

Stella Clarke-Griebisch

**Overcoming the Network Problem  
in Telepresence Systems  
with Prediction and Inertia**



Herbert Utz Verlag · München

## **Forschungsberichte IWB**

Band 205

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2006

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die  
der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von  
Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem  
oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Daten-  
verarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugs-  
weiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2008

ISBN 978-3-8316-0701-3

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utz.de](http://www.utz.de)

## **Editor's Preface**

Production engineering is of central importance to the continuous development of our industrial society. The performance capacity of manufacturing companies is highly dependent on the utilised resources, the applied production techniques, and the implemented organisation strategies. Guaranteeing a company's success entails an ideal combination of technology, organisation and workforce management.

Achieving an optimal configuration of cost, time and quality is a highly complex and intricate task which requires production strategies to be continuously monitored, reviewed and enhanced. This involves both a reduction in, and a sound understanding of, the complexity of products, manufacturing systems and operations.

The *iwb* strives to continually improve production systems, planning processes and manufacturing technologies. In each of these aspects, particular focus is given to employee-oriented requirements. Despite an increase in the degree of automation, human employees play an important role in the product development process, and need to be optimally integrated into the manufacturing process.

The research presented in this document is part of a series which spans through the various research areas of the *iwb*. These areas range from the development and planning of production systems as a whole, to more specific technologies such as individual manufacturing and assembly processes. Research in supply chain management and changeable production systems is aimed at optimising production processes. Virtual production methods such as simulation tools are implemented at all levels of the production process, for testing and evaluation purposes. In terms of manufacturing technologies, the *iwb* conducts innovative research and develops new concepts in the areas of microassembly and handling, bonding processes, mechatronics, rapid manufacturing and laser technologies.

The *iwb* research series presents new results and findings which are highly relevant to the industrial world, and therefore serves as a transferral of knowledge between the university and industry.

*Gunther Reinhart*

*Michael Zäh*

*“E tipu e rea, mo nga ra o to ao  
Ko to ringaringa ki nga rakau a te pakeha,  
Hei oranga mo to tinana,  
Ko to ngakau ki nga taonga a o tipuna,  
Hei tikitiki mo to mahuna,  
Ko to wairua ki Te Atua,  
Nana nei na mea katoa.”*

Grow up o tender youth,  
Fulfil the needs of your generation,  
Your hands master the arts of the Pakeha  
For your material well being.  
Your heart cherish the treasures of your Maori ancestors  
As a plume for your head,  
Your spirit to God,  
Author of everything

Sir Apirana Ngata

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Telepresence Systems	1
1.1.1	Teleoperator	2
1.1.2	Operator	2
1.1.3	Communication Layer	3
1.2	Telepresence Applications	4
1.3	The Network Delay Problem	5
1.4	Communication Networks	5
1.4.1	Definitions	6
1.4.2	Communication Hardware	7
1.4.3	Communication Software	12
1.4.4	Problem Sources in Communication Networks	14
1.5	Research Goals	15
1.6	Overview of the Thesis Structure	16
<b>2</b>	<b>Previous Work</b>	<b>19</b>
2.1	Overview of Existing Research	19
2.2	Analysis of the Time Delay Problem	20
2.2.1	Typical Network Delay Times	20
2.2.2	Effect of Time Delay on Telepresence	21
2.3	Overcoming the Time Delay Problem	21
2.3.1	Predictive Displays	21
2.3.2	Control Methods	23
2.3.3	Movement Prediction	24
2.4	Inertial Considerations in Haptics	26
2.5	Evaluation of Current Research Stand	26

<b>3</b>	<b>Research Question 1: Inertial Influence</b>	<b>29</b>
3.1	Overview	29
3.2	Inertia in Haptic Devices	30
3.2.1	Definition of Inertia	30
3.2.2	Simulating Inertia in Haptic Devices	30
3.3	Motivation for Inertia Considerations	32
3.3.1	Increased dynamic data smoothness	32
3.3.2	Reduced choppiness in operator movements	33
3.4	Experimental Design	33
3.4.1	Initial Experiment: Human Sensitivity Analysis	35
3.4.2	Main Experiment: Influence of Inertia on Operator Performance	40
3.5	Experimental Results	54
3.5.1	Initial Experiment	54
3.5.2	Main Experiment	56
3.6	Section Conclusion	61
<b>4</b>	<b>Research Question 2: An Optimal Algorithmic Implementation</b>	<b>63</b>
4.1	Introduction	63
4.2	Overview of Algorithmic Approaches	66
4.2.1	Characteristics of an Optimal Algorithm	66
4.2.2	Considered Algorithms and Implementations	66
4.3	Introduction to Selected Algorithms	68
4.3.1	Filter Techniques and the Kalman Filter	68
4.3.2	Double Exponential Smoothing	74
4.3.3	Neural Networks	77
4.3.4	Support Vector Regression	82
4.3.5	Summary of Algorithms	93
4.4	Experimental Procedure	93
4.4.1	Algorithmic Implementations	94
4.4.2	Combined Prediction and Deadband	95
4.5	Experimental Results	97
4.5.1	Optimal Algorithm	97

4.5.2	Combined Deadband and Prediction	98
4.6	Section Conclusion	102
<b>5</b>	<b>Evaluation</b>	<b>103</b>
5.1	Overview	103
5.1.1	Hardware	103
5.1.2	Software	106
5.1.3	Experimental Procedure	107
5.2	Experimental Results	108
5.2.1	Prediction for Delay Compensation	108
5.2.2	Prediction for Compression	112
5.3	Discussion of Results	112
5.3.1	Analysis of Prediction Time	113
5.3.2	Overshooting	114
5.4	Section Conclusion	116
<b>6</b>	<b>Conclusions and Future Work</b>	<b>117</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>119</b>

**Abbreviations**

AARNet	Australian Research and Education Network
ANN	Artificial Neural Network
DC	Direct Current
DESP	Double Exponential Smoothing
DFN	Deutsches Forschungsnetz
DIN	Deutsches Institut für Normung
DOF	Degree of freedom
ECNN	Error Correction Neural Network
GLUT	OpenGL Utility Toolkit
HTML	Hypertext Markup Language
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
JND	Just Noticeable Difference
LAN	Local Area Network
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
NAP	Network Access Provider
NSP	Network Service Provider
OpenGL	Open Graphics Language
POP	Point of Presence
PSE	Point of Subjective Equality
RMSE	Root Mean Square Error
RTT	Round Trip Time
SDK	Software Development Kit
SVM	Support Vector Machine
SVR	Support Vector Regression
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UML	Unified Modelling Language
URL	Uniform Resource Locator
VESA	Video Electronics Standards Association
WLAN	Wireless Local Area Networks
w.r.t.	With respect to



## List of Figures

Figure 1.1: Components of a typical telepresence scenario. ....	1
Figure 1.2: Various commercial haptic devices. (MASSIE et al. 1994; LINDE et al. 2002; IMMERSION 2006) .....	3
Figure 1.3: Two-node network representation showing data flow between two computers. ....	6
Figure 1.4: Typical Internet infrastructure showing various networks and communication lines. ....	8
Figure 1.5: Internet infrastructure showing the hierarchy of NSPs and ISPs. ....	9
Figure 1.6: Possible router routes between two computers on the Internet. ....	9
Figure 1.7: Electrical, fibre optic, and wireless communication media. ....	10
Figure 1.8: Layered network model showing TCP/IP and UDP/IP. ....	13
Figure 1.9: Diagram of thesis structure. ....	17
Figure 2.1: Diagram of chapter structure. ....	19
Figure 2.2: Typical network round trip times for various network types. ....	20
Figure 2.3: Operation of predictive displays. ....	22
Figure 2.4: Main components of a teleoperation system (ARCARA et al. 2002). ....	23
Figure 2.5: Prediction to smoothen drawing of the letter “C” (GUTWIN et al. 2003)...	26
Figure 3.1: Diagram of chapter structure. ....	29
Figure 3.2: Mechanics of a force feedback joystick. ....	31
Figure 3.3: Data extracted under different inertia conditions. ....	33
Figure 3.4: Experimental design to answer Research Question 2. ....	34
Figure 3.5: Graphical explanation of PSE and JND. ....	36
Figure 3.6: Staircase method to determine PSE for inertia in the PHANToM device. 37	
Figure 3.7: Psychometric function showing detection rates against stimulation intensity. ....	39
Figure 3.8: Initial experiment task to determine PSE and JND for inertia. ....	39
Figure 3.9: Typical network packet path between Garching, Germany, and Wollongong, Australia. ....	41

## List of Figures

---

Figure 3.10: Three-dimensional hotwire telepresence task for main experiment. ....	42
Figure 3.11: Distance of torus centre to path centre in the hotwire experiment.....	43
Figure 3.12: Vectorial contact force between torus and path in the hotwire experiment. .....	44
Figure 3.13: Hardware setup for the hotwire experiment.....	45
Figure 3.14: Hardware components for the hotwire experiment.....	45
Figure 3.15: Mechanism behind CrystalEyes shutter glasses.....	46
Figure 3.16: UML time sequence diagram for the hotwire experiment. ....	49
Figure 3.17: UML class diagram for the hotwire experiment. ....	51
Figure 3.18: Staircase method in the initial experiment to determine JND. ....	55
Figure 3.19: Comparison of typical local and international performances for the hotwire experiment. ....	56
Figure 3.20: Hotwire experiment performance example under international network conditions. ....	57
Figure 3.21: Recorded round trip times during the hotwire experiment, also clearly showing jitter. ....	57
Figure 3.22: Box plot of offset_Y vs. network for the hotwire experiment. ....	58
Figure 3.23: Box plot of stdDev_Y vs. network for the hotwire experiment.....	59
Figure 3.24: Individual value plot showing the influences of both network and inertia for the hotwire experiment.....	60
Figure 3.25: Interaction plot for the hotwire experiment. ....	60
Figure 4.1: Using function approximation to generate a prediction.....	63
Figure 4.2: Combining prediction with the deadband approach.....	64
Figure 4.3: Reduced bandwidth through combining deadband and prediction.....	64
Figure 4.4: Diagram of chapter structure.....	65
Figure 4.5: Graph showing the trade-off between calculation time and accuracy. ....	66
Figure 4.6: Translation and rotation axes of the PHANToM haptic device.....	69
Figure 4.7: Explaining the Kalman Filter: Predicted and measured positions, $x_n$ and $y_n$ , respectively. ....	69
Figure 4.8: A Neuron Cell showing the origin of neural network components. ....	78
Figure 4.9: Artificial representation of a neuron. ....	78

---

Figure 4.10: Three layered neural network structure.....	79
Figure 4.11:Architecture of the ECNN incorporating overshooting (ZIMMERMANN et al. 2001). .....	81
Figure 4.12: The maximal margin idea for SVM classification. ....	83
Figure 4.13: Graphical comparison of SVM maximal margin hyperplane vs. another possible hyperplane.....	83
Figure 4.14: Mathematically obtaining the maximal margin in SVM classification. .	84
Figure 4.15: Accounting for slack variables in Support Vector Regression. ....	90
Figure 4.16: Experimental procedure taken to determine the most accurate prediction algorithm. ....	93
Figure 4.17: Microassembly telepresence scenario for combined deadband and prediction. ....	95
Figure 4.18: Close-up of the microassembly telepresence scenario showing the three translational axes.....	96
Figure 4.19: Graph showing two possible implementations of the DESP algorithm in the deadband approach.....	96
Figure 4.20: Graph of accuracy results for all four prediction algorithms. ....	97
Figure 4.21: Graph showing the performance of various alpha values in terms of RMSE.....	98
Figure 4.22: Graphical comparison of two different alpha values. ....	99
Figure 4.23: Graphical results of DESP with constant alpha. ....	100
Figure 4.24: Graphical results of DESP with dynamic alpha.....	100
Figure 4.25: DESP: Graphical results of conditionally keeping the original data. ....	100
Figure 4.26: Comparing the performance of the three tested DESP implementations. ....	101
Figure 5.1: Incorporating the two research questions into the evaluation scenario....	103
Figure 5.2: MEMS motor shown against a strand of human hair.....	104
Figure 5.3: MEMS assembly task for the evaluation scenario. ....	105
Figure 5.4: MEMS motor upon which the evaluation scenario was based (UW-WISCONSIN 1990). ....	105
Figure 5.5: Flow chart representation of the software for the evaluation.....	106

## List of Figures

---

Figure 5.6: Simulating network delay with a buffer.....	107
Figure 5.7: One step prediction with DESP in the evaluation scenario.....	108
Figure 5.8: Two step prediction with DESP in the evaluation scenario.....	109
Figure 5.9: Three step prediction with DESP in the evaluation scenario.....	109
Figure 5.10: Four step prediction with DESP in the evaluation scenario.....	110
Figure 5.11: Five step prediction with DESP in the evaluation scenario. ....	110
Figure 5.12: Comparing ‘RMSE Predicted’ with ‘RMSE Delayed’ showing the improved operator performance due to prediction. ....	111
Figure 5.13: Five step prediction with DESP in the evaluation scenario. ....	112
Figure 5.14: Graph of prediction performance for higher prediction times to determine an upper limit to the effectiveness of prediction. ....	113
Figure 5.15: Graph showing how various prediction approaches can be optimal depending on the prediction time.....	114
Figure 5.16: Prediction example showing the presence of overshooting. ....	115
Figure 5.17: Graph showing the increased magnitude of overshooting with increased prediction time. ....	116

**List of Tables**

Table 3.1: Various force feedback actuation methods.....	31
Table 3.2: The six various experimental settings for the hotwire scenario. ....	52
Table 3.3: The six possible sequences of experiments for the human subjects.....	53
Table 3.4: The order of experiments for all participants. ....	54
Table 4.1: Various Alpha Values for Double Exponential Smoothing. ....	76
Table 4.2: List of Kernel Functions for Support Vector Regression.....	92

## List of Symbols

Symbol	SI unit	Meaning
$\alpha$	-	single smoothing constant
$\alpha_i$	-	Lagrangian multiplier
$A$	-	weight matrix
$b$	-	offset matrix
$B$	-	weight matrix
$C$	-	weight matrix
$COV$	-	covariance
$d$	-	input space dimension
$D$	-	weight matrix
$\mathcal{E}$	-	precision variable
$f$	-	function
$F$	N	force
$\gamma$	-	double smoothing constant
$g_n$	-	first trade-off factor
$h_n$	-	second trade-off factor
$I$	kg*m <sup>2</sup>	moment of inertia
$k(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$	-	kernel function
$K$	-	trade-off constant
$\ell$	-	number of training inputs
$L$	-	Lagrangian function
$m$	-	number of steps ahead to predict
$\rho$	-	margin width
$p$	-	significance factor
$P$	-	polynomial degree
$\Phi$	-	mapping to feature space
$\mathbb{R}$	-	set of real numbers
$s_t$	-	state transition
$S_t$	-	smoothed observation
$T$	s	sampling period

## List of Symbols

---

$u$	-	external influences variable
$VAR$	-	variance
$w$	-	weight vector
$W$	-	optimisation function
$x$	m	position
$\dot{x}$	ms <sup>-1</sup>	velocity
$\ddot{x}$	ms <sup>-2</sup>	acceleration
$y$	-	observation
$y_i$	-	output equation
$\xi$	-	slack variable
*	-	estimate indicator

# 1 Introduction

## 1.1 Telepresence Systems

Telepresence refers to the “phenomenon that a human operator develops a sense of being physically present at a remote location through interaction with the system’s human interface, i.e. through the user’s actions and the subsequent perceptual feedback he/she receives via the appropriate teleoperation technology” (IJSELSTEIJN et al. 2000). This remote location usually contains a robot performing a certain task with the help of the user.

Figure 1.1 shows the three key components of telepresence scenarios: (1) the human “operator”, to remotely control the task to be completed, (2) the telerobot or “teleoperator” to carry out the required task on site, and (3) a suitable communication platform, to handle the fast and secure exchange of data, and to monitor the software components within the system. In order to efficiently fulfil the given task, the human operator is equipped with the necessary input devices and feedback information to guarantee an intuitive working environment.

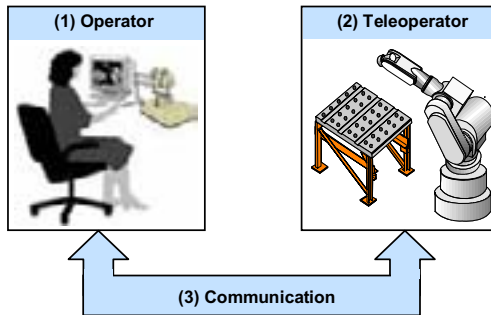


Figure 1.1: Components of a typical telepresence scenario.

All telepresence systems involve human presence in the control loop. Since setting up such a system is still a relatively tedious task, the implementation of telepresence systems needs to be justified. Indeed, there exist numerous applications for which telepresence is the superior solution in comparison to automating the process or having it carried out through direct human contact. Typical applications include remote surgery, bomb disposal, and satellite repair. A deeper review of telepresence applications and their justification is given in Section 1.2.



As with all tasks to be accomplished, the goal of telepresence systems is to complete the required task as well and as efficiently as possible. Since the human is present in the telepresence control loop, a particular aim of telepresence systems is to guarantee an intuitive working environment for the human operator. The operator should feel *immersed* in the working environment, and two similar terms exist to quantify this: immersion and presence. Immersion refers to a human's sense of engagement within an environment; an immersive application fools the user into believing that he/she is actually there. Presence refers to a psychological state or subjective perception in which even though part or all of an operator's current experience is generated by human-made technology, part or all of the individual's perception fails to accurately acknowledge the role of the technology in the experience (ISPR 2000). Much research, including this thesis, is dedicated to improving the immersion and presence of telepresence systems.

The next three sub-sections are dedicated to explaining each of the three telepresence system components from Figure 1.1.

### 1.1.1 Teleoperator

The Teleoperator carries out the task to be achieved by the telepresence system. Since a wide range of possible teleoperators exists, there is no single way to describe them. They all, however, possess sensors. Sensors are required to provide the operator with all the necessary feedback information to efficiently complete the task. Teleoperators are usually equipped with a vast array of sensors, such as force sensors, contact sensors, and light sensors or cameras. An in depth look at sensor technologies in teleoperators is given in (SCHILP et al. 2004).

### 1.1.2 Operator

The sensor data from the teleoperator is displayed to the human operator. There are five human senses: sight, touch, sound, taste and smell. Sight, or visual feedback, is present in almost all telepresence systems. Touch through haptic input devices is also widely used. Sound feedback is in use but less widespread than the first two senses, and the final two senses are rarely found in telepresence systems nowadays.

For humans, sight is the most crucial of the senses for perceiving the world around us (NRC 1998). Visual feedback can include live video stream, a virtually rendered representation of the teleoperator environment, or both. A comparison of various visual feedback methods is given in (PETZOLD et al. 2004).

Of particular interest to this research is force feedback through haptic input devices. These devices receive force data from the teleoperator side, often from a force sensor, and display this data through a haptic device. Various commercial haptic input devices exist, as illustrated in Figure 1.2. Such devices vary according to their degrees of

freedom (both motion and force), magnitude of force feedback, workspace volume, and intended input mechanism. For example, the Impulse Stick (IMMERSSION 2006) has three motion degrees of freedom, two force feedback axes, and a maximum force of 14.5 Newtons. The PHANToM 6 DOF (MASSIE et al. 1994) has six motion and force degrees of freedom and a maximum translational force of 8.5 Newtons. Relevant to this research is the simulation of inertia in haptic devices, which will be discussed in greater detail in Section 3.2.2.



*Figure 1.2: Various commercial haptic devices.  
(MASSIE et al. 1994; LINDE et al. 2002; IMMERSSION 2006)*

Sound feedback in telepresence systems has been increasing in popularity, especially three-dimensional sound feedback (KEYROUZ et al. 2006). Haptic impressions can also be significantly enhanced by simultaneously playing certain sounds. For example, hard contact with a wall can appear harder by simultaneously playing a suitable knocking sound.

### 1.1.3 Communication Layer

The communication layer provides the means through which data is transferred back and forth between the operator and teleoperator. Data must be transferred at high rates and with low amounts of losses; otherwise the data sent from the operator to the teleoperator and vice versa will be distorted, delayed or even false. Such a distortion is likely to disturb the stability of the teleoperator, and reduce the sense of presence experienced by the human operator.

Since the communication layer is highly relevant to the research in this thesis, an in depth explanation of the mechanisms behind this layer is given in Section 1.4.

The three telepresence components described above represent a basic system configuration. It is possible for systems to deviate from or expand upon this model. For example, instead of the operator receiving force values from a sensor on the teleoperator-

side, (GOLLE et al. 2004) uses a local force model and (ZAEH et al. 2004) uses a local virtual force sensor to obtain forces. Also possible is the existence of multiple operators and teleoperators, as in (DALTON et al. 1998). The exact configuration of a system is largely related to its application. Typical telepresence applications are outlined in the next section.

### 1.2 Telepresence Applications

As mentioned in Section 1.1, the use of telepresence technologies to complete a task needs to be well reasoned. Implementing telepresence can be justified if one or more of the following conditions holds true:

1. *The task needs to be carried out manually.*  
For some reason, automation is ruled out. This is the case in telepresent surgery (TODD et al. 2005), where the ability of highly trained surgeons can be utilised at various remote distances .
2. *Human presence in the working environment is dangerous, but human intelligence is required to control the task.*  
In this case, the human is transported to a safe working environment, and completes the task in a telepresent manner. Examples include mining, bomb disposal, military operations, rescue of victims from fire, and toxic atmospheres.
3. *A safe working environment is possible, but highly inaccessible for humans.*  
Typical applications include all space applications such as planetary exploration, and deep sea operations.
4. *A safe and accessible working environment is present, but the required geometric scale is difficult for a human to achieve.*  
Small scale production of micro and smaller sized components fits into this category, where humans are incapable of directly working at such small dimensions. On the other side of the scale, tasks involving large dimensions, such as building demolition, can also benefit from telepresent setups.
5. *Any other solution would be more expensive.*  
Although telepresence technologies are often expensive, it can offer the most cost effective solution. For example, repairing a satellite in space can be cheaper through the use of a teleoperator, which has no human requirements such as oxygen and food. Deep sea applications involving deep water divers are also very expensive due to safety regulations, hyperbaric equipment, time spent in decompression, and support vessel costs.
6. *Educational benefits exist.*  
The benefits of enabling school children to take an active part in exploration have been shown by the JASON and the NASA Ames Research Centre programmes (STREBE 2002). The ability of a pupil, student, or researcher to ex-

ploring an otherwise inaccessible location is a very attractive proposition. Examples include locations where the passage of too many people is harming the immediate environment or the artefacts themselves, such as undersea exploration of coral reefs and ancient Egyptian tombs.

In addition to the listed reasons and applications, less serious applications for telepresence exist, which may become more wide spread when they become more cost effective. An example is the entertainment industry. Telepresence could be incorporated into theme parks to enable visitors to explore other planets and climb the highest mountains. In amusement parks, visitors could enjoy the thrills of a roller coaster ride while remaining in a safe environment.

Because all of these applications possess some kind of communication mechanism, they are all susceptible to the network delay problem.

### **1.3 The Network Delay Problem**

Network delay is a well known problem in telepresence systems. Delays in the communication layer can have adverse effects on both the teleoperator and the operator. Stability issues on the teleoperator-side are a major concern. Much research is dedicated to control architectures which guarantee stability of the teleoperator. In the presence of time delays, many such architectures break down.

On the operator-side, network delays can also have negative stability effects on the haptic device. Even if the operator-side runs in a stable manner, the presence of delays decreases the operator's sense of presence in the working environment. This, in turn, reduces the effectiveness with which the telepresence task is completed. As will be shown in this research, network delays can make a task almost impossible to complete, and can also increase user frustration to the point that they are mentally unable to finish the operation.

Numerous research undertakings have proven the adverse effects of network delays, as will be outlined in Section 2.2.

### **1.4 Communication Networks**

This section provides an overview of the communication networks involved in telepresence systems. First important definitions are presented, followed by an explanation of the hardware and then the software involved in telepresence communication networks.

## 2 Previous Work

### 2.1 Overview of Existing Research

This chapter outlines existing work relevant to the research in this thesis. Figure 2.1 shows the chapter layout. The first two sections concentrate on the time delay problem. Section 2.2 looks at studies which have analysed the effects of time delay on operator performance and immersion, and confirmed it to be a problem. Section 2.3 outlines existing methods which aim to overcome the time delay and network problem in telepresence and similar scenarios, including predictive displays and movement prediction. Section 2.4 is devoted to existing work regarding simulated inertia in telepresence and haptic devices, which is a less researched area relevant to the first research question of this thesis. Finally, Section 2.5 evaluates the current research stand.

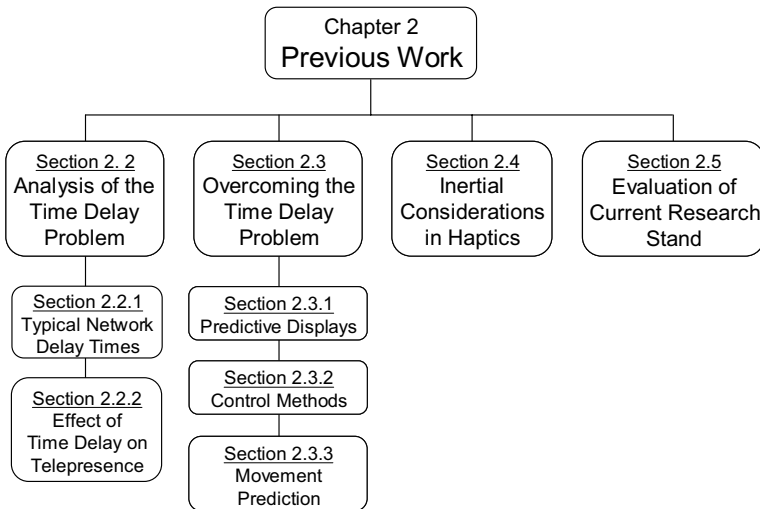


Figure 2.1: Diagram of chapter structure.

## 2.2 Analysis of the Time Delay Problem

This section presents typical network delay times found in numerous studies, and then looks at existing research on the effects of time delay on telepresence.

### 2.2.1 Typical Network Delay Times

Remote control in telepresence applications always involves a network for communication between the operator and the teleoperator. Regardless of the type of network employed, network delays are inevitable. For local applications, this delay can be so small (< 1ms) that it is insignificant. In long distance wireless applications, the delay can reach up to tens of seconds. Figure 2.2 shows typical round trip times for various network types and conditions. The first three columns refer to earth-bound and wired internet connections between various countries. These values were determined by using the “ping” command, which represents the time it takes a network packet to reach a predetermined destination and return to the host. In wireless local area networks (WLAN), the typical round trip time “varies between a few hundred milliseconds and one second” (AKAN et al. 2004). The delay in wireless networks depends on a number of factors such as the available bandwidth, network traffic, distance, and number of hops. For communication with low earth orbit satellites, round trip time delays are “minimally 0.4 seconds” (SHERIDAN 1992).

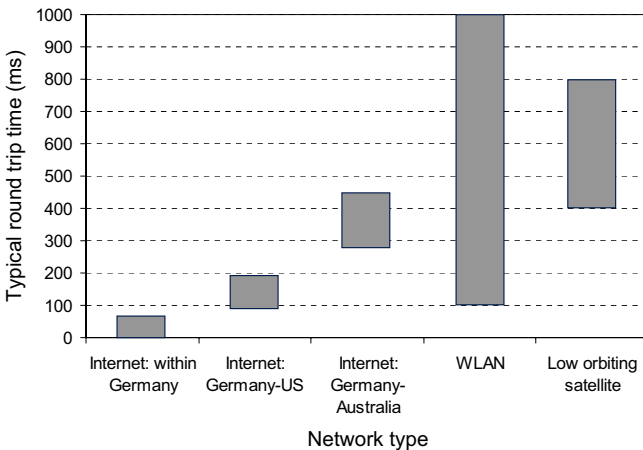


Figure 2.2: Typical network round trip times for various network types.

At the larger end, typical round trip times for vehicles close to the moon approach 6 seconds (SHERIDAN 1992). As expected, this increases with communication to more distant vehicles in outer space.

Telepresence applications span the entire spectrum of possible round trip times, from local telesurgery with negligible delay, to deep space communication with very large round trip times.

### 2.2.2 Effect of Time Delay on Telepresence

As discussed in the previous section, communication networks inevitably involve delays. The problem of time delay in the control of remote robots has been known for decades.

In 1965, Ferrell showed how an increase in time delay leads to an increase in the time needed to complete a simple 2 degree of freedom teleoperation (FERRELL 1965). In 1971, similar experiments were performed with a six degree of freedom master-slave manipulator (BLACK 1971). Thompson also carried out a similar study, but additionally showed how the completion time for a specific task was affected by the degrees of constraint, in addition to the time delay (THOMPSON 1977).

Each of these experiments analysed the operator's performance in terms of measurable quantities such as time to complete and accuracy. The negative psychological effects of time delays were confirmed in (HELD et al. 1966), which showed that for delays as small as 300 ms, subjects dissociate the teleoperator hand movements from those of their own hands.

A thorough literature review on the effects of time delay on telepresence tasks is given in (SHERIDAN 1992).

## 2.3 Overcoming the Time Delay Problem

As illustrated in the previous section, time delays in telepresence scenarios lead to reduced operator performance and immersion. Particularly in the case of delayed force feedback, time delays can lead to system instabilities. A number of methods have been developed to cope with these problems, ranging from predictive displays to various control theory architectures.

### 2.3.1 Predictive Displays

The general idea behind predictive displays is shown in Figure 2.3. Basically, motion data from the input device is sent directly to a locally situated display containing a virtual representation of the telerobot. In this way, the display is fed data directly from the haptic device, thus creating the appearance of close-to-zero delay. Meanwhile, the teleoperator still receives the delayed motion or position commands from the haptic

### 3 Research Question 1: Inertial Influence

#### 3.1 Overview

The research in this chapter aims to determine the influence of varying simulated inertia values on telepresence performance. Simulated inertia refers to the exertion of inertial forces on the haptic input device. Telepresence performance refers to both the success with which a telepresence task is executed, and the sense of presence experienced by the user.

Figure 3.1 shows the structure of this chapter. Section 3.2 introduces the concept of simulated inertia and its application to haptic devices. Section 3.3 provides motivation for considering the influence of inertia in telepresence applications. The experimental design constructed to answer this research question is described in Section 3.4, the results of which are presented in Section 3.5. Finally, Section 3.6 summarises the research findings.

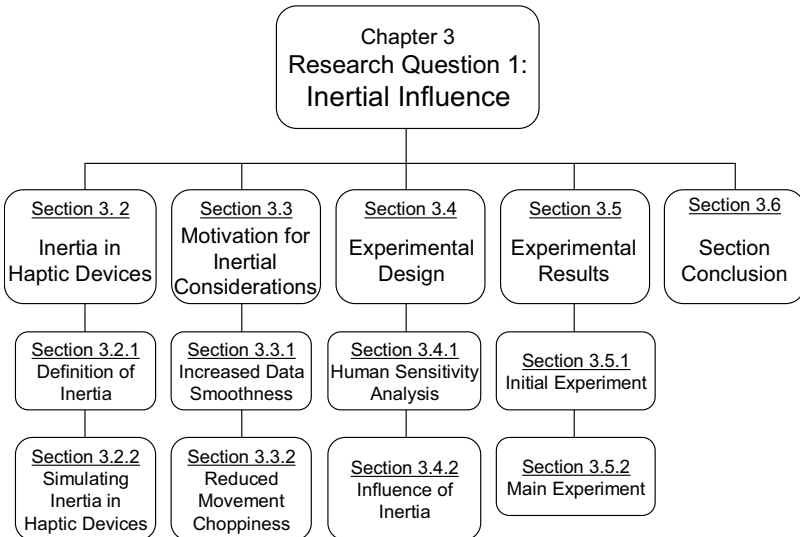


Figure 3.1: Diagram of chapter structure.



## **3.2 Inertia in Haptic Devices**

### **3.2.1 Definition of Inertia**

The dictionary definition of inertia is as follows:

“The tendency of a body to resist acceleration; the tendency of a body at rest to remain at rest or of a body in straight line motion to stay in motion in a straight line unless acted on by an outside force.” (Mifflin 2004)

Although this definition only mentions straight line motion, ‘moment of inertia’ is also a well-known concept which refers to the tendency of a body to resist rotational acceleration. As will be explained in Section 3.2.2, inertia in haptic devices is usually mechanically implemented as a moment of inertia.

According to Newton's first law of motion, an object moving with a given velocity will maintain that velocity unless acted on by an external force. Inertia is the property of matter that makes this law hold true.

The amount of inertia that an object possesses is proportional to its mass. However, inertia is not the same thing as mass or momentum (the product of velocity and mass). The mass of an object can be measured by observing the extent of its inertia. This is done by measuring the amount of force required to produce a certain acceleration value.

### **3.2.2 Simulating Inertia in Haptic Devices**

In haptic devices, the most straightforward way of simulating inertia is to multiply the current acceleration by a “virtual inertia” constant (BROUWER 2004), and exert the vector negative of this force on the part of the haptic device which is in contact with the human. This will create a sense of resistance for the user, thus simulating inertia.

The next issue is then to explain how forces are exerted in haptic devices. There exist numerous methods through which to achieve force feedback, as listed in Table 3.1 (MACLEAN 2000).

Table 3.1: Various force feedback actuation methods.

Method	Comments
Electric motors	DC brush motors. Very common
Pneumatic	Clean, no messy fluids. But requires a compressed air source.
Hydraulic	Strong, but liquids need to be contained, and safety issues are highly important.
Piezo	Strong and fast, but displacements are relatively small.

By far the most common method adopted, in both expensive research models and cheaper gaming devices, is the DC brush motor. The mechanics behind a simple two degree of freedom joystick are quite simple, as shown in Figure 3.2 (WALTERS 1997).

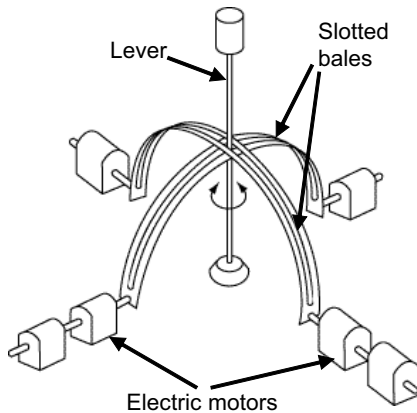


Figure 3.2: Mechanics of a force feedback joystick.

The joystick lever passes through the intersection of two perpendicular slotted bales. At one end of each of the bales there exists an electrical DC motor, which when actuated, rotates the corresponding bale, thereby exerting a perpendicular force on the lever arm. In cheaper joysticks, the transmission between the motor and bales must have play, otherwise the gears will bind. Additionally, there exists much play in the slotted bales themselves. In more expensive haptic devices, tight gears in the transmission require precise machining, and more complex mechanisms replace the relatively loose slotted bales. One such mechanism has been patented by Immersion (IMMERSION 2006).

The PHANToM haptic device (MASSIE et al. 1994) is a commercial patented product, there is therefore little published information regarding its internal structure. The PHANToM Desktop model, which was widely used in this research, basically consists of three revolute joints, each connected to a computer-controlled DC motor (HESPANHA et al. 2002). At the tip of the device exists a pen-like stylus to be held by the user. By sending appropriate voltages to the motors, desired forces in any direction are possible.

In force feedback joysticks and in other haptic devices such as the PHANToM Desktop, simulated inertia is most commonly implemented as a moment of inertia, even though the end result on the user may feel like the inertia is acting against straight line motion. The reasoning for this is simply the mechanical construction of haptic devices, which, as previously explained, usually consists of DC brush motors.

### **3.3 Motivation for Inertia Considerations**

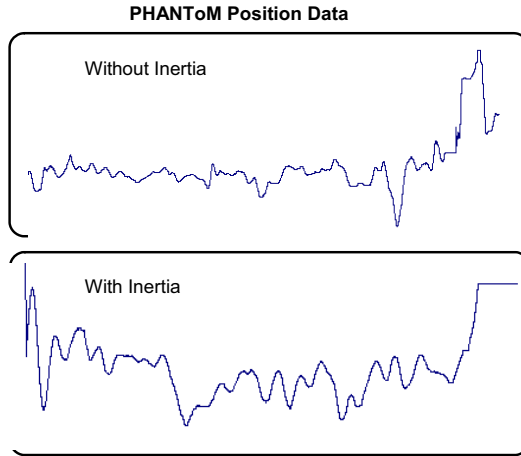
In this research, the existence of inertia in haptic devices is expected to provide two benefits for teleoperation, the first of which is relevant to Research Question 2. These are:

1. Increased smoothness of position data, and therefore a superior prediction performance.
2. Reduced choppiness in the movements of the operator, and therefore better control over the teleoperator.

Each of these possible benefits is discussed in turn.

#### **3.3.1 Increased dynamic data smoothness**

Figure 3.3 shows two data series extracted from the PHANToM Desktop device by the same user, completing the same task, but under different inertia conditions. The upper data series was extracted without inertia, and the lower series was extracted under conditions of “high” inertia. Exactly how much “high” is, and how it was determined, is explained in Section 3.4.1.



*Figure 3.3: Data extracted under different inertia conditions.*

The important observation to note here is that the data extracted in the presence of inertia appears to be smoother than that without inertia. Intuitively, this smoother data series should be easier to conduct a time series prediction on in comparison to the less smooth data series. Therefore, the first expected advantage of the presence of inertia is an improved performance of time series prediction algorithms on movement data from the PHANToM device.

### 3.3.2 Reduced choppiness in operator movements

The second anticipated advantage is a reduction in the choppiness of the operator's movements. This is also a seemingly intuitive claim. Inertia itself is essentially a resistance which acts in all directions, and thereby prevents or represses sudden or explosive movements of the user holding the haptic device. This repression is anticipated to provide the user with a higher degree of control over the teleoperator. On the other side, the ability to carry out sudden movements will also be hindered; however, very few telepresence scenarios would require such explosive actions.

## 3.4 Experimental Design

Since the aim of this experiment is to determine the influence of various inertia settings on operator performance, the experimental design necessarily involves (1) human operators, and (2) a standardised telepresence task to be completed under varying inertia settings. To analyse the influence of inertia under delayed network conditions, the

## 4 Research Question 2: An Optimal Algorithmic Implementation

### 4.1 Introduction

This chapter focuses on the development of an optimal prediction algorithm for telepresence applications. Specifically, the two goals of this chapter are:

1. Prediction for delay compensation: To determine an optimal prediction algorithm for a typical set of telepresence data.
2. Prediction for compression: To combine this optimal algorithm with the so-called “deadband method” (HINTERSEER et al. 2005) to achieve a best possible reconstruction of pre-compressed data.

Both of these methods involve the prediction of future data values, as shown in Figure 4.1. Part (1) shows five data points extracted from the haptic device in the telepresence scenario. This could be position, velocity acceleration or force data. Part (2) shows a function approximation based on these five points, and part (3) implements this function approximation at future time points to generate predictions.

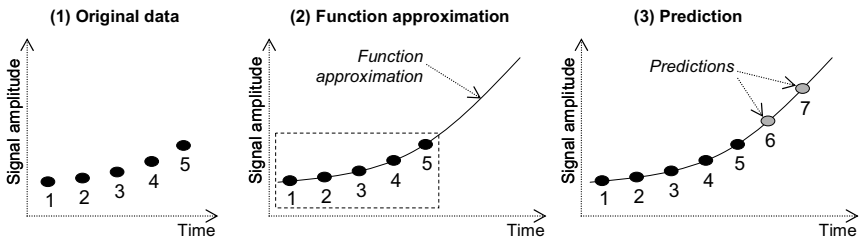


Figure 4.1: Using function approximation to generate a prediction.

Figure 4.2 illustrates the process of combining the deadband approach with prediction. In telepresence systems, the deadband method or approach refers to the process of sending only a fraction of a certain data signal across the communication network, in order to reduce the required bandwidth. The actual “deadband” refers to the region in which no data is sent. Various methods can be undertaken to select which data points should be sent across the network and which data points should be discarded. For example, when sending position signals read from a sensor, all data points which lie within the noise range of the sensor can possibly be discarded. In previous studies (HINTERSEER et al. 2005), the deadband was determined by the amount of change in a stimulus a human can detect. This approach is particularly relevant to telepresence systems, because of the human presence in the control loop.

Each of the three illustrated curves in Figure 4.2 represents typical movement or haptic data against time. The topmost curve shows an original data series, where each of the black circles is a sampled data value.

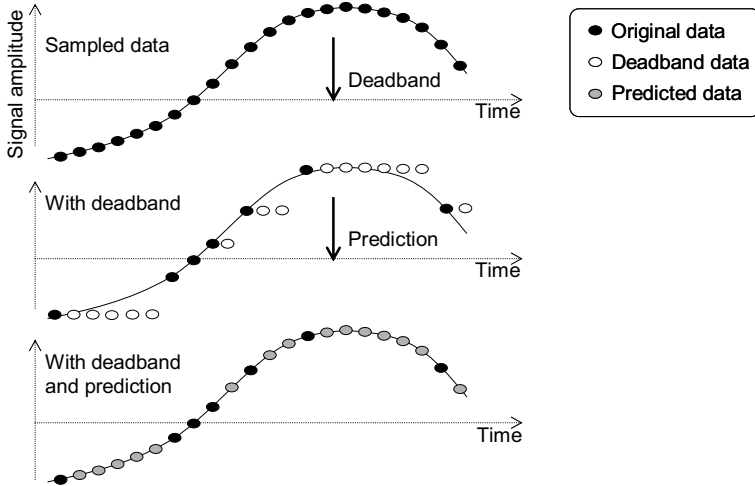


Figure 4.2: Combining prediction with the deadband approach.

The middle data series shows the result of implementing the deadband approach. The dependence of the step size of the deadband on the absolute magnitude of the sample value can be seen. Based on psychophysics, the threshold difference (i.e. the amount of change in a stimulus a human is able to discriminate) depends on the magnitude of the stimulus itself (Weber’s Law) (GOLDSTEIN 1980). The white circles represent sample values which are not sent across the communication network, thereby decreasing the total amount of sent data. At the receiving end of the network, a prediction algorithm is implemented in an attempt to restore the data series to its original form, as shown in the bottommost series. Figure 4.3 further illustrates this combined deadband and prediction approach.

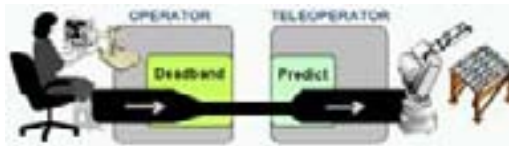


Figure 4.3: Reduced bandwidth through combining deadband and prediction.

The thin black line between the operator and teleoperator reflects the reduced amount of data (reduced bandwidth) sent across the network.

Figure 4.4 illustrates the structure of this chapter.

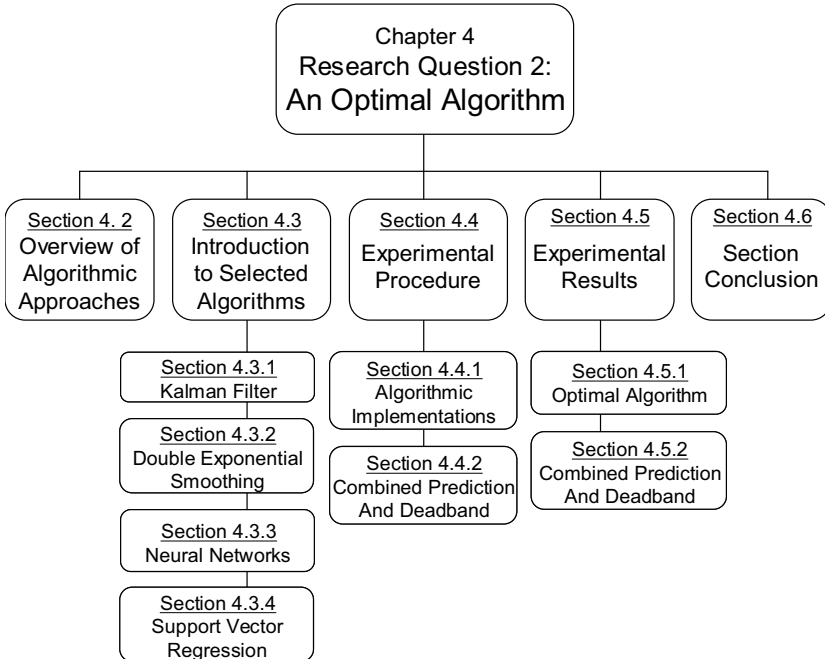


Figure 4.4: Diagram of chapter structure.

Section 4.2 outlines the characteristics of an optimal prediction algorithm for telepresence applications, and reasons the choice of algorithms considered in this research. Each of these algorithms is introduced in tutorial fashion in Section 4.3. Section 4.4 details the experimental procedure undertaken in determining an optimal algorithm. The results are presented in Section 4.5, and Section 4.6 summarises the results of the chapter.

## 4.2 Overview of Algorithmic Approaches

Determining an optimal prediction algorithm involves applying various algorithms to a set of relevant and typical movement or force data. The best performing algorithm will be the optimal algorithm for the given set of data. Various statistics exist to judge the performance of an algorithm, as discussed in the next section.

### 4.2.1 Characteristics of an Optimal Algorithm

Various characteristics define an optimal prediction algorithm. Most importantly, the prediction needs to be accurate. Equally important, the prediction algorithm needs to be fast. The time it takes for the algorithm to generate the prediction is essentially time which is added to the initial delay. As illustrated in Figure 4.5, a direct relationship between prediction accuracy and calculation time can be expected. For example, simple routines such as linear interpolation are extremely fast, but relatively inaccurate. In contrast, complex and intelligent machine learning algorithms can generate accurate predictions, but at the cost of a high calculation time. Classic filter algorithms such as the Kalman Filter (KALMAN 1960) are placed between the two extremes. An optimal Kalman Filter should be included in the analysis, since it has been the most widely used algorithm in past decades.

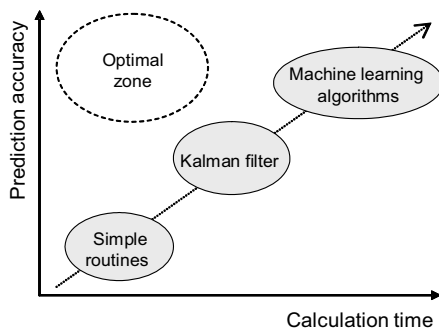


Figure 4.5: Graph showing the trade-off between calculation time and accuracy.

### 4.2.2 Considered Algorithms and Implementations

Due to the large amount of possible prediction algorithms, comparing all possible algorithms against each other is not feasible. Instead, a well-selected group of algorithms should be determined and used in the analysis. In this study, the following four algorithms have been selected for analysis:



## 5 Evaluation

### 5.1 Overview

In this section, the results of Research Question 1 and Research Question 2 are incorporated into a single experiment, as shown in Figure 5.1.

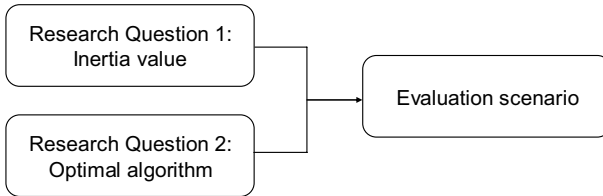


Figure 5.1: Incorporating the two research questions into the evaluation scenario.

The results of Research Question 1 explain that the simulation of inertia at certain values does not affect operator performance or immersion. From Research Question 2, among the tested algorithms, Double Exponential Smoothing was shown to generate the optimal performance for the prediction of movements in a typical telepresence scenario. Both of these results are to be incorporated into an evaluation scenario. Important to note is that a single evaluation cannot cover all possible telepresence scenarios. Even though some generic findings may apply to other telepresence scenarios, each individual scenario usually requires a separate evaluation.

The next section describes the experimental setup of the evaluation scenario.

#### 5.1.1 Hardware

As in previous experiments, the PHANToM Desktop is used as the input device. A virtual microassembly scenario, shown in Figure 5.3, is implemented as the teleoperator. Between the operator and teleoperator lies a simulated communication layer. This was chosen over a real network layer as in Section 3.4.2.1, because it enables the simulation of various network delays.

An inertia value of  $1.00025 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  was applied to the PHANToM Desktop. This is equal to  $I_{mid} = \text{PSE} + \text{JND}$  from Section 3.5.1. As shown in Research Question 1, this should not adversely affect the operator's working environment in any way. However, it has the positive influence of reduced choppiness in user movements, in addition to a better performance of the prediction algorithm.

## 6 Conclusions and Future Work

This thesis focused on methods to overcome the network problem in telepresence systems. Telepresence applications include all scenarios which require a task to be completed in an environment which is, for some reason, inaccessible to humans, but requires human intelligence. Examples include remote surgery, manual microassembly, disposal of explosives, deep sea exploration, and satellite repair in outer space. All of these scenarios necessarily involve a communication mechanism between the human operator and the remote robot or teleoperator. As with all networks, this communication layer will contain network delays which can adversely affect the operation. The research in this thesis concentrated on overcoming or dealing with such delays through the use of simulated inertia and prediction algorithms.

Two main research questions were addressed. The first question focused on the use of simulated inertia as a supporting factor in telepresence scenarios, with and without network delays. The second question aimed to find an optimal prediction algorithm for a typical telepresence scenario.

To answer the first question, an experiment was conducted to determine the influence of simulated inertia in the haptic device on operator performance and immersion under both delayed and non-delayed network conditions. To create a delayed network, the real international network layer between the Technical University of Munich, Germany, and the University of Wollongong, Australia, was utilised. This experiment involved thirty-six human subjects completing a total of 216 experiments under varying simulated inertia and network conditions.

In answer to the first research question, simulated inertia in a haptic device was found to have no significant influence on operator performance or sense of presence. This finding stands in contrast to the author's hypothesis that inertia could act as a supporting mechanism through increasing the stability of the input device and decreasing the choppiness of the operator's movements. Nevertheless, the fact that inertia had no significant influence on important operator performance measurements means that inertia can be implemented when it is expected to yield other secondary advantages. Specifically, inertia in the haptic device has a smoothing effect on the dynamic input data. Smoother data is easier to predict, which is directly relevant to the second research question.

To answer the second research question, a strategically selected group of prediction algorithms was chosen for analysis. The four chosen algorithms were Double Exponential Smoothing, the Kalman Filter, Neural Networks, and Support Vector Regression. Each algorithm was optimised against dynamic data extracted from a typical telepresence scenario. The optimal algorithm was then implemented in two schemas. The first schema involved using the algorithm to directly compensate for network delays through the prediction of future movement data. By sending these predicted val-

---

## Bibliography

AKAN, O. B. and I. F. AKYILDIZ (2004). ATL: Adaptive Transport Layer for Next Generation Wireless Internet. IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC) 2(5): 802-817.

AMIT, Y., D. GEMAN and K. WILDER (1996). Joint Induction of Shape Features and Tree Classifiers. In Proceedings of the IEEE International Conference on Pattern Analysis and Machine Intelligence.

ANTILA, J. (2002). TCP Performance Simulations Using Ns2. Helsinki, Finland, Networking Laboratory, Helsinki University of Technology.

ARCARA, P. and C. MELCHIORRI (2002). Control Schemes for Teleoperation with Time Delay: A Comparative Study. Journal of Robotics and Autonomous Systems 38(1): 49-64.

ARTIGAS, J., C. PREUSCHE and G. HIRZINGER (2004). Wave Variables Based Bilateral Control with Time Delay Model for Space Robot Applications. In Proceedings of Robotik 2004, Munich, Germany.

AZUMA, R. (1995). Predictive Tracking for Augmented Reality. University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA, Ph.D. Thesis.

BAXTER, J. and P. BARTLETT (1999). Direct Gradient-Based Reinforcement Learning. Canberra, Australia, Research School of Information Sciences and Engineering, Australian National University.

BELLMAN, R. (1961). Adaptive Control Processes: A Guided Tour. Princeton, PA, USA, Princeton University Press.

BLACK, J. H. (1971). Factorial Study of Remote Manipulation with Transmission. MIT, Cambridge, MA, USA, Masters Thesis.

BOSER, B. E., I. GUYON and V. VAPNIK (1992). A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers. Journal of Computational Learning Theory: 144-152.

BOWER, K. M. (2006). Data Collection and Analysis Tools: Design of Experiments Accessed on 24 June, 2006. <http://www.asq.org/learn-about-quality/data-collection-analysis-tools/overview/design-of-experiments.html>.

BREU, R., U. HINKEL, C. HOFMANN, C. KLEIN, B. PAECH, B. RUMPE and V. THURNER (1997). Towards a Formalization of the Unified Modeling Language. Lecture Notes in Computer Science, Volume 1241: 344.

BROOKNER, E. (1998). Tracking and Kalman Filtering Made Easy, Wiley Interscience.

BROUWER, E. J. A. (2004). Using a Linear Motor as a Seismic Vibrator: Suppressing the Harmonic Distortion. Practical Training Reports. Eindhoven, Netherlands, Technische Universiteit Eindhoven.

BURKERT, T., J. LEUPOLD and G. PASSIG (2003). Hardware Accelerated Texture Extraction for a Photo-Realistic Predictive Display. In Proceedings of Vision, Modeling and Visualization, Munich, Germany, Aka GmbH.

CAPIN, T., J. ESMERADO and D. THALMANN (1999). A Dead Reckoning Technique for Streaming Virtual Human Animation. In Proceedings of the IEEE International Conference on Circuits and Systems for Video Technology.

CHENG, C.-C. (1991). Predictor Displays: Theory Development and Application to Towed Submersibles. MIT, Cambridge, MA, USA, Masters of Science Thesis.

CLARKE, S. (2002). Support Vector Regression and Data Automation for a Web-Based Information Management System. Pennsylvania State University, State College, PA, USA, Masters of Science Thesis.

CLARKE, S., F. K. B. FREYBERGER, H. PONGRAC and M. F. ZAEH (2005). A Virtual Scenario to Test the Influence of an International Network and Simulated Inertia on Telepresence Performance. In Proceedings of the IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, Giardini Naxos, Italy.

CLARKE, S., M. F. ZAEH, S. SCHAETZLE and F. NAGHDY (2005). An Analysis Of The Feasibility Of Telepresent Robot Control Across An International Network. In Proceedings of the IEEE Asian Conference on Industrial Automation and Robotics, Bangkok, Thailand.

CLARKE, S. M., M. F. ZAEH and J. H. GRIEBSCH (2003). Predicting Haptic Data with Support Vector Regression for Telepresence Applications. In Proceedings of the IEEE International Conference on Hybrid Intelligent Systems, Melbourne, Australia, IOS Press.

CRISTIANINI, N. and J. SHAW-TAYLOR (2000). An Introduction to Support Vector Machines: and other Kernel-based Learning Methods. New York, NY, USA, Cambridge University Press.

DALTON, B. C. B. and K. TAYLOR (1998). A Framework for Internet robotics. In Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Victoria, Canada.

DEVORE, J. (1999). Probability and Statistics for Engineering and the Sciences. Monterey, CA, USA, Brooks/Cole Publishing Company.

DIVJAK, M. and D. ZAZULA (2003). Prediction-based Optical Face and Hand Tracking in 3D. Visualization, Imaging, and Image Processing, Benalmádena, Spain, ACTA Press.

EASTON, V. J. and J. H. MCCALL (2006). Time Series Data Accessed on 12 May, 2006. [http://www.stats.gla.ac.uk/steps/glossary/time\\_series.html](http://www.stats.gla.ac.uk/steps/glossary/time_series.html).

EHRENSTEIN, W. H. and A. EHRENSTEIN (1999). Psychophysical Methods. Journal of Modern Techniques in Neuroscience Research: 1211-1241.

FAULRING, K. M., J. E. LYNCH and M. A. PESHKIN (2005). Haptic Interaction with Constrained Dynamic Systems. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain.

FERRELL, W. R. (1965). Remote Manipulation with Transmission Delay. In Proceedings of the IEEE International Conference on Human Factors in Electronics.

FINCH, M. and P. A. HOWARTH (1996). A Comparison Between Two Methods of Controlling Movement Within a Virtual Environment. HSE Research Contract 3181/R53.133. Leicestershire, England, Loughborough University.

FREUND, Y. and R. E. SCHAPIRE (1998). Large Margin Classification Using the Perceptron Algorithm. In Proceedings of the Eleventh Annual Conference on Computational Learning Theory, Madison, WI, USA, ACM Press.

GESCHIEDER, G. A. (1976). Psychophysics - Method and Theory. Hillside, NJ, USA, J. Wiley & Sons.

GOLDSTEIN, B. E. (1980). Sensation and Perception. Belmont, CA, USA, Wadsworth Publishing Co.

GOLLE, A., H. ULBRICH and F. PFEIFFER (2004). Contact Modelling for Real-Time-Simulation in Telepresence Applications. In Proceedings of Eurohaptics, Munich, Germany, Herbert Hieronymus.

GROTHMANN, R., A. SCHAEFER, S. CLARKE and M. F. ZAEH (2005). Telepresent Production: Overcoming the Network Problem with Error Correction Neural Networks. International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production, Garching, Germany, Utz Verlag.

GUPTA, S. C., C. A. WANTLAND and S. A. KLEIN (1996). Cyberpathology: Medical Concerns of VR Applications. Journal of Medicine and Virtual Reality 1(2): 8-11.

- GUTWIN, C., J. DYCK and J. BURKITT (2003). Using Cursor Prediction to Smooth Telepointer Jitter. In Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work, Sanibel Island, Florida, USA, ACM Press.
- HASHIMOTO, T., T. B. SHERIDAN and M. V. NOYES (1986). Effects of Predicted Information in Teleoperation Through a Time Delay. Japanese Journal of Ergonomics 22(2).
- HEITING, G. (2004). Computer Vision Syndrome Accessed on 4 March, 2006. [http://eyetopics.com/Authors/6/Gary-Heiting-O\(6\)D\(6\).aspx](http://eyetopics.com/Authors/6/Gary-Heiting-O(6)D(6).aspx).
- HELD, R., A. EFSTATHIOU and M. GREENE (1966). Adaptation to Displaced and Delayed Visual Feedback from the Hand. Journal of Experimental Psychology 72: 887-891.
- HESPANHA, J., M. MCLAUGHLIN and G. SUKHATME (2002). Touch in Virtual Environments: Haptics and the Design of Interactive Systems. New York, NY, USA, Prentice Hall.
- HINTERSEER, P., E. STEINBACH, S. HIRCHE and M. BUSS (2005). A Novel, Psychophysically Motivated Transmission Approach for Haptic Data Streams in Telepresence and Teleaction Systems. In Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Philadelphia, PA, USA.
- HIRCHE, S. (2005). Haptic Telepresence in Packet Switched Communication Networks. Technische Universität München, Munich, Dr.-Ing. Thesis.
- HIRZINGER, G., J. HEINDL and K. LANDZETTEL (1989). Predictor and Knowledge Based Telerobotic Control Concepts. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Scottsdale, AZ, USA.
- HOWE (2005). Free Online Dictionary of Computing Accessed on 3 February, 2005. <http://www.foldoc.org/>.
- IJSSELSTEIJN, W. A., H. D. RIDDER, J. FREEMAN and S. E. AVONS (2000). Presence: Concept, Determinants and Measurement. In Proceedings of the International SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging V, San Jose, CA, USA.
- IMMERSION (2006). Impulse Stick Accessed on 10 May, 2006. [http://www.immersion.com/industrial/joystick/impulse\\_stick.php](http://www.immersion.com/industrial/joystick/impulse_stick.php).
- ISPR, I. S. F. P. R. (2000). The Concept of Presence: Explication Statement Accessed on 10 June, 2006. <http://www.temple.edu/ispr/explicat.htm>.
- ITKOWITZ, B., J. HANDLEY and W. ZHU (2005). The OpenHaptics(TM) Toolkit: A Library for Adding 3D Touch(TM) Navigation and Haptics to Graphics Applications. In

Proceedings of the IEEE International World Haptics Conference, Pisa, Italy, IEEE Computer Society.

JOACHIMS, T. (2004). SVM Light: Support Vector Machine Implementation Accessed on 4 June, 2006. <http://svmlight.joachims.org>.

KALMAN, R. E. (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Journal of Basic Engineering 82(D): 35-45.

KEYROUZ, F., Y. NAOUS and K. DIEPOLD (2006). A New Method for Binaural 3-D Localization based on HRTFS. In Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Toulouse, France.

KILGARD, M. J. (1996). The OpenGL Utility Toolkit (GLUT) Programming Interface API Version 3 Accessed on 2 February, 2006. <http://www.opengl.org/documentation/specs/glut/spec3/spec3.html>.

KIM, W. S., B. HANNAFORD and A. K. BEJCZY (1992). Force Reflection and Shared Compliant Control in Operating Telemanipulators with Time Delay. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation.

KOHLER, E., B. CHEN, M. KAASHOEK, R. MORRIS and M. POLETO (2000). Programming Language Techniques for Modular Router Configurations. Cambridge, MA, USA, MIT Laboratory for Computer Science.

KRAGIC, D. and H. I. CHRISTENSEN (2001). Cue Integration for Visual Servoing. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea.

LAKIN, F. (1996). Increasing the Effectiveness of Teleconferencing through Graphic Meeting Recording. Telecommuting. Palo Alto, CA, USA, The Performing Graphics Company.

LAVIOLA, J. (2003). Double Exponential Smoothing: An Alternative to Kalman Filter-Based Predictive Tracking. In Proceedings of the Seventh International Immersive Projection Technologies Workshop, Zurich, Switzerland, ACM Press.

LAVIOLA, J. (2003). A Testbed for Studying and Choosing Predictive Tracking Algorithms in Virtual Environments. In Proceedings of the Seventh International Immersive Projection Technologies Workshop, Zurich, Switzerland, ACM Press.

LAWRENCE, D. A. (1993). Stability and Transparency in Bilateral Teleoperation. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Atlanta, GA, USA.

## Bibliography

---

- LINDE, R. Q. V. D., P. LAMMERTSE, E. FREDERIKSEN and B. RUITER (2002). The HapticMaster: A New High-Performance Haptic Interface. In Proceedings of Eurohaptics, Edinburgh, UK.
- LIPTON, L. and J. HALNOR (1999). Interfacing shuttering-type stereoscopic hardware with Windows/NT workstations. SPIE: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems.
- MACLEAN, K. E. (2000). Designing with Haptic Feedback. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Symposium on Haptic Feedback, San Francisco, California, USA.
- MAR, L. E. (1985). Human Control Performance in Operation of a Time-Delayed Master-Slave Telemanipulator. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, Bachelor of Science Thesis.
- MARKUNAS, J. (2001). Production and Application of MEMS Stepper Motors Accessed on 4 June, 2006. [http://www-ee.eng.buffalo.edu/courses/ee541/Project%20Reports/FinalMarkunas\\_files/frame.htm](http://www-ee.eng.buffalo.edu/courses/ee541/Project%20Reports/FinalMarkunas_files/frame.htm).
- MASSIE, T. H. and J. SALISBURY (1994). The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects. In Proceedings of the International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, Chicago, IL, USA, American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- MAYBECK, P. S. (1982). Stochastic Models, Estimation, and Control. New York, USA, Academic Press.
- MCCAULEY, M. E. and T. J. SHARKEY (1991). Cybersickness: Perception of Self-Motion in Virtual Environments. Presence: 311-317.
- MIFFLIN, H. (2004). The American Heritage® Dictionary of the English Language, Houghton Mifflin Company.
- MITRA, P. and G. NIEMEYER (2004). Dynamic Proxy Objects in Haptic Simulations. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics, Automation, and Mechatronics, Singapore.
- MORÉ, J. J. (1977). Levenberg-Marquardt Algorithm: Implementation and Theory. Numerical Analysis 630: 105-116.
- NIEMEYER, G. (1996). Using Wave Variables in Time Delayed Force Reflecting Teleoperation. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, PhD.
- NIEMEYER, G. and J. J. E. SLOTINE (1991). Stable Adaptive Teleoperation. IEEE Journal of Oceanic Engineering 16(1): 152-162.



- NIEMEYER, G. and J. J. E. SLOTINE (1998). Towards Force-Reflecting Teleoperation Over the Internet. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Leuven, Belgium.
- NIGRIN, A. (1993). Neural networks for Pattern Recognition. Cambridge, MA, USA, MIT Press.
- NIKOLAOU, M. (1998). Model Predictive Controllers: A Critical Synthesis of Theory and Industrial Needs. Journal of Advances in Chemical Engineering Series.
- NØRGAARD, M. (2002). The KALMTOOL Toolbox Accessed on 4 February, 2006. <http://www.iau.dtu.dk/research/control/kalmtree.html>.
- NOYES, M. V. (1984). Superposition of Graphics on Low Bit-Rate Video as an Aid to Teleoperation. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, Masters of Science Thesis.
- NRC (1998). Harnessing Light: Optical Science and Engineering for the 21st Century. Washington D.C, National Academies Press.
- PARK, J. and I. W. SANDBERG (1991). Universal Approximation using Radial-basis-function Networks. Journal of Neural Computation 3(2): 246-257.
- PAUSCH, R., T. CREA and M. CONWAY (1992). A Literature Survey for Virtual Environments: Military Flight Simulator Visual Systems and Simulator Sickness. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 1(3): 344-363.
- PETZOLD, B., M. F. ZAEH, B. FAERBER, B. DEML, H. EGERMEIER, J. SCHILP and S. CLARKE (2004). A Study on Visual, Auditory and Haptic Feedback for Assembly Tasks. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 13(1): 16-21.
- RAJU, G. J., G. C. VERGHESE and B. SHERIDAN (1989). Design issue in 2-port network models of bilateral remote teleoperation. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- ROßMANN, N. L. (2004). Review of Centimeter Vehicle Positioning and Lane Keeping. Universität Karlsruhe, Munich, Germany, Dr.-Ing. Thesis.
- RUMELHART, D. E., G. E. HINTON and R. J. WILLIAMS (1986). Learning Internal Representations by Error Propagation. In Proceedings of Parallel Distributed Processing: Explorations in The Microstructure of Cognition 1: 318-362.
- RÜPING, S. (2000). mySVM-Manual Accessed on 29 October, 2005. <http://www-ai.cs.uni-dortmund.de/SOFTWARE/MYSVM>.

## Bibliography

---

SAAD, E. E., T. P. CANDELL and D. C. W. II (1999). Predictive Head Tracking for Virtual Reality. In Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, WA, USA.

SCHILP, J., M. EHRENSTRASSER, S. CLARKE, B. PETZOLD and M. F. ZAEH (2004). Smart Sensor Application in Teleoperated Microassembly Systems. In Proceedings of the SPIE Conference on Intelligent Manufacturing, Providence, RI, USA.

SCHOLKOPF, B. and A. J. SMOLA (2002). Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond. Cambridge, MA, USA, MIT Press.

SHERIDAN, T. B. (1992). Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control. Cambridge, MA, USA, MIT Press.

SMOLA, A. J. and B. SCHOLKOPF (1998). A Tutorial on Support Vector Regression. NeuroCOLT2 Technical Report NC2-TR-1998-030. London, UK, Royal Holloway College, University of London.

STARK, L., W. S. KIM, F. TENDICK, B. HANNAFORD and S. ELLIS (1987). Telerobotics: Display, Control, and Communication Problems. IEEE Journal of Robotics and Automation 3: 67-74.

STRAMIGIOLI, S. (2001). Modeling and IPC Control of Interactive Mechanical Systems - A Coordinate-Free Approach. Lecture Notes in Control and Information Science.

STREBE, A. G. (2002). Exploring frozen worlds: Alta Vista students take part in JASON Project XIII at NASA Accessed on 4 May, 2006. [http://www.mv-voice.com/morgue/2002/2002\\_02\\_15.jason.html](http://www.mv-voice.com/morgue/2002/2002_02_15.jason.html).

THOMPSON, D. A. (1977). The Development of a Six Degree of Freedom Robot Evaluation Test. In Proceedings of the 13th Annual Conference on Manual Control Mass. Instrumentation Technology, Cambridge, MA, USA.

TODD, C., F. NAGHDY and W. 505-506 (2005). Virtual Cochlear Implant Insertion for Medical Education. In Proceedings of the IEEE World Haptics Conference, Pisa, Italy.

TODOROVIC, B., C. MORAGA, M. S. STANKOVIC and B. KOVACEVIC (2003). Neural Network Training Using Derivative Free Kalman Filters. In Proceedings of the Workshop on Computational Intelligence and Information Technologies, Serbia.

UW-WISCONSIN (1990). All About MEMs Accessed on 4 June, 2006. [http://66.39.73.9/images/wisc\\_MIT\\_motor.jpg](http://66.39.73.9/images/wisc_MIT_motor.jpg).

VAPNIK, V. (1995). The Nature of Statistical Learning Theory. New York, NY, USA, Springer Verlag.

VOELKEL, J. G. (2002). Sequential Experimental Designs For Sensitivity Experiments. In Proceedings of the NIST Conference on Designs for Generalized Linear Models.

WALL, L., T. CHRISTIANSEN and J. ORWANT (2000). Programming Perl. Sebastopol, MI, USA, O'Reilly and Associates.

WALTERS, C. (1997). Cop a Feel with Haptic Peripherals Accessed on 6 January, 2006. [http://www.gamasutra.com/features/19971219/walters\\_01.htm](http://www.gamasutra.com/features/19971219/walters_01.htm).

WLOKA, M. M. (1995). Lag in Multiprocessor VR. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 4(1).

ZAEH, M. F. and S. CLARKE (2004). Flexible and Configurable Haptic Environments through Virtual Graphical Force Sensors. In Proceedings of Eurohaptics 2004, Munich, Germany, Herbert Hieronymus.

ZIMMERMANN, H. G., R. GROTHMANN and A. M. SCHÄFER (2005). Identification and Forecasting of Large Dynamical Systems by Dynamical Consistent Neural Networks. New Directions in Statistical Signal Processing: From Systems to Brain, Cambridge, MA, USA, MIT Press.

ZIMMERMANN, H. G. and R. NEUNEIER (2001). Neural Network Architectures for the Modeling of Dynamical Systems. A Field Guide to Dynamical Recurrent Networks, IEEE Press.



# iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*  
**Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel**  
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*  
**Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen**  
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*  
**Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern**  
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*  
**Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen**  
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*  
**Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen**  
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*  
**Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung**  
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*  
**Schneiderodierte Oberflächen**  
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*  
**Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen**  
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*  
**Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung**  
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*  
**Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen**  
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*  
**Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse**  
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*  
**Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze**  
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*  
**Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion**  
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Groha, A.*  
**Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme**  
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*  
**Klippsmontage mit Industrierobotern**  
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*  
**Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung**  
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*  
**Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems**  
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*  
**Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung**  
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*  
**Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme**  
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*  
**Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen**  
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Saverer, Ch.*  
**Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen**  
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*  
**Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung**  
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*  
**Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems**  
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*  
**Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage**  
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Witbe, P.*  
**Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik**  
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelshäuser, P.*  
**Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung**  
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*  
**Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie**  
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*  
**Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion**  
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*  
**Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze**  
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*  
**Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung**  
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*  
**Systematische Planung komplexer Produktionssysteme**  
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*  
**Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme**  
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuzcek, H.*  
**Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung**  
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*  
**Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten**  
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*  
**3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen**  
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54078-8
- 36 *Naber, H.*  
**Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente**  
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*  
**Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen**  
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*  
**Dynamisches Verhalten von Kreissägen**  
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*  
**Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile**  
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*  
**3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung · ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung**  
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*  
**Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme**  
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*  
**Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen**  
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*  
**Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen**  
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*  
**Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabkastens für robotergeführte Klebprozesse**  
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*  
**Integrierte Diagnose in Produktionszellen**  
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*  
**Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades**  
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*  
**Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen**  
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schröder, N.*  
**Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung**  
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*  
**Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen**  
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*  
**Laserbearbeitung mit Robotern**  
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*  
**Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe**  
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glas, W.*  
**Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung**  
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helm, H.J.*  
**Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose**  
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*  
**Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung**  
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*  
**Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage**  
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bamm, H.*  
**Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme**  
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*  
**Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen**  
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*  
**Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung**  
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*  
**Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen**  
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*  
**Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von  
Zubringeinrichtungen**  
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*  
**Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer  
Zellenrechnersoftware**  
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56689-5
- 62 *Stetter, R.*  
**Rechnergestützte Simulationwerkzeuge zur  
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes**  
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*  
**Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage**  
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*  
**Simulation des Schwingungsverhaltens spanender  
Werkzeugmaschinen**  
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*  
**Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-  
Layoutoptimierung**  
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummelsteiner, G.*  
**3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur  
Planung manueller Montagesysteme**  
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*  
**Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen  
Automatisierung von Produktionssystemen**  
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*  
**Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-  
Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik**  
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*  
**Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen**  
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*  
**Automatische Inbetriebnahme  
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler**  
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*  
**Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von  
Produktionssystemen**  
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*  
**Rechnergestütztes Projektinformations- und  
Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld**  
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*  
**Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur  
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge**  
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*  
**Verfahren zur simulationsgestützten  
Produktionsregelung in der Einzel- und  
Kleinserienproduktion**  
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*  
**Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung**  
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*  
**Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer  
flexiblen Fertigung**  
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*  
**Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in  
der Arbeitsvorbereitung**  
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*  
**Strömungstechnische Optimierung von  
Produktionssystemen durch Simulation**  
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*  
**Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen**  
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanger, N.*  
**Technologisches Prozeßmodell für die  
Kugelschleifbearbeitung**  
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanow, P.*  
**Konstruktionsbegleitende Kalkulation von  
Werkzeugmaschinen**  
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*  
**Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen  
Fertigungszellen**  
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*  
**Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der  
Harthbearbeitung**  
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*  
**Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in  
flexiblen Produktionssystemen**  
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*  
**Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung  
und logistisches Störungsmanagement**  
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*  
**Systematische Planung anwendungsspezifischer  
Materialflußsteuerungen**  
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rackland, M.*  
**Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in  
Montageanlagen**  
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Linner, St.*  
**Konzept einer integrierten Produktentwicklung**  
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*  
**Integrierte Planung von Informationssystemen für  
rechnergestützte Produktionssysteme**  
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*  
**Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung  
in mittelständischen Unternehmen**  
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*  
**Recyclingintegrierte Produktentwicklung**  
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*  
**Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte**  
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*  
**Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen**  
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*  
**Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren**  
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*  
**Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme**  
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*  
**Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen**  
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*  
**Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme**  
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*  
**Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung**  
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*  
**Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie**  
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*  
**Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung**  
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*  
**Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten**  
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*  
**Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion**  
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Kähler, R.*  
**Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten**  
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*  
**Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung**  
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*  
**Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem**  
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*  
**Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe**  
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*  
**Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen**  
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krönert, U.*  
**Systemik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung**  
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*  
**Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service**  
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*  
**Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion**  
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*  
**Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozess mit Produktmodellen**  
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*  
**Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung**  
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*  
**Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz**  
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*  
**Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse**  
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindermaier, R.*  
**Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen**  
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*  
**Präzeorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung**  
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*  
**Leitfäden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen**  
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*  
**Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung**  
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*  
**Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen**  
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*  
**Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen**  
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*  
**Erfahrungsgleitetete Planung von Laseranlagen**  
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3



# Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**  
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**  
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**  
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**  
86 Seiten · ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ins Ziel**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**  
120 Seiten · ISBN 3-931327-09-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**  
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**  
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**  
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**  
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**  
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**  
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**  
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungs montage und zum Dichtmittelauftrag**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**  
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**  
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**  
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**  
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**  
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**  
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**  
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**  
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**  
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**  
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**  
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**  
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**  
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**  
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**  
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

- 47 **Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation**  
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**  
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**  
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**  
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien**  
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**  
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**  
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**  
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**  
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**  
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**  
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**  
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**  
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**  
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**  
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**  
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**  
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**  
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen**  
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**  
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 **Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen**  
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen**  
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**  
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapselfur zu aseptischen Ampulle**  
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 **ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen**  
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 **Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**  
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 **Produktionsmanagement**  
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 **Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche**  
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
- 81 **Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder**  
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
- 82 **Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement**  
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
- 83 **Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen**  
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6
- 84 **Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?**  
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 **3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau**  
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 **Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung**  
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 **Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand**  
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 **Mechatronik · Vorsprung durch Simulation**  
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 **RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten**  
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1

# Forschungsberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 122 Schneider, Burghard  
**Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile**  
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd  
**Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung**  
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößmer, Helmut E.  
**Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme**  
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter  
**Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern**  
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen  
**Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik**  
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris  
**Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern**  
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf  
**Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen**  
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.  
**Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen**  
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto  
**Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen**  
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael  
**Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping**  
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.  
**Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden**  
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut  
**Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle**  
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan  
**Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen**  
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can  
**Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik**  
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan  
**Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken**  
2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.  
**Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung**  
2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra  
**Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen**  
2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander  
**Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen**  
2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.  
**Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken**  
2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas  
**Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung**  
2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas  
**Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion**  
2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf  
**Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen**  
2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian  
**Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion**  
2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian  
**Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen**  
2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich  
**Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen**  
2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof  
**Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss**  
2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank  
**Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen**  
2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael  
**Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme**  
2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn  
**Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung**  
2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert  
**Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben**  
2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt  
**Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion**  
2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich  
**Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung**  
2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer  
**Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke**  
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier  
**Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe**  
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak  
**Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen**  
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner  
**Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen**  
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz  
**Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung**  
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald  
**Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung**  
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner  
**Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen**  
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller  
**Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen**  
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer  
**Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen**  
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fahrer  
**Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses**  
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner  
**Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler**  
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte  
**Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendprothetik**  
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger  
**Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess**  
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob  
**Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik**  
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer  
**System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen**  
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel  
**Anziehverfahren für hochfeste Schraubverbindungen auf Basis akustischer Emissionen**  
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross  
**Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung**  
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun  
**Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess**  
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen  
**Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen**  
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer  
**Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe**  
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen  
**Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme**  
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton  
**Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenster Montagesysteme**  
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser  
**Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke**  
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitingner  
**Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen**  
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling  
**Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling**  
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch  
**Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine**  
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein  
**Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems**  
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak  
**Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen**  
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr  
**Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung**  
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber  
**Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken**  
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt  
**Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern**  
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer  
**Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten**  
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger  
**Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme**  
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl  
**Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing**  
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch  
**Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie**  
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl  
**Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme**  
 2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron  
**Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung**  
 2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek  
**Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen**  
 2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer  
**Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen**  
 2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke  
**Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung**  
 2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried  
**Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern**  
 2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner  
**Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion**  
 2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich  
**Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen**  
 2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl  
**Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern**  
 2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann  
**Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge**  
 2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp  
**Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage**  
 2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz  
**Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme**  
 2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner  
**Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding**  
 2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein  
**Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation**  
 2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren  
**Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse**  
 2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf  
**Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie**  
 2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebsch  
**Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia**  
 2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer  
**Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage**  
 2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack  
**Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik**  
2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff  
**Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion**  
2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller  
**Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen**  
2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler  
**Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme**  
2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2