine sehr differenzierte eigene Erfolgsbewertung chronischen Misserfolgserlebnissen vor: Ist ein BU nur dann erfolgreich, wenn er „tapfer“ zu Ende geführt wird und somit dem Gericht entsprechend Vollzug gemeldet werden kann? Ist er nur dann erfolgreich, wenn er sich in einen „unbegleiteten Kontakt“ überführen lässt? Oder ist ein BU nicht genauso erfolgreich, wenn er erst gar nicht beginnt oder von den Umgangsbegleitern/innen abgebrochen wird, und damit dem Kind unzumutbare Belastungen erspart werden? Haben nicht auch vermeintliche Misserfolge mehr mit unrealistischen Zielen oder eigener Überforderung von Fachkräften und weniger mit persönlicher oder fachlicher Inkompetenz zu tun? Kann z.B. eine Mutter überhaupt zur Mitarbeit gewonnen werden, wenn sie mit der Verhinderung des Vater-Kind-Kontakts alte Rechnungen und Verletzungen aus der Ehe unbedingt begleichen will?

Wünschenswert ist auf alle Fälle ein frühes Abklären der Erfolgsaussichten eines begleiteten Umgangs bzw. das Erstellen verlässlicher Abbruchkriterien, die Kindern unverantwortliche Belastungen ersparen helfen. Dazu braucht die Fachkraft einen entsprechenden Handlungsspielraum, den sie mit einem fachlichen Selbstbewusstsein gegenüber Gericht oder Jugendamt behaupten kann. Willutzki (2003, 51) stellt klar, dass das Jugendamt als Vertreter der Jugendhilfe die Durchführung eines BU trotz gerichtlicher Anordnung ablehnen kann, wenn es die Maßnahme als nicht geeignet ansieht. Auch nach dem Scheitern oder Abbruch eines BU werden die Umgangsbegleiter/innen nicht „arbeitslos“: Jetzt können sie z.B. Kinder vor möglichen Schuldgefühlen dem Vater gegenüber entlasten, oder Vätern helfen, sich mit ihrer Ohnmacht beim Kampf um die Kinder zu versöhnen und sie in der Trauerarbeit zu begleiten.

LITERATUR

- Alberstötter, Ulrich (2004). Hocheskalierte Elternkonflikte – professionelles Handeln zwischen Hilfe und Kontrolle. *Kind-Prax*, 3, 90-99
- Buchholz-Graf, W., Brand, E.-M. & Verghe, C. (2004). Der begleitete Umgang aus der Perspektive der Eltern und der Fachkräfte. Ergebnis- und Tabellenband. Fachhochschule Regensburg
- Familiennotruf (2002). Kurzbericht zum Modellprojekt: Evaluation integrierter, familienorientierter Beratungshilfen beim Begleiteten Umgang gemäß § 18(3) SGB VIII. Jahresbericht Familiennotruf München 2002
- Fegert, Jörg (2002). Wann ist der begleitete Umgang, wann ist der Ausschluss des Umgangs indiziert. *Familie, Partnerschaft, Recht*, 6, 219-225
- Fichtner, Jörg & Fthenakis, Wassilios (2002). Der begleitete Umgang gemäß § 1684 IV BGB: Wie wirken mitwirkungsbe-reite Dritte mit? Ergebnisse einer bundesweiten Richterbefragung zur Koordination zwischen Familiengerichten, Jugendämtern und Maßnahmeanbietern beim begleiteten Umgang. *Familie, Partnerschaft, Recht*, 6, 231-236
- Friedrich, Vanessa, Reinhold, Claudia & Kindler, Heinz (2004). (Begleiteter) Umgang und Kindeswohl. Eine Forschungsübersicht. Klinkhammer, M. Klotmann, U. & Prinz, S. *Handbuch Begleiteter Umgang*. Köln: Bundesanzeiger-Verlag, 13-40
- Fthenakis, W., Reichert-Garschhammer, E. & Walbinger, W. (2001). Vorläufige Standards zum begleiteten Umgang. Staatsinstitut für Frühpädagogik München
- Karle, Michael & Klosinski, Gunter (2000), Ausschluss des Umgangs – und was dann? *Zentralblatt für Jugendrecht*, 9, 343-347
- Proksch, Roland (2002). Rechtstatsächliche Untersuchung zur Reform des Kindschaftsrechts. Köln: Bundesanzeiger
- Reinhold, Claudia (2004). Beobachtung von begleiteten Umgangskontakten: Zusammenhänge zu Indikation und Beratung. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Regensburg
- Rexilius, Günter (2003). In der Falle des Familienrechts oder: Wie Trennungsfamilien verrückt gemacht werden. *Kind-Prax*, 2, 39-45
- Spindler, Manfred (2003). Begleiteter Umgang bei hochkonflikt-hafter Trennung und Scheidung. *Kind-Prax*, 2, 53-57
- Verghe, Claudius (2000). Der schwierige Umgang mit dem Umgang. Buchholz-Graf, Wolfgang & Verghe, Claudius (Hg.) *Beratung für Scheidungsfamilien. Das neue Kindschaftsrecht und professionelles Handeln der Verfahrensbeteiligten*. München: Juventa
- Verghe, Claudius (2004). Die Vorbereitung auf den begleiteten Umgang. Klinkhammer, M. Klotmann, U. & Prinz, S. *Handbuch Begleiteter Umgang*. Köln: Bundesanzeiger-Verlag,
- Willutzki, Siegfried (2003). Betreuter Umgang. Hilfestellung für ein faires Miteinander. *Kind-Prax*, 2, 49-53

BERUFSEINSTIEG, BESCHÄFTIGUNGSSITUATION UND WEITERBILDUNG VON SOZIALPÄDAGOGEN – EINE BEFRAGUNG VON ABSOLVENTINNEN UND ABSOLVENTEN DES FACHBEREICHS SOZIALWESEN

Hochschulen wussten bislang oft noch relativ wenig Bescheid darüber, wie der berufliche Weg ihrer Absolventinnen und Absolventen nach Abschluss ihres Studiums verläuft. Dies ändert sich in der letzter Zeit, die Alumni kommen als wichtige Zielgruppe in den Blick. Anlass dazu geben u.a. die wissenschaftliche Weiterbildung, die von den Hochschulen aufgebaut wird und insbesondere die Einrichtung von Weiterbildungsstudiengängen auf Masterniveau. Dies war auch der unmittelbare Anstoß für eine Absolventenbefragung des Fachbereichs Sozialwesen im Jahr 2002: Zum einen wollte man die „Markchancen“ des geplanten Masterstudiengangs „Leitung und Kommunikationsmanagement“ abklären. Zum anderen sollte aber auch die Möglichkeit genutzt werden, Genaueres über die Arbeitsmarktchancen und den Berufseinstieg von Absolventinnen und Absolventen des Fachbereichs zu erfahren.

1 EINLEITUNG

1.1 Die wichtigsten Fragestellungen der Absolventenbefragung

Die Untersuchung konzentrierte sich auf 3 Fragenkomplexe; die aktuelle Beschäftigungssituation, der vorherige Berufseinstieg und die Einstellung der Absolventen zur Weiterbildung.

- Zur aktuellen beruflichen Situation interessierte zum einen die Frage, wie die Beschäftigungschancen der Absolventen zu beurteilen sind. Zum anderen wurde erhoben, in welchen Arbeitsbereichen der Sozialen Arbeit und bei welchen Trägern die Absolventen arbeiten, wie die regionale Verteilung der Arbeitsstellen sich darstellt und ob die Absolventen ihrer Position bzw. Funktion nach als Sozialpädagogen adäquat beschäftigt sind.
- Zur beruflichen Entwicklung sollte ermittelt werden, wie leicht oder schwer sich der Berufseinstieg für die Absolventen gestaltet hat, wie lange die Einstiegsphase gedauert hat und welche Voraussetzungen bzw. Rahmenbedingungen dafür ausschlaggebend waren.
- In Bezug auf die Weiterbildung sollte herausgefunden werden, in welchem Umfang die Absolventen die Möglichkeit von Weiterbildung nutzen, welche Unterstützung sie dabei von Seiten ihres Arbeitgebers erfahren und auf welche Schwierigkeiten sie stoßen.
- Mit Blick auf den geplanten Weiterbildungsstudiengang sollten das Interesse an einem solchen Angebot und die zu Grunde liegende Motivation ermittelt werden.

1.2 Durchführung der Befragung und Zusammensetzung der Stichprobe

Die Befragung wurde im Zeitraum März 2002 bis Mai 2002 als schriftliche Befragung durchgeführt. Grundlage war ein relativ umfangreicher Fragebogen mit meist geschlossenen Fragen, der den

Befragten per Post zugeschickt wurde¹. Erfasst wurden die Absolventenjahrgänge ab dem Sommersemester 1995. Die Einschränkung war aus praktisch-organisatorischen Gründen vorgegeben, da erst seit diesem Zeitpunkt die Studentendaten per EDV erfasst wurden und somit die erforderlichen Adressen als Datei verfügbar waren. Insgesamt wurden 659 Absolventen angeschrieben. Erwartungsgemäß waren nicht mehr alle Adressen aktuell – etwa ein Drittel der Anschreiben kam als nicht zustellbar zurück. Somit kann von einer Gesamtzahl von 450 erreichten Absolventen ausgegangen werden.

Vollständig ausgefüllt kamen insgesamt 247 Fragebögen zurück. Dies ergibt eine erfreulich hohe Rücklaufquote von 55% der erreichten Absolventen. Darin sind auch die angesprochenen Abschlussjahrgänge gut abgebildet.

Jahrgang (WS + SS)	Absolventen insgesamt	Rücklauf absolut	in % des Absolv.-Jg.	in % der Befragten
1995/96	90	18	20%	7%
1996/97	92	25	27%	10%
1997/98	109	41	38%	17%
1998/99	111	38	34%	15%
1999/00	105	36	34%	15%
2000/01	109	49	45%	20%
2001/02 (nur WS)	43	25	58%	10%
anderer/ nicht zuzuordnen:		15		6%
Summe:	659	247	37%	100%
davon zustellbar	450	247	55%	

Tabelle 1: Zusammensetzung der Stichprobe nach Abschlussjahrgängen

Dass die Rücklaufquote der jüngsten Jahrgänge höher ausfällt, hängt sicher mit der besseren Aktualität der Adressen zusammen. Insgesamt kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Aussagen der Befragten ein durchaus repräsentatives Bild der Gesamtgruppe der Absolventen ergeben.

Die Zusammensetzung der Stichprobe unter sozio-demografischen Gesichtspunkten ergibt folgendes Bild:

- Die **Frauen** sind mit 76,1% in der Mehrheit, ein Viertel der befragten Absolventen sind **Männer**. Diese Verteilung entspricht ziemlich genau der geschlechtsspezifischen Zusammensetzung der Studierenden der Sozialen Arbeit, die sich über die Jahre hinweg wenig verändert hat.

¹ Für intensive Mitarbeit bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Befragung danke ich Frau Diplom-Sozialpädagogin (FH) Margit Dotzler vielmals.

- Die **Altersverteilung** der Absolventenstichprobe umfasst zwar eine relativ große Altersspanne, die von 23 Jahren bis 50 Jahre reicht. Insgesamt liegen die meisten Befragten allerdings in der Altersgruppe 25 bis 35 Jahre. (unter 30 Jahre: 42%; 30 - 35 Jahre: 40%; 40 Jahre und älter: 7%).
- Aufschlussreich ist die Frage nach dem **Wohnort** der Absolventen: Es zeigte sich, dass über 90% der Absolventen in Bayern wohnen bzw. hier weiterhin ihren Wohnsitz behalten haben. Gut ein Drittel (35%) wohnt in der Stadt Regensburg, etwa 30% in der übrigen Oberpfalz. In Niederbayern und in Oberbayern – hier vor allem in München – haben weitere 15% bzw. 10% ihren Wohnsitz gewählt. Ganze 7% wohnen in einem anderen Bundesland.

2 DIE AKTUELLE BESCHÄFTIGUNGSSITUATION DER ABSOLVENTEN

Als erstes markantes Ergebnis kann festgehalten, dass die Absolventinnen und Absolventen des Fachbereichs Sozialwesen zum Zeitpunkt der Befragung offensichtlich keine besonderen Schwierigkeiten hatten, einen Arbeitsplatz zu finden (vgl. Tab. 2).

80 % der Befragten sind als Angestellte beschäftigt, die meisten von ihnen in Vollzeit-Tätigkeit. Mit 9% der Befragten sind überraschend viele inzwischen als Selbstständige tätig. 10% der Befragten stehen derzeit in keinem Beschäftigungsverhältnis. In erster Linie sind dies Frauen, die sich zur Zeit ausschließlich um ihre Familie kümmern. Lediglich 9 Befragte (3%) sind arbeitslos gemeldet bzw. stehen nach eigenen Angaben derzeit in keinem Arbeitsverhältnis.

Die damit eindrucksvoll belegten positiven Beschäftigungschancen werden durch die Tatsache unterstrichen, dass 89% der Befragten ihrem Abschluss entsprechend als Diplom-Sozialpädagogen beschäftigt sind, 12% von ihnen bereits in der Position als leitende Sozialpädagogen. Nur 3% sind auf Erzieher-Stellen tätig, weitere 8% in einer (nicht näher erläuterten) anderen Funktion.

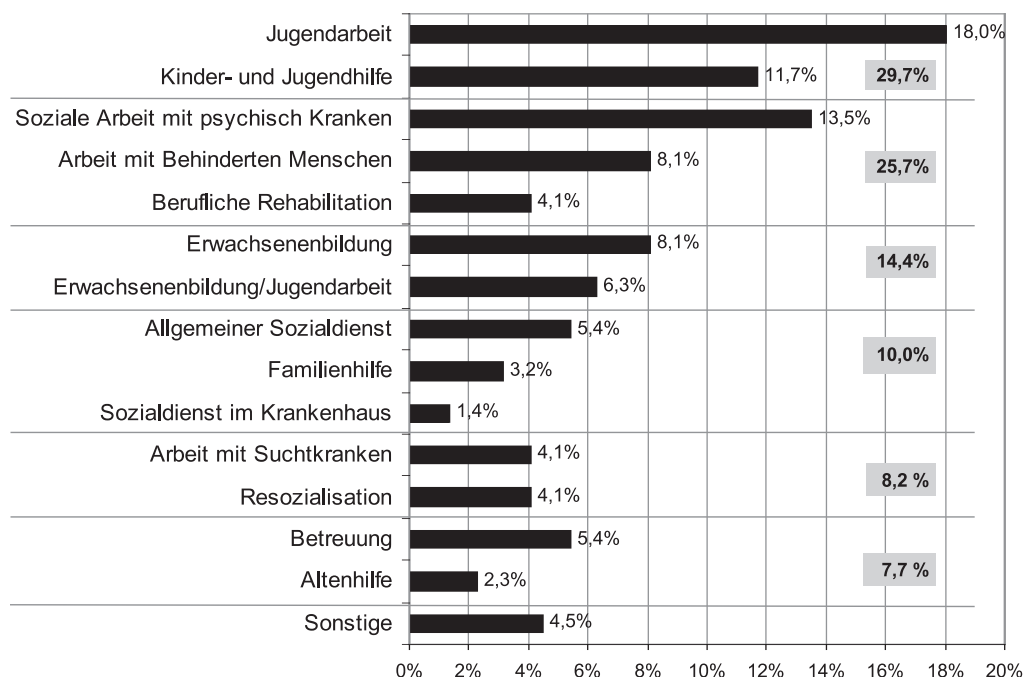
Beschäftigungsverhältnis	Häufigkeit	in %
selbstständig	21	9%
angestellt	25	10%
angestellt - vollzeit	110	45%
angestellt - teilzeit	64	26%
arbeitslos	3	1%
kein Arbeitsverhältnis	6	2%
Hausfrau/Hausmann	17	7%
Gesamt	246	100%

Table 2: Beschäftigungsverhältnisse

Die **Arbeitsfelder**, in denen die Befragten tätig sind, zeigen das breite Spektrum beruflicher Einsatzmöglichkeiten von Sozialpädagogen (vgl. Grafik 1).

Die meisten Arbeitsplätze finden sie in den Bereichen Jugendarbeit/ Kinder- und Jugendhilfe und Arbeit mit behinderten oder psychisch kranken Menschen (einschließlich berufliche Rehabilitation) sowie im Bereich Erwachsenenbildung (in Kombination mit Jugendarbeit).

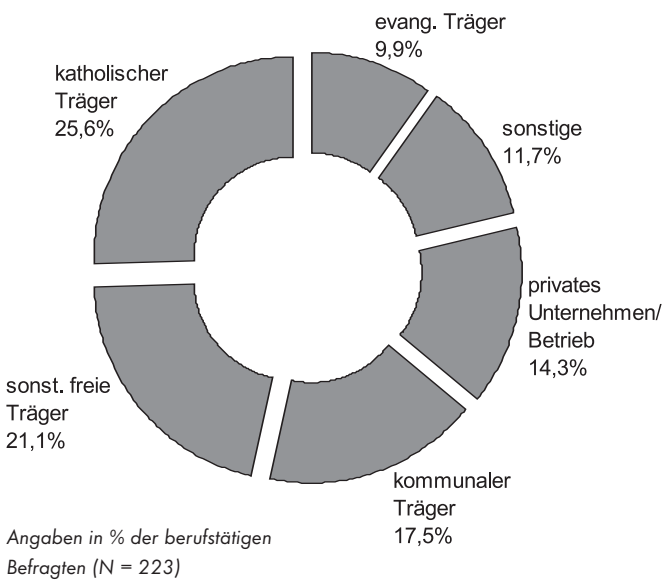
Wichtigste **Arbeitgeber bzw. Träger** der entsprechenden Einrichtungen sind die kirchlichen und anderen freien Wohlfahrtsverbände: Insgesamt 57% der befragten Sozialpädagogen sind bei ihnen be-



Grafik 1: Arbeitsbereiche der Absolventen

In % der Berufstätigen Befragten (N = 222)

schäftigt: Jeder vierte Befragte z.B. arbeitet bei einer Einrichtung in katholischer Trägerschaft, jeder fünfte bei einem der sonstigen freien Träger (Arbeitswohlfahrt, Deutscher Paritätischer Wohlfahrtsverband etc.). Die Kommunen beschäftigen 17,5% der Befragten. Jeder siebte arbeitete bei einem privaten Unternehmen (vgl. Grafik 2).



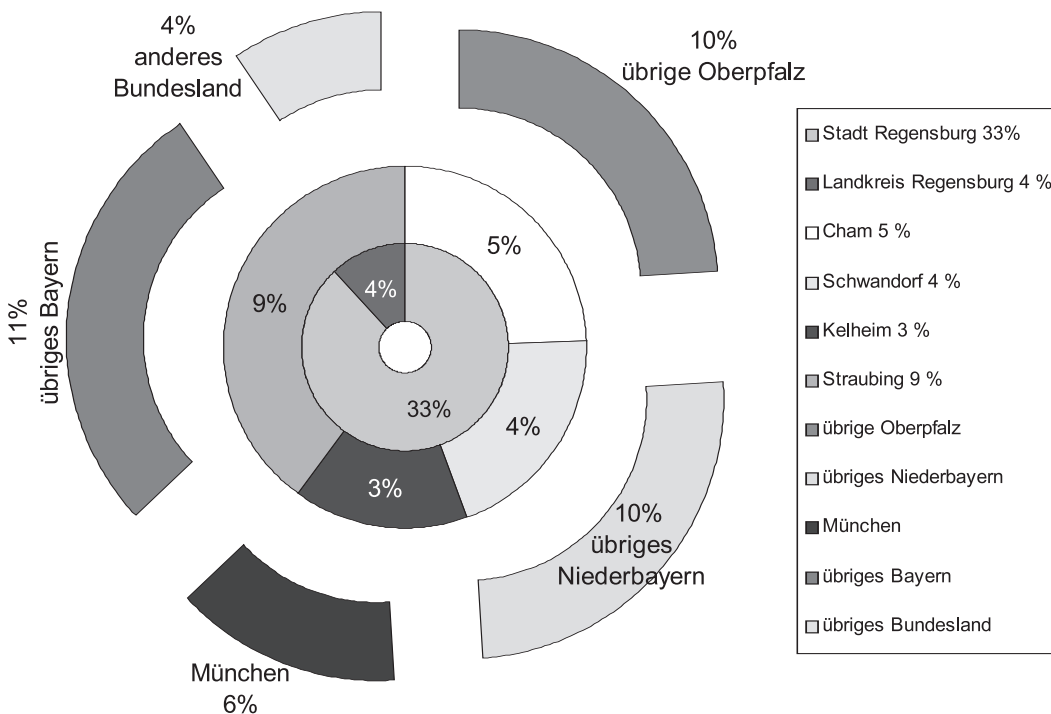
Grafik 2: Träger der Einrichtungen

Es sind in der Mehrzahl kleinere Einrichtungen oder solche mittlerer Größe, in denen die Befragten beschäftigt sind (vgl. Tab. 3). Zwei Drittel der Absolventen sind in kleinen Einrichtungen (bis 10 Mitarbeiter) bzw. solchen mittlerer Größe (11 bis 50 MA) tätig; ein Drittel arbeitet in größeren Einrichtungen mit mehr als 50 Beschäftigten.

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozepte
Gültig			
unter 5 MA	35	14,2	15,8
6 bis 10 MA	32	13,0	14,5
11 bis 50 MA	76	30,8	34,4
51 bis 100 MA	30	12,1	13,6
101 bis 500 MA	30	12,1	13,6
über 500 MA	18	7,3	8,1
Gesamt	221	89,5	100,0
keine Angaben	26	10,5	
Gesamt	247	100,0	

Tabella 3: Größe der Einrichtungen

Der Blick auf die regionale Verteilung der Arbeitsorte, an denen die Absolventen tätig sind, zeigt sehr eindeutig, dass der Fachbereich Sozialwesen vor allem für den Arbeitsmarkt in der Region Oberpfalz - Niederbayern ausbildet (vgl. Grafik 3):



Grafik 3: Arbeitsorte der Absolventinnen und Absolventen

Die meisten Absolventen finden ihren Arbeitsplatz im Oberzentrum Regensburg (Stadt und Landkreis zusammen 37%). Weitere 21% arbeiten in den Nachbarlandkreisen Cham, Schwandorf, Kelheim und Straubing (Stadt und Landkreis). Nimmt man noch die jeweils 10% jener Absolventen, deren Arbeitsplatz in den übrigen oberpfälzischen und niederbayerischen Landkreisen liegt, dann finden 4 von 5 Absolventen ihre Arbeitsstelle im unmittelbaren Einzugsbereich des Hochschulstandortes.

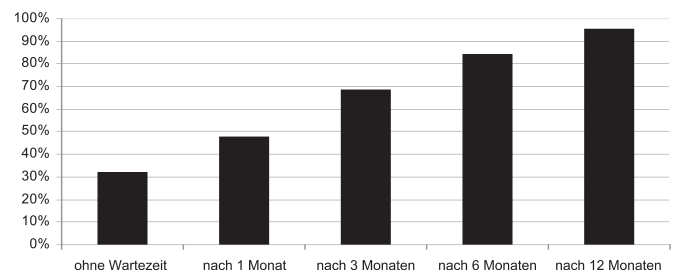
Dieses Ergebnis stimmt mit den Feststellungen zum Wohnort der Befragten überein. Insgesamt lässt sich somit feststellen, dass der Großteil der Absolventen im regionalen Einzugsbereich ihres ehemaligen Studienortes arbeitet bzw. im regionalen Arbeitsmarkt unterkommt und gebraucht wird.

3 DIE BERUFLICHE ENTWICKLUNG DER EHEMALIGEN STUDIERENDEN

Neben der aktuellen Beschäftigungssituation interessierte in der Befragung vor allem, wie leicht oder schwer der Einstieg in die berufliche Tätigkeit für die Absolventen war. Dazu wurden die Befragten gebeten, detailliert anzugeben, an welchen Stellen sie nach Abschluss ihres Studiums wie lange in welcher Funktion (Sozialpädagogin oder z. B. Erzieher) beruflich tätig waren. Des weiteren wurde gefragt, was sich bei der ersten Stellensuche als hilfreich erwiesen hat.

Die Ergebnisse bestätigen, dass der Berufseinstieg der Absolventinnen und Absolventen des Sozialwesens insgesamt offensichtlich nicht besonders schwer gefallen und sehr zügig möglich war (vgl. Grafik 4).

Ein knappes Drittel der Befragten hat seine berufliche Tätigkeit unmittelbar nach Abschluss des Studiums aufgenommen, nach einem Monat war fast die Hälfte bereits berufstätig, ein halbes Jahr danach waren es bereits über 84% und nach einem Jahr schließlich 95%. (Einschränkend ist allerdings festzuhalten, dass nur gut 70% auf adäquaten Sozialpädagoginnen-Stellen zu arbeiten begannen.) Dies gilt unabhängig von der Frage, ob die

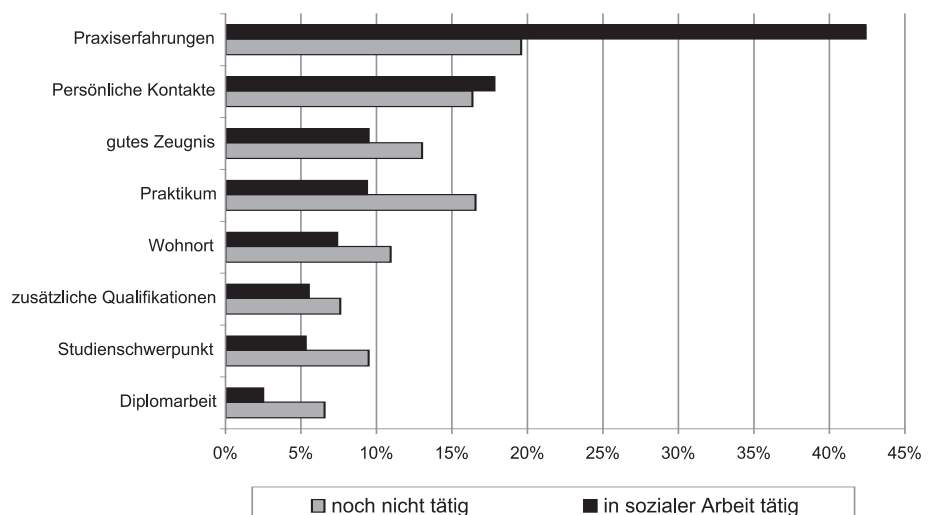


Grafik 4: Anteil der Befragten nach Zeitpunkt des Antritts ihrer 1. Stelle (in % der Antwortenden; n = 214)

Absolventen bereits vor oder während ihres Studiums in einem sozialen Arbeitsfeld beruflich tätig waren. Zwei Drittel der Befragten arbeiteten von Beginn an auf einer Vollzeit-Stelle.

Die Hälfte der Befragten war bis zum Zeitpunkt der Befragung immer noch auf ihrer ersten Stelle tätig, ein Drittel hatte einmal die Stelle gewechselt und weitere 10% bis dahin zweimal. Damit korrespondiert, dass fast gut 60% der Befragten länger als 1 Jahr auf ihrer ersten Stelle tätig waren und dass je ein Viertel bereits 2 Jahre oder 3 und mehr Jahre auf dieser Stelle gearbeitet hat, d.h. es handelt sich – entgegen einer häufig artikulierten Vermutung – auch bei den ersten Stellen für die Mehrheit nicht um nur kurzfristige Beschäftigungsverhältnisse.

Für den Berufseinstieg bedeutsam ist auch die Tatsache, dass die Hälfte (51,4%) der befragten Absolventinnen und Absolventen bereits vor oder während ihres Studiums in einem sozialen Arbeitsfeld oder Beruf tätig war. Ein Drittel hat ein bis zwei Jahre gearbeitet, fast die Hälfte zwischen 3 und 5 Jahren und jeder fünfte sogar länger.



Grafik 5: Hilfen bei der Stellensuche, differenziert nach Tätigkeit in einem sozialen Arbeitsfeld (in % der nach Prioritäten gewichteten Nennungen)

Unabhängig davon wurden die Absolventen gefragt, was ihrer Erfahrung nach für den Berufseinstieg bzw. bei der ersten Stellensuche hilfreich war. In den Ergebnissen zeigt sich deutlich, dass die praktischen Erfahrungen und die dabei sich in der Regel ergebenden Kontakte die oberste Priorität haben (vgl. Grafik 5).

Dabei kamen zugleich deutliche Unterschiede zwischen der Gruppe jener, die bereits vor und während ihres Studiums in einem sozialen Arbeitsfeld tätig waren einerseits und jenen, bei denen dies nicht der Fall ist andererseits. Bei der erstgenannten Gruppe sind es fast ausschließlich die Praxiserfahrungen vor bzw. neben dem Studium, die den Ausschlag geben. Für die andere Gruppe hatte – neben den persönlichen Kontakten, die hier ähnlich hoch gewichtet werden – das Praktikum einen deutlich höheren Stellenwert. Ähnlich wichtig ist das gute Zeugnis und – wohl vor allem, weil man dadurch leichter an die Informationen über die Stelle kam – die Nähe zwischen Wohnort und (späterem) Arbeitsort. Umgekehrt ist festzustellen, dass die Wahl des Studienschwerpunktes im Vergleich dazu weniger bedeutsam ist, auch nicht die Zusatzqualifikationen, die man vorweisen kann und – überraschender Weise – auch die Diplomarbeit nicht.

Als Zwischenresümee kann zusammenfassend festgehalten werden, dass – manchen anders lautenden Vorurteilen zum Trotz – die an der Fachhochschule Regensburg ausgebildeten Sozialpädagoginnen und Sozialpädagogen gute Berufsaussichten haben. Sie finden ihre Arbeitsstellen vorwiegend in der Region Ostbayern. Es sind zumeist der Ausbildung entsprechende Sozialpädagoginnen-Stellen, an denen sie längerfristig tätig sind. Zum Zeitpunkt der Befragung waren die Absolventen praktisch nicht von Arbeitslosigkeit betroffen.

4 DIE WEITERBILDUNGSINTERESSEN UND -AKTIVITÄTEN DER ABSOLVENTEN

Wissenschaftliche Weiterbildung gehört inzwischen zu den Pflichtaufgaben der Hochschulen. Die Fachhochschule Regensburg hat dafür mit dem Zentrum für Weiterbildung und Wissensmanagement (ZWW) eine Einrichtung geschaffen, die unter anderem die ehemaligen Absolventinnen und Absolventen als bevorzugte Zielgruppe mit entsprechenden Weiterbildungsangeboten bedienen bzw. sie dafür akquirieren will. Deshalb wurde die Möglichkeit genutzt, über die Befragung auch Informationen zu den Weiterbildungsaktivitäten und -interessen der Absolventen zu erheben. Für Mitarbeiter im sozialen Bereich sind **Zusatzausbildungen**, die man parallel zu seiner beruflichen Tätigkeit absolviert, durchaus nicht ungewohnt. Es gibt z.B. eine Vielzahl spezieller oder neu ins Gespräch kommender Methoden, die man sich nur über entspre-

chende (und in der Regel auch relativ teure) Weiterbildung aneignen kann. Vor diesem Hintergrund kann das Ergebnis der Befragung nicht überraschen, dass jeder 5. Befragte (21,4%) eine abgeschlossenen Zusatzausbildung (z.B. in Mediation, systemischer Beratung, Teamentwicklung oder Erlebnispädagogik) vorweisen kann. Zudem absolvierte zum Zeitpunkt der Befragung jede(r) 6. Befragte eine solche Zusatzausbildung (incl. Zweitstudium).

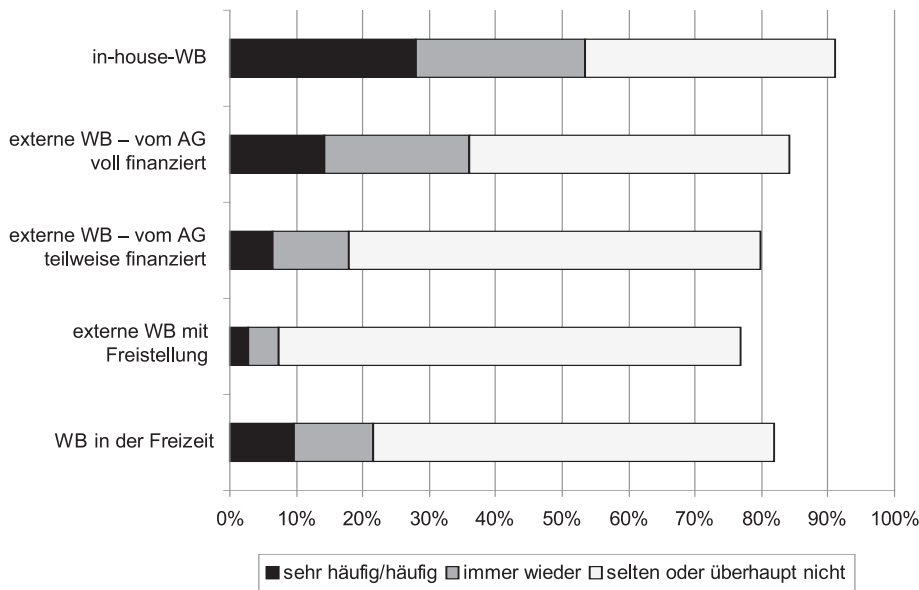
Mehr als die Hälfte der Befragten (52,7%) nutzten zum Befragungszeit mehr oder weniger häufig **andere Angebote der beruflichen Weiterbildung** (Seminare, Kurse). Dabei gibt es gewisse Unterschiede zwischen den Trägern, bei denen die Befragten arbeiten. Beschäftigte bei kirchlichen und kommunalen Trägern bilden sich häufiger weiter (knapp zwei Drittel) als Beschäftigte von privaten Unternehmen/ Betrieben oder bei nicht-kirchlichen freien Trägern.

Berufliche Weiterbildung wird in verschiedenen Formen angeboten – als In-house-Weiterbildung, als externe Weiterbildung mit Unterstützung durch den Arbeitgeber oder als Freizeit-Weiterbildung auf eigene Kosten (vgl. Grafik 6).

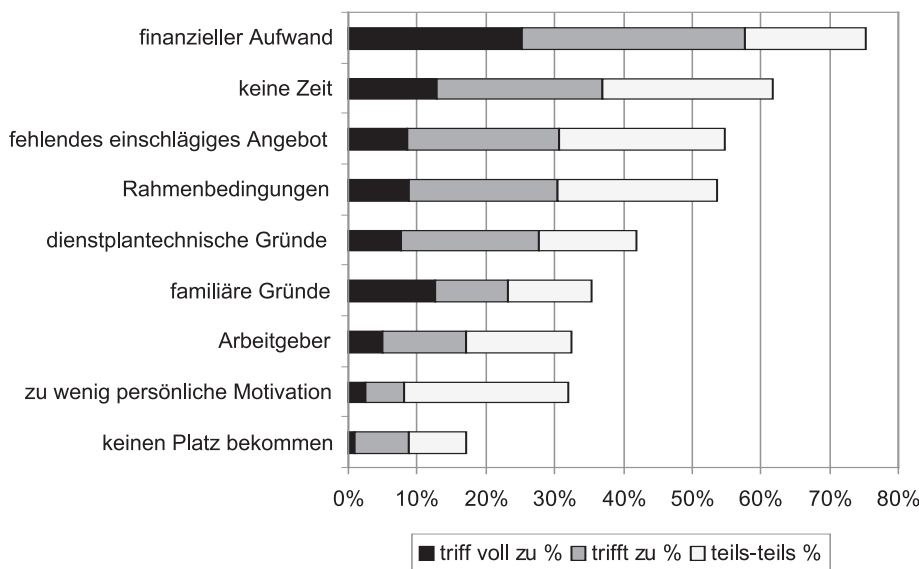
Gut die Hälfte der Befragten (59%) hat immer wieder oder häufig Gelegenheit, an In-house-Weiterbildungen ihrer Einrichtung teilzunehmen. Externe Weiterbildung ist dagegen wesentlich seltener: Relevant waren für die Befragten eigentlich nur die Formen, in denen sie vom Arbeitgeber voll finanziert wurden. Immerhin ein gutes Drittel konnte die Gelegenheit dazu häufig oder immer wieder nutzen. Die anderen Formen einer externen, vom Arbeitgeber durch finanzielle Zuschüsse oder Freistellung unterstützten Weiterbildung spielten für die Befragten kaum eine Rolle. Unabhängig davon bildet sich immerhin jede(r) 4. Befragte in seiner Freizeit auf eigene Kosten weiter.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse war die Frage nach den **Gründen, die für die Befragten eine Teilnahme erschwerten** oder gegen sie sprachen, von besonderem Interesse (vgl. Grafik 7).

An oberster Stelle werden die Finanzen genannt. Offensichtlich liegen die Kosten für die Absolventen in einem Bereich, der relativ häufig dazu führt, dass man von einer Teilnahme absieht. Drei Viertel der Befragten bestätigen dies zumindest teilweise. Verständlich wird dies durch das zuvor referierte Ergebnis, dass – abgesehen von den In-house-Angeboten – die deutliche Mehrheit der Befragten keine Gelegenheit hatte, vom Arbeitgeber unterstützte Angebote zu nutzen. Verstärkend kommt dazu, dass die Zeit (incl. Freizeit) ohnehin dicht ausgefüllt ist mit Aktivitäten und Verpflichtungen – dies gilt für die befragten Frauen deutlich mehr als für die Männer. Daneben gibt es teilweise auch dienstplanbedingte Schwierigkeiten.



Grafik 6: Formen beruflicher Weiterbildung (Werte in % der Befragten, N = 247)



Grafik 7: Gründe, die eine Weiterbildungsteilnahme erschweren oder verhindern (in % der Befragten; N=247)

Von Veranstalterseite besonders beachtet werden sollte das Ergebnis, dass mehr als die Hälfte wichtige Hinderungsgründe in einem fehlenden einschlägigen Angebot und in den organisatorischen Rahmenbedingungen, unter denen Weiterbildung angeboten wird, sieht. Beides sind Variablen, die von Weiterbildungs-Anbietern gestaltet und verbessert werden können.

In einem weiteren Fragenkomplex wurden die Befragten auch nach ihrer Einschätzung des Stellenwerts, den berufliche Weiterbildung für ihren Arbeitgeber hat, gefragt. Die Hälfte der Befragten

(52%) schätzt diesen hoch bzw. sehr hoch ein. Weitere 25% meinen, dass es damit „so geht“. Dies gilt unabhängig davon, ob die Befragten sich derzeit selbst weiterbilden oder nicht.

Um abzuklären, ob die Arbeitgeber auch bereit sind, die Weiterbildung ihrer Mitarbeiter zu fördern und zu motivieren, wurden in der Befragung verschiedene Möglichkeiten zur Beurteilung vorgelegt. Das Ergebnis bestätigt sehr eindeutig, dass die Bereitschaft dazu bei den Trägern bzw. Arbeitgebern durchaus vorhanden ist (vgl. Grafik 8).

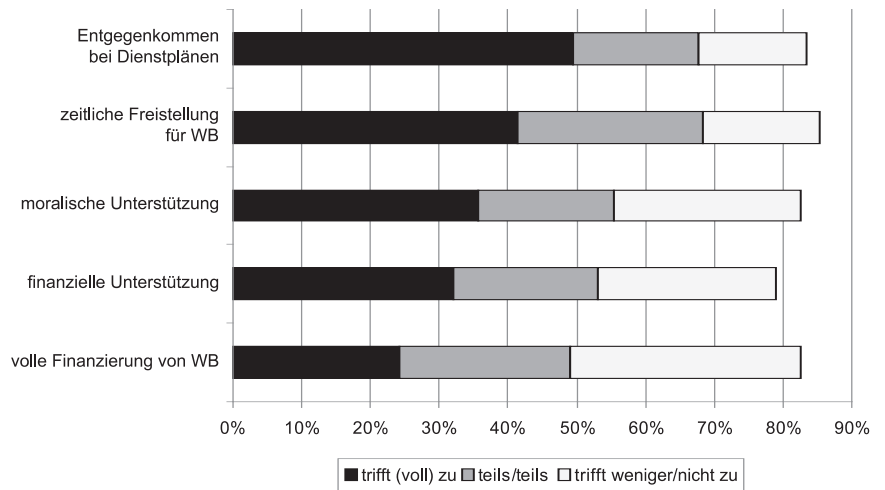
Selbstverständlich sind für die meisten Träger das Entgegenkommen bei Dienstplänen und die zeitliche Freistellung ihrer Mitarbeiter für Weiterbildung. Aber auch die anderen Formen – finanzielle oder moralische Unterstützung bzw. Ermunterung zur Weiterbildung - finden viele Befragte in ihren Einrichtungen vor.

5 MOTIVE FÜR EIN WEITERBILDENDES MASTERSTUDIUM

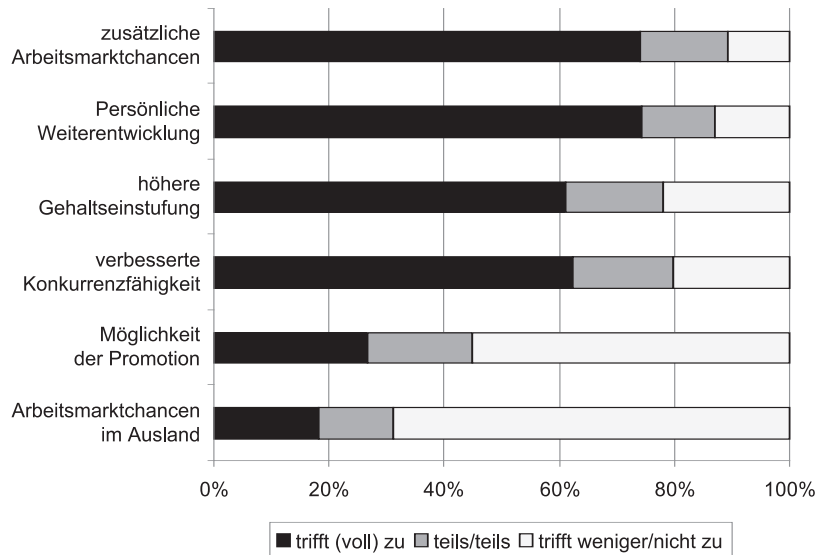
Ein besonderes Anliegen der Absolventenbefragung war die Frage nach dem **Interesse an einem weiterem Studium**. Knapp die Hälfte (47%) bestätigt dies mit einem eindeutigen „Ja“. Für eine fast ebenso große Gruppe kommt es auf zusätzliche Rahmenbedingungen an. Nur 8% der Befragten verneinen die Frage.

Die persönlichen **Beweggründe für ein Masterstudium** verstärken das dokumentierte grundsätzliche Interesse an einem Weiterstudium (vgl. Grafik 9).

Im Vordergrund stehen einerseits Motive, die mit dem künftigen Beschäftigungschancen zu tun haben: Man erwartet sich zusätzliche Chancen und eine verbesserte Konkurrenzfähigkeit auf dem Arbeitsmarkt und damit verbunden auch die Aussicht auf ein höheres Gehalt. Zum anderen motiviert jedoch sehr viele auch die Aussicht, sich durch ein weiteres Studium persönlich weiter entwickeln zu können. Immerhin ein gutes Drittel findet auch die Möglichkeit der Promotion, die ein Masterstudium eröffnen könnte, durchaus einladend.



Grafik 8: Unterstützung der Weiterbildung durch Arbeitgeber (in % der Befragten, N= 247)



Grafik 9: Motivationen für ein Masterstudium

A NOVEL MULTISENSORIC SMART PEN ASSESSING BIOMETRIC AND NEUROMOTORIC FEATURES OF HUMAN HAND MOVEMENTS

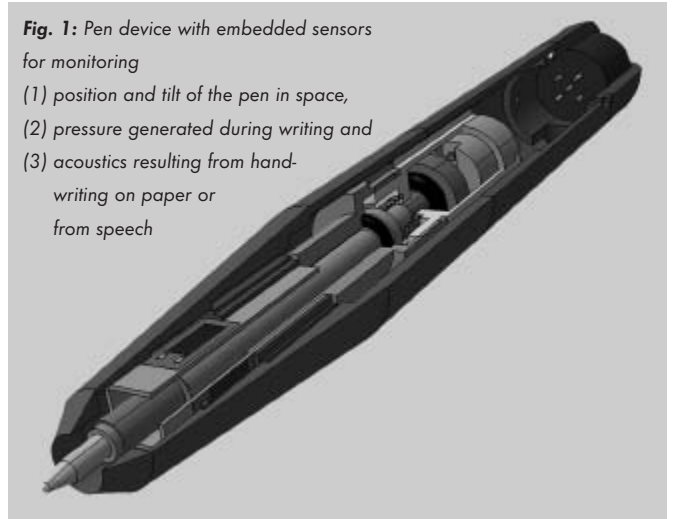
- Biometric Smart Pen "BiSP" for Biometric Person Authentication
- Medical and Diagnostic Smart Pen MeDiPen for diagnostic and therapy in health care

BiSP (Biometric Smart Pen) and MeDiPen (Medical and Diagnostic Pen) are novel multisensoric pen devices for recording and analyzing neuromotor features based on the kinematics and dynamics of handwriting or drawing movements. For a comprehensive monitoring of fine motor characteristics of the hand and fingers, the pen is equipped with a diversity of sensors measuring the position and tilt angles of the pen in space, as well as pressures generated in the pen during writing on an arbitrary pad. Optionally, the grip pressure of the fingers holding the pen can be monitored (see Fig. 1, 2 and Table 1).

The pen transfers digital data to PC's, notebook, cell phones, smart cards etc.

Fig. 1: Pen device with embedded sensors for monitoring

- (1) position and tilt of the pen in space,
- (2) pressure generated during writing and
- (3) acoustics resulting from handwriting on paper or from speech

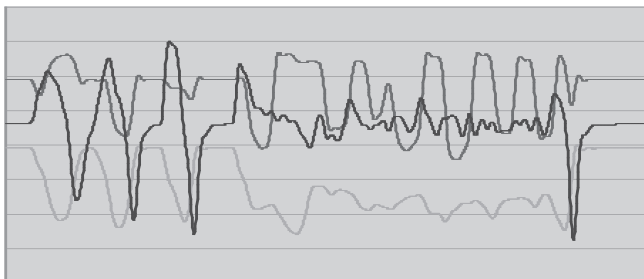


Attribute	electrical	magnetic	optical	acoustic
pen position x,y,z velocity v acceleration a	capacitive	GMR-sensor absolute position x,y,z	CCD-Chip/ LED relative position x,	ultrasonic transmitter/receiver
tilt, inclination	electrolytic			
Pressure of refill finger grip	piezo strain gauge FSR	Hall-Sensor GMR-sensor	LED / PD	
vibration of refill writing sound voice				electret Mic

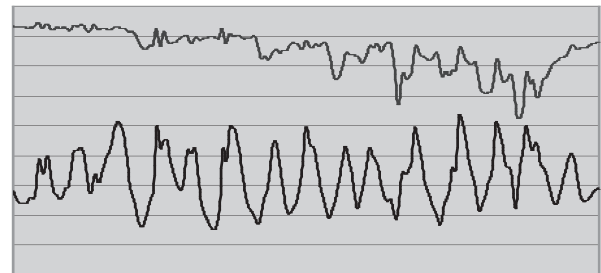
PD: Photodiode, LED: Light emitting diode, Hall: hall sensors (Micronas), CCD-camera on Chip (Agilent), DMS: foil strain gauge ; GMR: giant magnetic resistivity-magn. field-sensors, FSR: force sensing resistor

Tab. 1: Sensors used in BiSP system are for

- Pressure, tilt / inclination, vibration, position, velocity / acceleration
- acoustics of handwriting and speech



Pressure vs. time (P_x, P_y, P_z)



Tilt angle vs. time (α, β)

Fig. 2: Typical sensor signals of a pen device based on pressure and tilt sensors

Electronics

The electronics have the job of amplifying and filtering sensor signals, after which an analogue-to-digital converter produces a digital signal with 10-bit resolution. Following signal linearization, the sensor data must be compressed and encoded. Data transfer to a computer follows per wire via a USB interface or per wireless via a docking station and from there to a host computer via a standard USB interface.

The first wireless version of the smart pen, connected to the docking station via a 868 MHz radio module, has been developed. The power supply to the pen rechargeable battery is carried out from the docking station (see Fig. 3).

Design and development of wireless BiSP pen versions using ZigBee

Since the end of 2004, the ZigBee method has become a European standard for low power wireless data transfer. This standard is ideal for the transfer of BiSP handwriting data. The first version of such a standard smart pen is presently being developed.

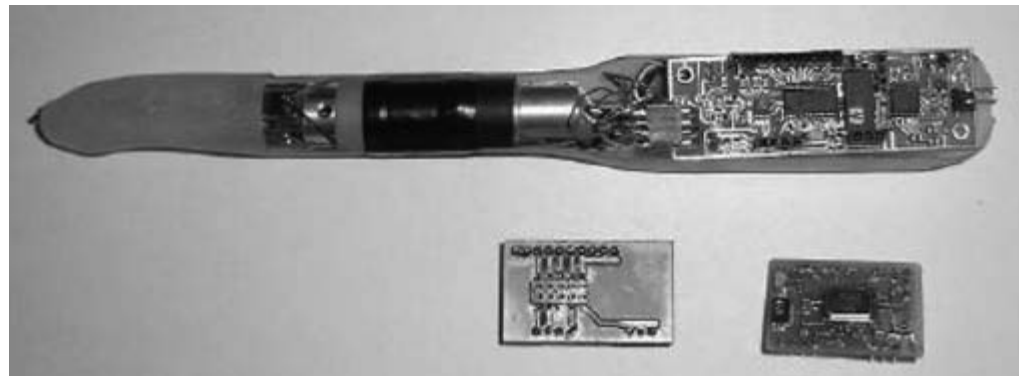


Fig. 3: First wireless version of BiSP pen

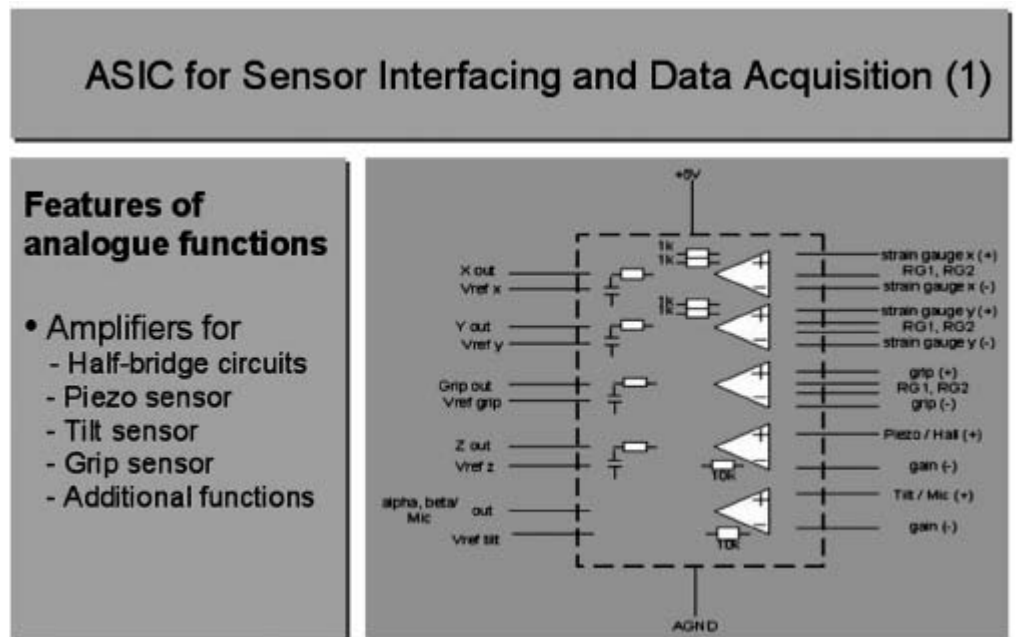


Fig. 4: Analogue module of the ASIC

Development of an ASIC for Sensor Interfacing and Data Acquisition

The electronics are presently mounted in compact form in a separate housing outside of the smart pen. The development of an ultra low power ASIC (Application Specific Integrated Circuit) will lead to the complete system being integrated within the pen. The ASIC is so conceived that it will be possible expand the system to incorporate new sensors. Furthermore, it can be marketed as an open source product. The ASIC will be developed at our partner institute in Limerick, Ireland (see Fig. 4 and Fig. 5).

Design and development of a docking station for wireless BiSP pens

The wireless smart pen will be powered by a small rechargeable battery in the pen. The extra low power concept chosen guarantees long mean times between chargings. Charging will be carried out from the docking station responsible for the wireless ZigBee communication, which in turn is connected to the host PC via a USB interface.

Software of BiSP System

A software classifier implemented in the smart pen system is based on modern algorithms and covers a broad range of feature extraction, classification and correlation operations, statistics, and multivariate time-series analysis (see tab.2).

Due to its user friendly design, specific sensors with high sensitivity, and a unique software engine for fast data acquisition and evaluation, the smart pen system is an ideal mobile tool for

- biometric person authentication
- neuromotor diagnostics and therapy in health care

BISP APPLICATIONS

I BiSP in Biometrics

For use in biometric security devices, we have developed a highly robust, extremely fast and flexible software engine, giving surprisingly good results in preliminary field studies of biometric person authentication (Fig.6).

With equal error rates EER of 1% for verification and 2-3 % for identification we are worldwide in the leading group. In addition the performance of our BiSP system can be significantly improved by integrating further novel sensors and by fusion of diverse software algorithms and biometric methods (Fig. 8). BiSP shows a striking ability to extract biometric traits from diverse sensor signals which are measured online with high resolution and speed. It is possible to identify individual per-

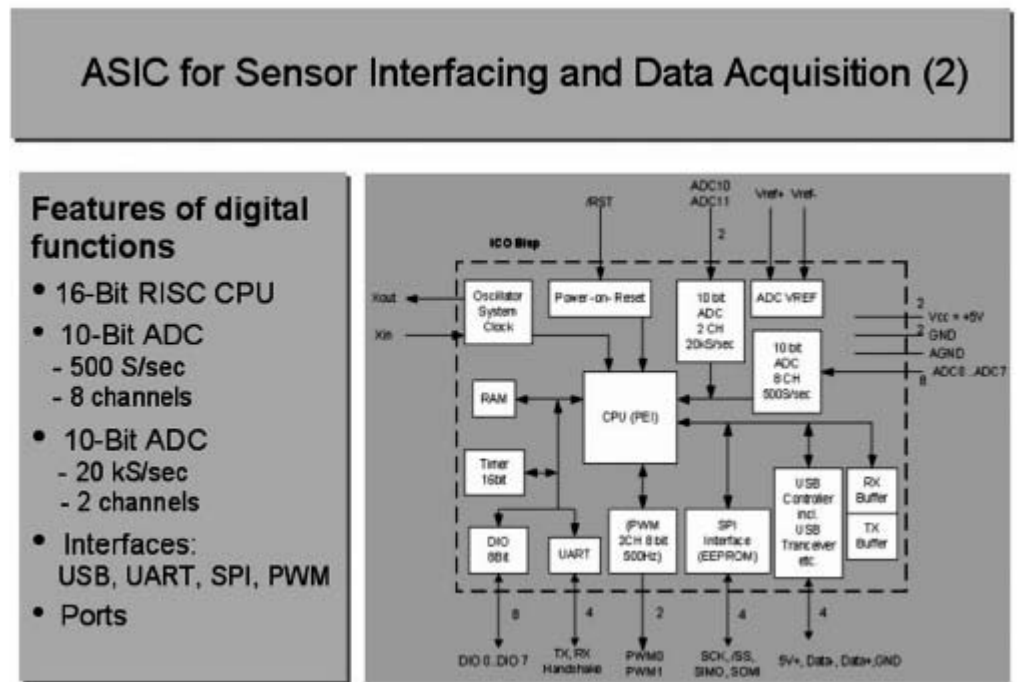
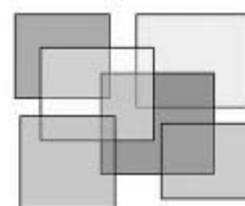


Fig. 5: Digital module of the ASiC

• Neural Networks (NN)/Uni Passau
• Support Vector Machines (SVM)/Uni Passau, Heidelberg
• Hidden Markov Chains (HMC)/ Uni Passau, Heidelberg
• Dynamic Time Warping (DTW)/ Uni Frankfurt, Pilsen
• Statistical methodes and Fuzzy Logic(SigID)/ Fh-Regensburg



Tab.2: Software classifiers based on modern algorithms are for extraction and classification biometric and neuromotoric features



Fig. 6: BiSP prototype and its capability of application

- person verification and identification for access control or security to machines, rooms, services in business, legal and private sectors
- digital biometric signature for eCommerce, eGovernment, eDocumentation and eData-management
- biometric data for smart cards or health cards

sons among a large set of subjects enrolled in a data base with handwritten templates (e.g. signatures or text). Typical biometrics applications of BiSP are

- person verification and/or identification for access control and security to machines, rooms and services in business, legal and private sectors
- input of digital biometric signature for eCommerce, eGovernment, eDocumentation and eDatamanagement
- input of biometric data for smart cards or health cards with biometric match on the chip (MOC)

A promising BiSP device for access control or security is our low cost "Biometric PIN Identification System „BioPIN ID" based on integrated microphone und pressure sensors (Fig. 7). In a 1st step a person is identified by the acoustic character recognition of its PIN. In a 2nd step the recognized person is verified by comparison of the biometrical features with data stored in a Bio database.

This pen device is well suited for a combination of behavioral and physiological biometrics leading to a multimodal biometric pen based system for person authentication when a very high performance and security is required (Fig. 8).

II MeDiPen for diagnostics and therapy in health care such as in Medicine, Pharmacology, Psychology

Analysis of human neuromotor disorders

Fine motor function of the hand and fingers is an important indicator for disorders generated by illness, stress, medication or drug consumption. The analysis of handwriting movements is thus a well suited method for the diagnosis of psychomotor dysfunction, exa-

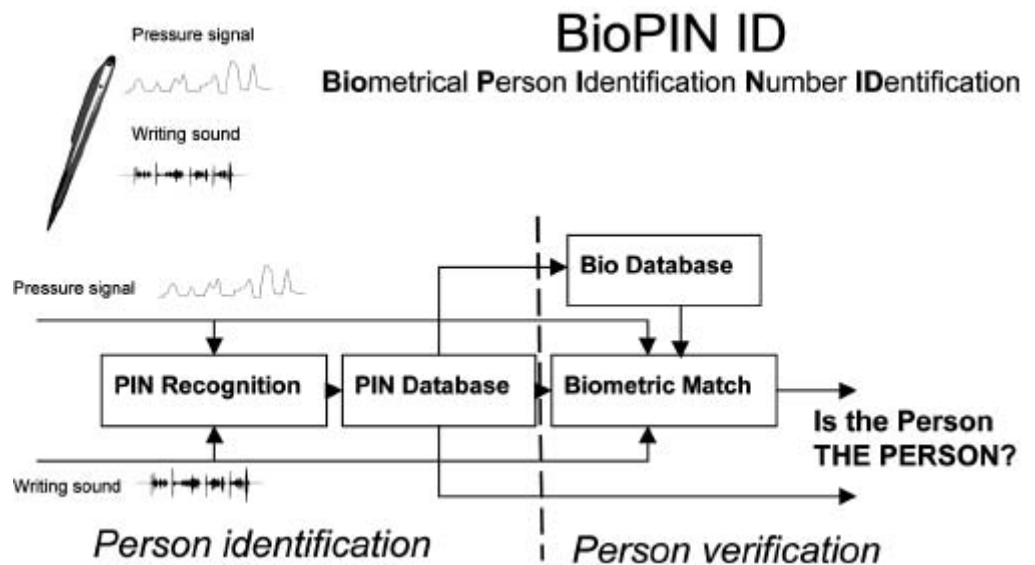


Fig. 7: Multimodal BioPIN ID based on microfon and pressure data

Multimodal Biometric Pen Based Authentication



Fig. 8: Multimodal Biometric Pen based Person Authentication system

mination of disease progression, or monitoring of a human under medication, stress or on drugs.

Our group is currently extending BiSP applications to the medical and pharmaceutical area. Sensor technologies and electronics are continuously developed for the utilization of the system in this area. Also, the software SigID renders very useful assistance for rapid discriminant analysis in medical classification tasks.

Our collaboration with German and international universities (Fig. 11) focuses on the measurement and classification of fine motor movements of the hand and fingers. In a preliminary study we



Fig. 9: MeDiPen applications

have shown that physical exercise stress has a significant impact on characteristic handwriting features (Fig. 10). We monitored fine motor function before and after exhaustive physical stress with (1) a commercially available hand grip squeezer and (2) with a bicycle ergometer. Results demonstrate that our system can detect and classify the different states of exercise by means of traces written by the probands using our MeDiPen. The system is even able to monitor the recovery from exercise to normal condition. These results demonstrate that our MeDiPen / SigID system is universal, i.e. it is essentially sensitive to fine motor dysfunctions as well as to temporal changes of traits concealed in the handwriting performance of patients.

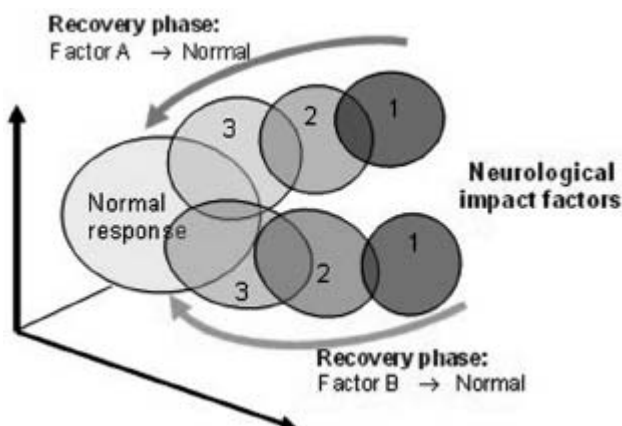


Fig. 10: Assessment of neuromotor function under physical stress
Time dependent discriminant analysis in feature space for diagnostic classification

Our 5-channel MeDiPen offers multiple applications in medicine, psychiatry and in the pharmaceutical area, and it is highly superior to conventional tablet-based pen devices. Particularly, we see a high potential for applications in clinical trials (effect of drugs on fine motor coordination and psychomotor performance), patient monitoring (remote and mobile control, telemedicine) and psychology and education (diagnostic and therapy):

Application areas are

- Medicine
- Pharmacology
- Psychiatry and Pediatrics
- Psychology and Education
- Clinical trials (Phase I - IV)
- Home care
- Biofeedback
- Graphonomics

The focus of MeDiPen applications in medicine, pharmacology and psychology are:

- Diagnostics and therapy of neuromotor dysfunction such as Parkinson, Multiple Sclerosis, Epilepsy etc.
 - Monitoring of humans under drug treatment, under physical or mental stress, or on drugs (patient monitoring and medication control)
 - Symptom assessment and therapy in psychology and education (ADDS ect.)
 - Correlation of MeDiPen with other diagnostics (EEG, NMR-CT)
- Presently, clinical field tests are being launched with focus on medication and symptom control in neuroleptica treated patients. Main issue of this work is the introduction of our pen-based, multi-sensor writing device (MeDiPen) into the medical and pharmaceutical area, addressing the issue of „qualitative and quantitative analysis of clinical or pharmacogenic fine motor dysfunctions“.

Of particular interest is the examination of pathological neuromotor disorders and neurotoxic effects manifest under drug treatment, and the definition of standard measures in medical trials.

Following this line, we are intensifying our collaboration with technological, medical and pharmaceutical companies in order to develop commercially relevant products for the international market.

III SUMMARY

Fields of research

Because of its user-friendly design and high performance with immediate database access and online signal evaluation, MeDiPen is suited equally well for large field trials, the monitoring of drug effects in individuals, and for various diagnostic and therapeutic

purposes. The system is unique and in many respects superior to current digitizing pen or tablet devices: it can be used with arbitrary paper pads, and it will be equipped with a diversity of novel low cost sensors featuring a multifunctional, multimodal tool.

The main issue of our present activities is the development of (1) applications for a pen device analyzing fine motor functions of human individuals, (2) algorithms and software for the evaluation of time series in medicine, pharmacology, psychology and biometrics:

- Behavioral diagnosis and therapy of neuromotor dysfunction
- Monitoring of humans under drug treatment, under stress or on drugs
- Symptom assessment and therapy in psychology and education
- Biometric classification and authentication of human individuals
- Biometric security to documents, machines and territories

Current projects

- Design of pen-based system equipped with sensors measuring finger grip pressure, tilt, tip position and vibrations generated during handwriting or a gesture
- Pattern recognition and classification of hand motor performance in neurology, psychology, psychiatry and pediatrics
- Mathematical methods and computation in medical biometry and biometrics
- Development of software engine for the evaluation of biometric traits.

Collaboration proposal

- Fusion of diverse sensors, software classifiers and biometric and diagnostic methods (multimodal biometrics, hybrid diagnostics)
- Testing drug administration and dosage
- Monitoring pharmaceutical side effects
- Analyzing the neuromotoric effects of legal drugs such as nicotine or alcohol
- Diagnosis of neuromotor dysfunction resulting from Parkinson’s disease and Epilepsy
- Correlation of MeDiPen and EEG data sampled during handwriting or drawing

Co-Operations

Universities

- Frankfurt/Main (Prof. Dr. R. Brause)
- Passau (Prof. Dr. Grass, Dr. habil. B. Sick)
- Heidelberg (Prof. Dr. F. Hamprecht)
- Pilsen (Prof. Dr. V. Matousek)
- Prag (Prof. Dr. M. Novak)
- Regensburg (Prof. Dr. K. Lange, Dr. A. Tucha)

- Tokyo TUS (Prof. Dr. S. Hangai)
Hospitals
- Universitätsklinik-Neurologie-Frankfurt (Prof. Dr. H. Steinmetz, Dr. med. Kessler)
- Bezirkskrankenhaus Taufkirchen (Prof. Dr. med. M. Dose)
- Universitätsklinik Regensburg (Prof. Dr. med. G. Schmitz)
(see Fig. 11)

Publications (2004-2005)

- Hook, C; Kempf, J; Scharfenberg, G.: A Novel Digitizing Pen for the Analysis of Handwriting in Biometrics. ECCV 2004 Int. Workshop, BioAW 2004, Prague. Lecture Notes in Computer Science. Springer 2004, D. Maltoni, A. K. Jain (Eds.)
- Kempf J; Hook, C; Scharfenberg, G; Lipfert C.: Assessment of Fine Motor Characteristics of Handwriting Movements Using a Multi Channel Digitizing Smart Pen. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (gmds), GMDS2004 26.-30.9.04, Innsbruck (A). German Medical Science 2004
- Kempf J; Hook, C; Scharfenberg, G.: BMBF-Forschung Konkret; Ausgabe 04, Februar 2005: „Der aussagekräftige Stift“ http://www.bmbf.de/de/forschung_konkret.php
- J.Kempf, C. Hook IT-Bayern-Schriftenreihe des Bayerischen Wirtschaftsministeriums 2005: „Multifunktionales Schreibsystem BiSP für biometrische Personen-Authentifizierung und neuromotorische Diagnose mittels handschriftlicher Bewegungen“ (submitted)
- Feistner, L.I.; Hamprecht, F.A.; Hook, C., Kempf, J.: Dynamic signature verification using a pressure-sensitive pen. Pattern Recognition (submitted).

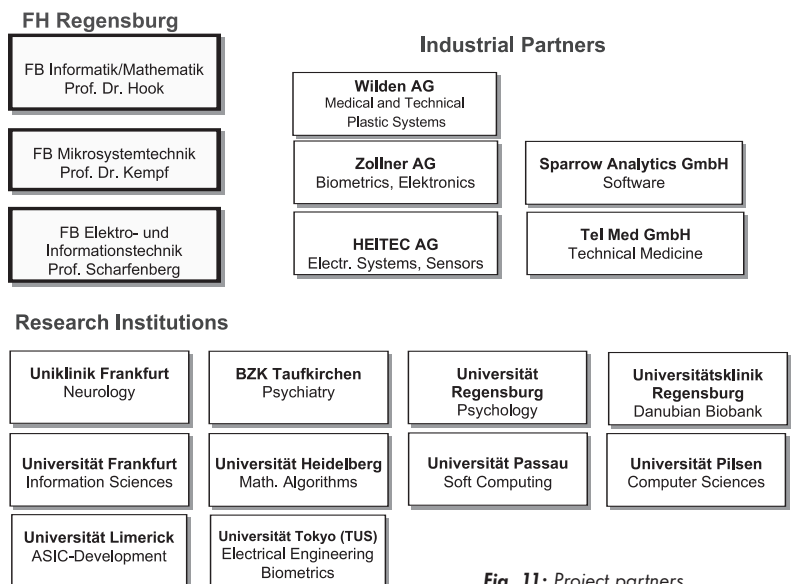


Fig. 11: Project partners

Papers and Posters

- Multifunctional Pen Device for Biometrical User Authentication. 1. Regensburger Security IT Kongresses, IT-Speicher Regensburg 2004
- Biometric Smart Pen BiSP für Anwendungen in der Biometrie und Neurologie. Jahr der Technik, FH Regensburg, 2004
- The 8th European Conference on Computer Vision - ECCV 2004, Biometric Authentication Workshop; Prag Mai 2004
- Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrik und Epidemiologie gmds2004; Innsbruck September 2004
- Unternehmerworkshop Sensorik. BiSP-Projekt, Infineon AG, Regensburg Nov. 2004
- Biometrical And Medical Smart Pen BioMediPen, Strategische Partnerschaft Sensorik, Regensburg, Biopark Regensburg, Dezember 2004
- Biometrical And Medical Smart Pen BioMediPen, BiSP-Workshop 2004 Regensburg
- Biometric Smart Pen "BiSP" for Biometric Person Authentication and Medical and Diagnostic Smart Pen MeDiPen for diagnostic and therapy in health care, IT-Talk, Cebit05

International Fairs

- MEDICA 2004, Düsseldorf, 24 - 27 Nov. 2004; Massachusetts Office of International Trade and Investment Europe, Hall 3/G44; Exhibit: "BiSP-System" in Kooperation mit TelMed Medizintechnik GmbH
- CeBIT 2005, Hannover, 10 - 16 März 2005 - Exhibit: BiSP-Systems ; Stands: "Bavaria is IT" and "Bayern Innovativ"; IT-Talk/ Kempf: Biometric Smart Pen "BiSP" for Biometric Person Authentication and Medical and Diagnostic Smart Pen MeDiPen for diagnostic and therapy in health care

Workshops (Organised by BiSP Regensburg)

- Workshops: BiSP-Regensburg, an der FH Regensburg 2004, more than 30 participants

Thesis and student projects

- 11 master and undergraduate projects
- 12 diploma thesis
- 1 master thesis
- 1 doctoral thesis

Awards

- Förderpreis der Edmund-Bradatsch-Stiftung 2004

Patents (04/05)

- Kempf J.: Biometrisches Schreibsystem und Verfahren zur Personenidentifikation und Handschriftenerkennung mittels biometrischer Daten, Eingereicht beim Europäischen Patentamt (PCT-Anmeldung 2004), Patent pending.
- Hook Chr., Kempf J.: Multifunktionales, schreibstiftförmiges Peripheriegerät PERIPEN zur Cursorsteuerung und zur Eingabe biometrischer Signaturen für PC, Notebook und PDA, Patent pending.
- Kempf J., Hook Chr.: Multifunktionales biometrisches Eingabesystem BioMediPen zur digitalen Erfassung der 3D-Kinematik und Dynamik handgeführter Bewegungen im Computer, Patent pending.

Foundations

- DAAD: „Projektbezogener Personenaustausch mit der Tschechischen Republik 2005/2006 (PPP Tschechien)
- BMBF- Foundation, AiF 2002
- Bradatsch-Foundation: Awards 2003, 2004
- Scheubeck-Jansen Foundation
- International Scholarship of Marek Soule: for the PhD thesis at the University of Applied Sciences (FH-Regensburg), granted by the „Bayerisches Wissenschaftsministerium