

FORUM

Das Forschungsmagazin der Hochschule Konstanz



TECHNIK



WIRTSCHAFT



GESTALTUNG

Verdichten Sie Ihre Ideen.



Kompressoren Turbinen Expander Reaktorsysteme After Sales Service www.manturbo.com

Innovative Technologie von MAN Turbo.

Die MAN Turbo Gruppe gehört zu den «top 3» der weltweit führenden Hersteller von Turbomaschinen. In einem einzigartigen Produkt-Portfolio von Kompressoren, Turbinen und Expandern verbindet sich innovative Technologie mit hoher Verfügbarkeit. Komplett montiert und mit Gewichten bis ca. 600 Tonnen sind diese Maschinenmodule das Herz von Anwendungen in der Öl- und Gasindustrie, der Chemie und Petrochemie, der Luftzerlegung und Energieerzeugung rund um den Globus.

Als Arbeitgeber bietet MAN Turbo ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten im In- und Ausland.

Sie sind engagiert und haben ehrgeizige Ziele? Starten Sie jetzt den Turbo für Ihre Karriere und bewerben Sie sich.

MAN Turbo AG Schweiz
Personalabteilung, Hardstrasse 319, 8005 Zürich
Tel. 044. 278-2211 / info@ch.manturbo.com

Engineering the Future – since 1758.

MAN Turbo



HOCHSCHULE KONSTANZ

VORWORT 4
Gunter Voigt und Horst Werkle

TECHNOLOGIETRANSFER: EIN SKALIERBARES SMART METERING-SYSTEM 6
Jan Radon, Martin Liersch, Jens Spinner, Reinhard Nürnberg, Roland Stader und Siegfried Rest

STUDIENANGEBOT 10

EXPERTEN 11
Expertenprofile der Professorinnen und Professoren

TECHNIK

AUTONOME KARTENERSTELLUNG FÜR GEBÄUDERÄUME MIT EINEM MOBILEN ROBOTER 24
Oliver Bittel, Michael Blaich und Kay Kischlat

ERWEITERUNGSMÖGLICHKEITEN DER SKYPE-SOFTWARE 28
Oliver Haase, Christian Schmid und Jürgen Wäsch

UMSTRUKTURIERUNG EXISTIERENDER CODES FÜR DIE MODELLGETRIEBENE SOFTWARE-ENTWICKLUNG 32
Robert Walter und Oliver Haase

VEREINFACHTES MANAGEMENT VON SHARED NOTHING DATENBANK-CLUSTER DURCH AUTOMATISCHE ANPASSUNG UND OPTIMIERUNG VON WARTUNGSFENSTERN 36
Claus Allweil, Frank Heimes und Jürgen Wäsch

DIAGNOSE IN DER ELEKTRISCHEN ENERGIEVERTEILUNG 42
Gunter Voigt

APEN - FREQUENZUMRICHTER IN DER LUFTFAHRT 48
Jürgen Engstler, Manfred Gekeler und Robert Werner

SCHWANKENDE FUSSGÄNGERBRÜCKEN – VERSUCHE UND NUMERISCHE SIMULATION 54
Horst Werkle und Wolfram Püschel

EINSATZ DER WASSERSTRAHLSCHNEIDTECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT 60
René Carreño Olejua und Werner Hofacker

DIMENSIONAL CHARACTERIZATION OF HIGHLY-STABLE MATERIALS USING AN INTERFEROMETRY-BASED DILATOMETER 66

Jorge Cordero Machado, Steffen Weimer, Thomas Heinrich, Thilo Schuldt, Martin Gohlke, Dennis Weise, Ulrich Johann and Claus Braxmaier

INTEGRATION TECHNOLOGIES FOR OPTICAL SYSTEMS 74

Simon Ressel und Claus Braxmaier

ENTWICKLUNG UND VERIFIKATION EINES MEHRKOMONENTEN-SPRITZGIESSWERKZEUGES FÜR EINE SERIENFERTIGUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG MARKETINGSPEZIFISCHER ASPEKTE AM BEISPIEL DES HOCHSCHULLOGOS 78

Carsten Manz, Heymon Ihln, Heiko Philipp, Samuel Schmid und Thomas Zink

WIRTSCHAFT

PRAXIS-STUDIE - SAP ERP KOSTEN UND NUTZEN IM MITTELSTAND: BETRIEBE VERSCHENKEN BETRÄCHTLICHEN ERP-NUTZEN! 84
Reiner Martin

GESTALTUNG

„MAN LEBT NUR ZWEIMAL“ - RAUM, DESIGN & SECOND LIFE 90
Leonhard Schenk, Jo Wickert und Jürgen Neuschwander

SOLAERA: KONZEPTE ZUR ARCHITEKTONISCHEN INTEGRATION VON GROSSEN KOLLEKTORFLÄCHEN 94
Ulrich Leibfried und Thomas Stark

HOCHSCHULE KONSTANZ

PROJEKTE 98

IMPRESSUM

HERAUSGEBER:
Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung
Vizepräsident Forschung, Prof. Dr.-Ing. Gunter Voigt (v.i.S.d.LPrG.)
www.htwg-konstanz.de ©Hochschule Konstanz

REDAKTION:
Dipl.-Ing. FH Andreas Burger MBA, Referent für Forschung & Entwicklung
FOTOS:
Archiv, privat

ANSCHRIFT:
HTWG FORUM, Hochschule Konstanz, Brauneggerstraße 55, D-78462 Konstanz,
Tel. +49 (0)7531 206-325, Fax +49 (0)7531 206-436, burger@htwg-konstanz.de
GESTALTUNG UND ANZEIGENVERWALTUNG:

bbv nuber visuelle kommunikation, Tägermoosstrasse 11, D-78462 Konstanz,
Tel. +49 (0)7531 18047, nuber@bbv-design.com, www.bbv-design.com

DRUCK UND WEITERVERARBEITUNG:
werk zwei GmbH, Max-Stromeyer-Straße 180, D-78467 Konstanz
gedruckte Auflage: 5.000 Exemplare
ISSN 1619-9812, Ausgabe 2009/2010; Internetausgabe: ISSN 1611-3748

VORWORT

Prof. Dr.-Ing. Gunter Voigt, Vizepräsident Forschung

Prof. Dr.-Ing. Horst Werkle, Wissenschaftlicher Direktor des Instituts für Angewandte Forschung – IAF

Forschung etabliert sich mehr und mehr an allen Fachhochschulen. Öffentliche Förderprogramme des Landes und des Bundes unterstützen die Fachhochschulen bei dieser wichtigen Aufgabe. Die Förderung konzentriert sich auf anwendungsorientierte Forschungsprojekte. In der Regel werden industrielle Partner mit Einbringen eigener Leistungen in die Projekte mit eingebunden.

Die HTWG Konstanz ist eine der erfolgreichsten Fachhochschulen im Land. Früh wurden Infrastrukturmaßnahmen ergriffen und durch Wertschätzung von Forschung Motivationsanreize gesetzt. Von Anfang an wurden auch Gestaltungsspielräume der W-Besoldung genutzt, um gezielt auch Forschungsaktivitäten zu intensivieren.

Im vergangenen Jahr hat die Hochschule Konstanz die aktive Förderung der Forschung weiter deutlich gesteigert. Nach ausführlichem Diskussionsprozess wurde der Beschluss umgesetzt, drei Forschungsschwerpunkte einzurichten. Hier sollen erfolgreiche Bereiche gefördert werden. Dazu wurden Forschungsinstitute gegründet in Fachgebieten, die bereits erfolgreich bearbeitet werden und die weiterhin großes Potential für eine Weiterentwicklung haben:

KICG - Konstanz Institut für Corporate Governance,
IOSK - Institut für optische Systeme Konstanz,
WIK – Institut für Werkstoffsystemtechnik Konstanz.

Darüber hinaus fördert die HTWG Einzelinitiativen von Professorinnen und Professoren, so dass insbesondere der Einstieg für neu berufene Kolleginnen und Kollegen in angewandte Forschung und Technologietransfer erleichtert wird.

Seit 2008 hat die HTWG Start-GmbH an der HTWG Konstanz ihre Tätigkeit als Technologietransfergesellschaft der Hochschule aufgenommen. Dies ermöglicht eine Flexibilisierung der Abwicklung von Technologietransferprojekten in einzelnen Themenfeldern und Geschäftskonstellationen.

Die erfolgreiche Durchführung der European Space Power Conference vom 15. - 18. September 2008 der European Space Agency - ESA mit Teilnahme von 250 Konferenzteilnehmern aus aller Welt zeigt die gute Vernetzung mit der Industrie und bestätigt das hohe Niveau von Forschung und Entwicklung an der HTWG. Die Fachkonferenz wurde veranstaltet unter Beteiligung mehrerer Sponsoren, die Hauptunterstützung erfolgte durch die Firma EADS Astrium sowie vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Das Profil der HTWG als forschungsaktive Hochschule wird durch neuerdings erfolgte Einführung der Gruppe der Akademischen Mitarbeiter verdeutlicht. Ziel ist auch hier die weitere Förderung einer produktiven Forschungskultur an unserer Hochschule.

Die vorliegende Ausgabe des Magazins Forum demonstriert die Breite und die Qualität der Forschungsleistung an unserer Hochschule. Wir danken den Autoren sowie auch den Inserenten, die mit dazu beitragen, diese Publikationsmöglichkeit unserer Forschungscommunity anzubieten.

WIR SUCHEN HOCHSCHULABSOLVENTEN/ -ABSOLVENTINNEN

Astrium, eine 100-prozentige Tochtergesellschaft der EADS, ist spezialisiert auf zivile und militärische Raumfahrtssysteme. Im Jahr 2008 erreichte Astrium einen Umsatz von 4,3 Milliarden € und beschäftigte rund 15.000 Mitarbeiter in Frankreich, Deutschland, Großbritannien, Spanien und den Niederlanden. Das Kerngeschäft gliedert sich in drei Bereiche: Astrium Space Transportation für Trägerraketen und Weltraum-Infrastrukturen, Astrium Satellites für Satelliten und Bodensegmente sowie Astrium Services für die Entwicklung und Lieferung satellitenbasierter Dienstleistungen.

EADS ist ein global führender Anbieter in der Luft- und Raumfahrt, im Verteidigungsgeschäft und den dazugehörigen Dienstleistungen. Im Jahr 2008 lag der Umsatz bei rund 43,3 Milliarden €, die Zahl der Mitarbeiter bei mehr als 118.000.

Wir suchen kreative Mitarbeiter, die bereit sind, anspruchsvolle Aufgaben zu übernehmen und die im Team über ihre Fachaufgaben hinausblicken. Sie sollen das im Studium erlangte Wissen bei der Entwicklung von Raumfahrzeugen anwenden und erweitern.

Relevante Studiengänge:

- Elektrotechnik & Informationstechnik
- Informatik
- Maschinenbau
- Wirtschaftswissenschaft
- Physik

Mögliche Studienschwerpunkte:

- Nachrichten- & Kommunikationstechnik
- Elektrische Energietechnik
- Automatisierungs- & Informationstechnik
- Wirtschaftsingenieurwesen
- Systems Engineering
- Mechatronik

Freude an der Arbeit in einem international orientierten Umfeld, Lernbereitschaft und gute englische und evtl. französische Sprachkenntnisse sind für uns ebenso selbstverständlich wie Eigenmotivation, Kundenorientierung und Ehrgeiz.

Suchen Sie eine Aufgabe mit Freiräumen und Gestaltungsmöglichkeiten? Dann liegt es an Ihnen, sich mit uns in Verbindung zu setzen. Die aktuell offenen Stellen finden sie unter:
<http://www.astrium.eads.net/careers-de>

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!
Bitte bewerben Sie sich über unser E-Recruiting-Tool.

Astrium GmbH
Personalabteilung
88039 Friedrichshafen

www.astrium.eads.net

All the space you need



TECHNOLOGIETRANSFER: EIN SKALIERBARES SMART METERING-SYSTEM

Jan Radon, Martin Liersch, Jens Spinner, Reinhard Nürnberg, Roland Stader und Siegfried Rest



PROF. DR.-ING. REINHARD
NÜRNBERG
HTWG Konstanz, Fakultät
Informatik



JAN RADON
B. Sc. Informatik
Masterstudent



MARTIN LIERSCH
B. Sc. Informatik
Masterstudent



JENS SPINNER
B. Sc. Informatik
Masterstudent



ROLAND STADER
Dipl.-Ing. (FH), M. Sc.
Stadtwerke Konstanz

SIEGFRIED REST
Dipl.-Ing. (FH)
Stadtwerke Konstanz

1 EINFÜHRUNG

Die nachhaltige Versorgung mit Energie ist eine zentrale gesellschaftliche Aufgabe der Zukunft. In diesem Zusammenhang gewinnt der Einsatz von konventionellen und regenerativen Energien sowie der schonende Umgang mit Energie (Energiesparen) immer stärker an Bedeutung, sollen die Energiekosten für die Endverbraucher sich auch zukünftig in einer ökonomisch vertretbaren Größenordnung bewegen. Um dem Endverbraucher die Möglichkeit zu geben, sparsamer bzw. effizienter mit elektrischer Energie umzugehen, wie dies in der Richtlinie des Europäischen Parlaments über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen [1] und im ‚Integrierten Energie- und Klimaprogramm‘ (IEKP) des Bundeskabinetts [2] gefordert wird, muss man ihm zeitgenaue und detaillierte Informationen über seinen Energieverbrauch bereitstellen. Hierzu ist ein System zur intelligenten Zählerfernablesung [3] erforderlich, das den Energieversorgungsunternehmen (EVU) eine automatische Erfassung und Speicherung des Energieverbrauchs jedes einzelnen Kunden ermöglicht. Auf der Basis dieser Daten können diese dem Kunden so monatlich eine detaillierte Abrechnung liefern, aus der er z.B. auch seinen tagesgenauen Stromverbrauch entnehmen und steuern kann. Darüber hinaus bietet ein solches System den Kunden auch die Möglichkeit, ihren Energieverbrauch online zu beobachten.

In Zusammenarbeit mit der Stadtwerke Konstanz GmbH wurde an der Fakultät Informatik die Hardware und Software für einen ersten Prototyp [4] eines Smart Metering-Systems entwickelt. Dieser wird im Rahmen eines F&E-Kooperationsprojektes zwischen der Stadtwerke Konstanz GmbH und der Hochschule Konstanz weiterentwickelt und in einem Feldversuch erprobt, mit dem Ziel, das technische Gesamtkonzept sowie die Kundenakzeptanz eines solchen Systems zu evaluieren.

2 SYSTEMÜBERBLICK

Um die Investitions-, Inbetriebnahme- und Wartungskosten für ein solches System möglichst gering zu halten, wurde eine IP-basierte Datenübertragung der Zählerstände über das Internet realisiert, das heutzutage in vielen Privathaushalten z.B. über DSL-Anschlüsse verfügbar ist und durch die hohe weltweite Verbreitung ausreichend Zukunftssicherheit bietet. Neben den Stromzählern können ebenfalls Verbrauchswerte, wie z.B. von Wasser-, Gas- und Wärmezählern erfasst werden. Grundgedanke dieses Ansatzes ist, möglichst kostengünstige, robuste und technologisch einfache Zähler zu verwenden, wobei die „Intelligenz“ des Systems auf eine universell einsetzbare Dienstplattform, das sogenannte ‚Home Service Gateway‘ (HSG) [5] verlagert wird. Das HSG stellt einen gesicherten, zentralen und universellen Zugangspunkt zum Haushalt bereit; mit ihm lassen sich zahlreiche und vielschichtige Applikationen und Dienste realisieren, wie z.B. Fernwartung, Steuerung, Sicherheit etc. Dabei ist die Zählerfernablesung lediglich ein Dienst unter vielen. Die zentrale Komponente zur Konfiguration, Verwaltung und Pflege der technischen Infrastruktur (Zähler, HSGs, DSL-Router, etc.), sowie zur Erfassung, Speicherung, Verarbeitung, Visualisierung und Präsentation der Messwerte stellt das im Rahmen dieses Projektes realisierte Web-Portal [6] dar. Alle (Zähler-)Daten des jeweiligen HSGs werden zyklisch über eine gesicherte Internet-Verbindung zum Portal übertragen und zur weiteren Verarbeitung und Archivierung in einer Datenbank gespeichert. In Abbildung 1 ist die prinzipielle Struktur des Smart Metering-Systems mit seinen Kernkomponenten wie Portalserver, DSL-Router und HSG sowie Zähler-Gateways (ZGs) dargestellt. Bei dem für den Feldversuch realisierten Prototypen wurden einfache elektronische Stromzähler [7] mit So-Impulsschnittstelle [8] verwendet, die bei den Stadtwerken Konstanz in großer Zahl existieren. Die

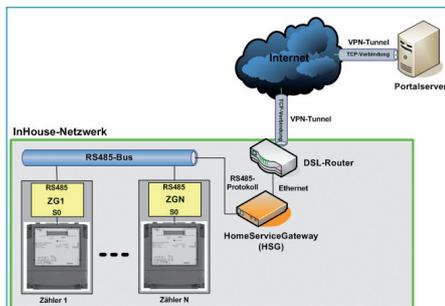


ABB. 1: SMART METERING-SYSTEM (AUSSCHNITT)

über die SO-Schnittstelle vom ZG [9, 10] erfassten Zählerstände werden von diesem zwischengespeichert und zyklisch vom HSG [9, 10] über den RS485-Bus zur weiteren Verarbeitung und Weiterleitung an den Portalserver abgeholt. Zur Abholung der Zählerdaten vom HSG wird aus Sicherheitsgründen ein ‚Virtual Private Network‘ (VPN)-Tunnel zwischen Portalserver und DSL-Router durch das Internet aufgebaut. Vom Portalserver werden die Zählerdaten kundenbezogen in einer Datenbank archiviert. Der Versorger wird so in die Lage versetzt, neben der Erstellung einer detaillierten monatlichen Verbrauchsabrechnung weitere Beratungsdienstleistungen sowie umfangreiche Statistiken zur Optimierung seines Netzbetriebes zu generieren. Die Kunden werden ihrerseits in die Lage versetzt, ihren persönlichen Energieverbrauch in Form von Tages-, Wochen- oder Monatslastprofilen über ein spezielles Web-basiertes Kundenportal darstellen zu lassen. Aus Sicherheitsgründen erhalten die Kunden niemals direkten Zugriff auf die Zähler; der Web-Zugriff erfolgt ebenfalls ausschließlich auf gespiegelten Daten.

3 SMART METERING WEBPORTAL

Das Webportal besteht aus dem Kunden- und Wartungsportal und ist die zentrale Instanz für den Betrieb und die Wartung des Smart Metering-Systems. Die Realisierung basiert auf dem Open Source Application- und Portalserver JBOSS [11]. Alle

Konfigurations-, Administrations- und Kundenmodule des Smart Metering-Webportals wurden als ‚Portlets‘ implementiert und sind kompatibel mit der Portlet-Spezifikation JSR 168 [12]. Durch die Verwendung von Portlets wird eine hohe Flexibilität erreicht, die z.B. ermöglicht, diese „on-the-fly“ auf beliebigen Portalservern zu installieren bzw. zu deinstallieren, wenn diese die Portlet-Spezifikation unterstützen.

Der Prozess der Zählerfernablesung erfolgt durch die Datensammler, die in frei konfigurierbaren Zeitintervallen eine sichere Verbindung durchs Internet zum DSL-Router im InHouse-Netz aufbauen. Über diesen sicheren VPN-Tunnel werden die seit der letzten Abfrage gemessenen Zählerstände vom HSG abgeholt. Bestehen alle empfangenen Zählerstände und abgefragten HSGs die ‚Plausibilitätschecks‘, werden die Zählerstände mit den zugehörigen Messzeitpunkten in die Metering-Datenbanken eingespielt. Die Zeitsynchronisation der HSGs übernimmt der Sammelserver, welcher für das regelmäßige Aussenden der aktuellen Uhrzeit zuständig ist und diese zyklisch über das ‚Network Time Protocol (NTP)‘ aktualisiert.

Die Zählerstände aller Zähler des Smart Metering-Systems werden redundant gespeichert, so dass der Kunde über das Kundenportal aus Sicherheitsgründen nur Zugriff auf die gespiegelten Zählerdaten erhält. Dies wird im Rahmen des Pilotprojektes durch zwei MySQL-Datenbankserver realisiert, wobei ein sogenannter Datensammeldienst die Synchronisation übernimmt. Zusätzlich wurde eine Fehler- und Informationsdatenbank aufgebaut, in welcher Fehler, Ausfälle, Störungen, Wartungsinformationen, Verbindungsversuche etc. zentral protokolliert werden. Aus der Analyse dieser Informationen können z.B. Angriffe auf das Portal erfasst werden.

4 WARTUNGSPORTAL

Die Konfiguration, Pflege und Überwachung aller Komponenten des Smart Metering-Systems erfolgt über ein eigenständiges Wartungsportal. Über dieses kann der Netzadministrator die für die Fernablesung der Stromzähler relevanten Informationen der Kunden in der Metering-Datenbank hinterlegen und pflegen. Zudem kann er vom Wartungsportal über den sicheren VPN-Tunnel auf die im XML-Format auf den HSGs hinterlegte Konfiguration zugreifen, um sie mit der auf dem Portal hinterlegten abzugleichen. Diese Funktionalität stellt zudem die Möglichkeit der Einrichtung von Konfigurationsprofilen für neue HSGs bereit, so dass beim ersten Kontakt des HSGs mit der Sammelstation die Konfiguration automatisiert aufgespielt werden kann. Für den Fall von Störungen, Manipulationsversuchen oder Ausfällen wurden für das Portal spezielle Überwachungsmodule entwickelt. Diese visualisieren aufgetretene, durch die Sammelserver ermittelte Fehler. Es wird zudem zukünftig möglich sein, Benachrichtigungen in Form von emails, Datenbankeinträgen oder SMS-Nachrichten an zuständige Personen zu versenden.

5 KUNDENPORTAL

Bei der Entwicklung des Kundenportals [13] wurde sehr großer Wert auf Einfachheit und Bedienungsfreundlichkeit sowie auf Browserkompatibilität gelegt. Es bietet dem Kunden Zugriff auf alle seine Kontaktdaten, Tarifinformationen und den individuellen Stromverbrauch in Form von Diagrammen. Dabei stehen ihm zwei unterschiedliche Ansichten zur Verfügung. Die Startseite, wie in Abbildung 2 dargestellt, zeigt den Stromverbrauch seit der letzten Anmeldung, den aktuellen Zählerstand und ein Balkendiagramm des Stromverbrauchs pro Tag des aktuellen Monats. Die Diagrammansicht stellt dem Kunden erweiterte Diagramme zur Analyse seines

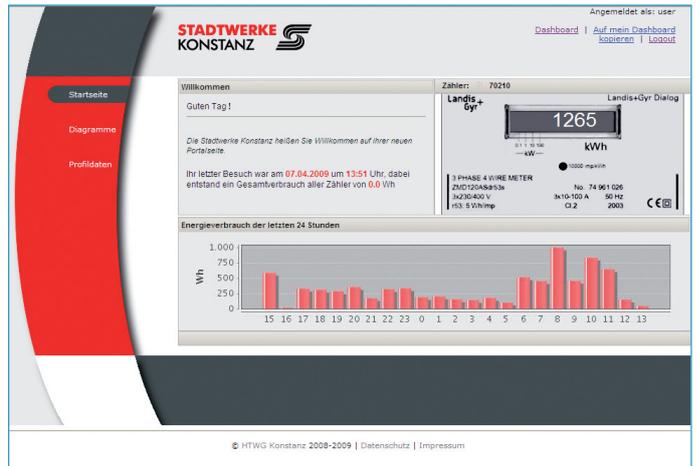


Abb. 2: STARTSEITE DES KUNDENPORTALS

Stromverbrauchs bereit. Des Weiteren erzeugt das System am Monatsende automatisch eine detaillierte Kostenaufstellung über die verbrauchte Energie in Form einer Rechnung. Sie enthält ein Diagramm auf dem der durchschnittliche Stromtagesverbrauch der letzten 12 Monate ersichtlich ist, sowie eine Auflistung des Tagesverbrauchs und der Kosten des aktuellen Monats.

6 SMART METERING-KOMMUNIKATIONSNETZ

Da Zähler- sowie Kundendaten über das Internet übertragen werden, muss der Betreiber des Smart Metering-Systems schon aus datenschutzrechtlichen Bestimmungen dafür sorgen, dass Unbefugte keinen Zugriff darauf erhalten. Um diese Voraussetzung zu erfüllen, werden zur sicheren Übertragung der Daten ‚Virtual Private Networks‘ (VPNs) eingesetzt. Zum Einsatz kommt die Software ‚OpenVPN‘ [14], mittels derer sogenannte VPN-Tunnel durch das Internet zwischen DSL-Router im InHouse-Netz und dem Portal im Intranet des Betreibers angelegt werden. Der gesamte Datenverkehr wird somit nach Etablierung des VPN-Tunnels sowohl vor Mithören als auch vor Datenmanipulation geschützt. Dies wird von OpenVPN über eine Datenverschlüsselung sowie durch die Verwendung eines HMAC (Message Authentication Code) sichergestellt. Beim Verbindungsaufbau wird ein TLS-Handshake durchgeführt, bei dem Zertifikate benutzt werden. Es wird eine sogenannte Public-Key-Architektur eingesetzt. Hierbei erhält jeder Teilnehmer ein Schlüs-

selpaar, das aus einem privaten, geheimen Schlüssel und einem öffentlichen Schlüssel besteht. Die verwendeten Algorithmen stellen sicher, dass von einem öffentlichen Schlüssel nicht auf den privaten, geheimen Schlüssel geschlossen werden kann. Gültig sind nur Zertifikate, welche von einer autorisierten Zertifizierungsstelle erstellt wurden. Für jeden Kunden muss ein eigenes Zertifikat generiert und signiert werden. Jeweils ein VPN-Tunnel wird zwischen dem Portalserver und dem DSL-Router aufgebaut. Dadurch besitzt der Portalserver zusätzlich die Möglichkeit, auf das gesamte interne Netz des Routers, in welchem sich ebenfalls die HSGs befinden, zuzugreifen. Alle VPN-Tunnel zusammen, wie dies Abbildung 3 verdeutlichen soll, bilden sozusagen ein eigenständiges und sicheres privates Netz im Internet, über das die vertraulichen Kundendaten, Zählerstände, Steuerinformationen usw. transportiert werden.

Die Inhouse-Netzwerke bestehen aus einem DSL-Router zur Kopplung mit dem Internet und einem bzw. mehreren HSGs, die mit diesem über Ethernet verbunden sind. Anstelle des Ethernet könnte zwischen Router und HSGs auch ein WLAN eingesetzt werden. Das HSG verfügt in der aktuellen Version neben einer drahtgebundenen RS485-Busschnittstelle über eine ZigBee- und MBus-Funkschnittstelle [10, 15], so dass auch gemischte Netztopologien aufgebaut werden können, wie in Abbildung 4 dargestellt. Die Erweiterung der einfachen elektronischen Stromzähler um das ZG ermöglicht deren Fernablesung durch das HSG. Der RS485-Bus wird im

Halbduplex-Modus betrieben, so dass zu einem Zeitpunkt immer nur ein Bus-Teilnehmer senden darf (Master-Slave-Beziehung). Für die Kommunikation zwischen HSG und ZGs wurde ein einfaches Stop-And-Wait-ARQ-Protokoll mit einem CRC16-Prüfsummenverfahren zur Erkennung von Übertragungsfehlern implementiert.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zum Test der Funktionsfähigkeit und der Zuverlässigkeit der realisierten Hardware und Software des Zähler- und Home Service-Gateways, des Kunden- und Wartungsportals sowie der Konfiguration des DSL-Routers wurde in einer Vorphase neben dem Netz im Labor ein identisches Testnetz in einem größeren Wohnkomplex aufgebaut und in Betrieb genommen.

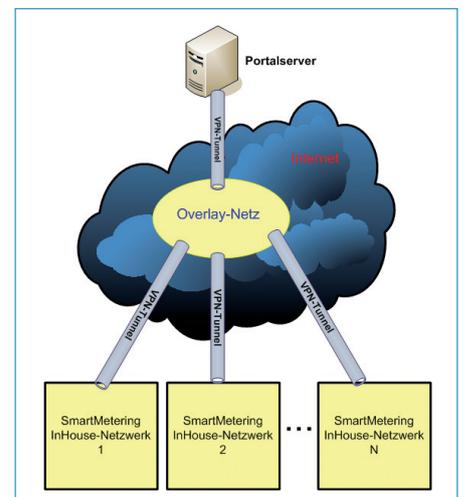


Abb. 3: VPN-BASIERTES VIRTUELLES OVERLAY-NETZ

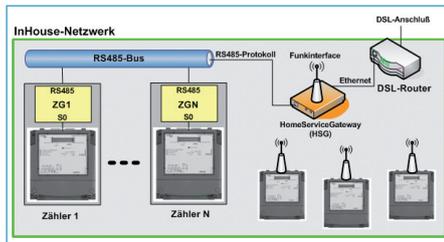


ABB. 4: BEISPIELTOPOLOGIE EINES INHOUSE-NETZWERKES

Dieses besteht aus vier ZGs, dem HSG, dem Monitor-Rechner und dem DSL-Router [16], wie teilweise aus Abbildung 5 zu erkennen ist. Um beim Betrieb des Testnetzes auftretende Fehler für eine Fehleranalyse aufzeichnen zu können, wurde zusätzlich ein mit spezieller Testsoftware ausgestatteter Monitor-Rechner in das Testnetz eingefügt. Dieser protokolliert die Kommunikation auf dem RS485-Bus, dem Ethernet (Internetverkehr) sowie die Debug-Ausgaben des HSGs über die RS232-Schnittstelle in einer Log-Datei. Zur Analyse der aufgetretenen Fehler kann die Log-Datei über das Internet vom Monitor-Rechner geladen und anschließend offline analysiert werden. Durch den Testbetrieb in einem realen Umfeld konnten einige im Labornetz nicht aufgetretene Fehler in der Hardware und Software des ZGs und HSGs entdeckt und durch deren Beseitigung die Stabilität des Systems deutlich verbessert werden. Auch beim Wartungs- und Kundenportal wurden im Zuge des Testbetriebs einige Erweiterungen und Verbesserungen bezüglich Funktionalität und Benutzbarkeit, wie z.B.



ABB. 5: ZÄHLERKASTEN DES TESTNETZES MIT ZGS (HSG, DSL-ROUTER UND MONITOR-RECHNER)

die Kompatibilität mit verschiedenen Browsern, vorgenommen. In der nächsten Phase des Projektes erhalten zehn Mitarbeiter der Stadtwerke zu Testzwecken Zugang zum Smart Metering-System. Die in dieser Testphase entdeckten Probleme werden beseitigt und Verbesserungen hinsichtlich der Benutzung des Kundenportals soweit erforderlich und möglich, vorgenommen. Erst danach erhalten in einem begrenzten Umfang Kunden der Stadtwerke im Rahmen des Feldversuchs Zugang zum Smart Metering-System, um die Kundenakzeptanz zu evaluieren.

Der hier vorgestellte Ansatz, der durch das ZG aus den einfachen elektronischen Stromzählern mit SO-Impulsschnittstelle sogenannte ‚SmartMeter‘ macht, bietet für Mehrfamilienhäuser, bei denen sich in der Regel alle Zähler in einem Zählerkasten im Keller befinden, eine sehr effiziente und kostengünstige Lösung, da für viele Zähler nur ein HSG erforderlich ist. Mit diesem sind alle ZGs und damit Zähler über den drahtgebundenen RS485-Bus für die Fernablesung in Einfamilienhäusern wurde für das ZG und HSG auf Basis von ZigBee eine Funklösung realisiert, die den Installationsaufwand und damit die Kosten in diesem Umfeld verringert.

LITERATUR

- [1] Amtsblatt der EU; Richtlinie 2006/32/EG, 5. April 2006
- [2] Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm, <http://www.bmwi.de>, 2007
- [3] Potentiale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs, eEnergy, BMWi-Studie, 2006
- [4] R. Nürnberg, A. Schmidt, S. Hermann; IAF Small Research Projects, Smart Metering-System, Interner Bericht, Fakultät Informatik, Hochschule Konstanz, September

ber 2007

- [5] A. Schmidt; Prototypimplementierung eines Sensorsystems zur internetbasierten Stromablesung, Dipl.-Arbeit, HTWG Konstanz, Februar 2007

- [6] J. Radon; Realisierung der Smart Meteringkomponente für das JBOSS-Kundenportal eines Energieversorgers, Bachelor Thesis, Hochschule Konstanz, 30. Juni 2008

- [7] Landis + Gyr; Elektrizitätszähler ZM-D120AS, Betriebsanleitung

- [8] IEC 61393/DIN 43864

- [9] M. Liersch; SmartMetering-System - Realisierung der Kommunikations- und Managementsoftware für das Zähler- und SmallHomeServicegateway -, Bachelor Thesis, Hochschule Konstanz, 30. Juni 2008

- [10] J. Spinner; SmartMetering-System - Realisierung einer Funkschnittstelle für das Zähler- und SmallHomeServicegateway -, Bachelor Thesis, Hochschule Konstanz, 31. Dezember 2008

- [11] JBoss Portal Team, JBOSS Reference Guide, <http://www.jboss.org/jbossportal/docs/index.html>, 2008

- [12] Sun Microsystems, Introduction to JSR 168 - The Portlet Specification, <http://developer.sun.com>

- [13] F. Maaß, G. Münch; SmartMetering-System - Prototypimplementierung des SWK-Kundenportals -, Bachelor-Teamprojekt, Fakultät Informatik, Hochschule Konstanz, WSo8-09

- [14] OpenVPN Homepage, <http://openvpn.org/>

- [15] F. Baur, M. Offergeld, Th. Seeh; SmartMetering-System - Realisierung der MBus-Funkschnittstelle für das HSG -, Bachelor-Teamprojekt, Fakultät Informatik, Hochschule Konstanz, WSo8-09

- [16] Netgear WGR614L, http://www.netgear.de/produkte/Wireless/802_11g/WGR614L/index.html

BACHELOR-STUDIENGÄNGE

- > Architektur
- > Automobilinformationstechnik
- > Bauingenieurwesen
- > Betriebswirtschaftslehre
- > Elektrotechnik und Informationstechnik
- > Kommunikationsdesign
- > Maschinenbau/ Produktion
- > Maschinenbau/ Konstruktion und Entwicklung
- > Maschinenbau Entwicklung und Produktion
- > Software-Engineering
- > Technische Informatik
- > Verfahrenstechnik und Umwelttechnik
- > Wirtschaftsinformatik
- > Wirtschaftsingenieurwesen Bau
- > Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau
- > Wirtschaftsingenieurwesen Elektro- und Informationstechnik
- > Wirtschaftssprachen Asien und Management/ Chinesisch

- > Wirtschaftssprachen Asien und Management/ Malaiisch
- > Wirtschaftssprache Deutsch und Tourismusmanagement

MASTER-STUDIENGÄNGE

- > Architektur
- > Asian-European Relations and Management
- > Automotiv Systems Engineering
- > Bauingenieurwesen
- > Business Information Technology
- > Elektrische Systeme
- > Informatik
- > Communication Systems Engineering
- > Kommunikationsdesign
- > Mechanical Engineering and International Sales Management
- > Mechatronik
- > Umwelt- und Verfahrenstechnik
- > Wirtschaftsingenieur Maschinenbau
- > Wirtschaftsingenieurwesen

Welcome to new therapy dimensions

MTS und TRT Tissue Regeneration Technologies sind führend im Bereich der nicht-invasiven Gewebeheilung und -neubildung mittels Stosswellenapplikation. In Kooperation mit der HTWG Konstanz, erarbeiten wir innovative Lösungen im Bereich der Medizintechnik. Unser Ziel - intelligente Stoßwellen für mehr Lebensqualität - immer im Blick. In internationalen Teams überzeugen wir weltweit durch Fachkompetenz, Erfahrung und Zuverlässigkeit.

Informieren Sie sich über die Möglichkeiten neuer Behandlungsdimensionen unter:

www.mts-medical.com



MTS Europe GmbH Robert-Bosch-Str. 18 78467 Konstanz
Tel. 075 31/36185-0 Fax 075 31/36185-72 info@mts-medical.com

Für beste Verbindungen zueinander.



Besuchen Sie Brugg Cables im Internet. Dort finden Sie Informationen zu Themen von A wie aktuelle Stellenangebote bis Z wie Zubehör für Telekommunikations-, Industrie- und Energiekabel.
Tel. +41 (0)56 460 33 33,
Fax +41 (0)56 460 35 36,
E-Mail: info@brugg.com,
<http://www.brugg.com>.

BRUGG CABLES
Well connected.

ARCHITEKTUR UND GESTALTUNG

PROF. ANDREAS BECHTOLD

LEHRGEBIETE: Timebased-Design, (Bewegtbild im Kommunikationsdesign): Filmtechnik, Drehbuch und Dramaturgie des Erzählens, Regie, Schnitt, Sounddesign und Filmgeschichte. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Anthropologie des Erzählens. Entwicklung eines nachhaltigen Lehrkonzeptes zur Vermittlung aktiver Medienkompetenzen (journalistisches Arbeiten, Konzeption und Umsetzung von TV-Formaten etc.) **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Drehbuchautor und Kinderbuchautor

Tel.: +49 (0)7531 3659272

e-Mail: bechtold@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. IMMO BOYKEN

LEHRGEBIETE: Architekturgeschichte, Architekturtheorie, Bauaufnahme und Entwerfen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Forschungen zur Entstehung der modernen Architektur. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Architekturgeschichte des 20. Jahrhunderts, Bauaufnahme

Tel.: +49 (0)7531 206-199

e-Mail: boyken@htwg-konstanz.de

PROF. CONSTANTIN BOYTSCHIEFF

LEHRGEBIETE: Digitale Medien und Architekturdarstellung. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Einsatz des Computers für die Planung, Integration von Umweltgesichtspunkten in die Planungstools, Erforschung und Entwicklung von Virtual-Reality-Systemen für die Planung, virtuelle Welten und Interaktionen (3-D-Cave vorhanden). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Virtual-Reality-Systeme, virtuelle Welten und Interaktionen

Tel.: +49 (0)7531 206-619

e-Mail: boytscheff@htwg-konstanz.de

PROF. CENGIZ DICLELI

LEHRGEBIETE: Tragkonstruktionen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Geschichte des Ingenieurbaus. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Tragwerksentwurf

Tel.: +49 (0)7531 206-180

e-Mail: dicleli@htwg-konstanz.de

PROF. DR. VOLKER FRIEDRICH

LEHRGEBIETE: Kreatives Schreiben im Kommunikationsdesign, professionelles Schreiben, wissenschaftliches Schreiben, Rhetorik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Schreibrhetorik, Bild-Text-Wechselwirkungen, schriftliche Organisationskommunikation, Medientheorie. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Medienkonzeption, -produktentwicklung und -realisation

Tel.: +49 (0)7531 206-659

e-Mail: fried@htwg-konstanz.de

PROF. MYRIAM GAUTSCHI

LEHRGEBIETE: Entwerfen, Innenraumgestaltung, Ausbautechnologie. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Raum-Wahrnehmung, Material und Raum, Licht und Raum, Charlotte Perriand.

Tel.: +49(0)7531-206 586

e-Mail: gautschi@htwg-konstanz.de

PROF. JUDITH M. GRIESHABER

LEHRGEBIETE: Kommunikationsdesign und Mediadesign, analytisches Gestalten, experimentelles und konzeptionelles Gestalten, Ausstellungskonzeption und -design, Kommunikationsprogramme, Kultur und Kommunikation im öffentlichen Raum. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Anmutungs- und Wirkungsprofile interkulturell; Unternehmenskultur und -kommunikation im internationalen Kontext. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Durchführung von Seminaren zu Unternehmenskommunikation und -kultur, Corporate Identity, Massenkommunikation und Marketing

Tel.: +49 (0)7531 206-856

e-Mail: grieshaber@htwg-konstanz.de

PROF. BERND JAHNKE

LEHRGEBIETE: Grundlagen Kommunikations-Design, Corporate Communication, Marketing, Diplombetreuung. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Corporate Communication. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Corporate Design, Corporate Communication, Analyse und Bewertung von Kommunikationsmitteln und -medien, Messe- und Ausstellungswesen, Orientierungs- und Leitsysteme, interaktive Systeme, Virtual Reality

Tel.: +49 (0)7531 206-850

e-Mail: jahnke@htwg-konstanz.de

PROF. KARIN KAISER

LEHRGEBIETE: Kommunikationsdesign. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Knowledge Media Design, interdisziplinäre Arbeits- und Explorationsformen, visuelle Identitäten. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Editorial Design, Corporate Design, Interdisziplinäre Projekte (Knowledge Media Design, Environmental Design)

Tel.: +49 (0)7531 206-851

e-Mail: karin.kaiser@htwg-konstanz.de

PROF. JOSEF LENZ

LEHRGEBIETE: Entwerfen (besonders Wohnungsbau, Museen), Baukonstruktion (besonders Niedrigenergiebauweise, Passivhaus-Standards). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Passivhaus-Entwicklung, Solartechnik, Ausstellungsdesign, Museumskonzepte

Tel.: +49 (0)7531 206-188

e-Mail: jos.lenz@htwg-konstanz.de

PROF. DR. ROLF NEDDERMANN

LEHRGEBIETE: Baumanagement mit den Bereichen: Bauwirtschaft, Baubetrieb und -durchführung, Baukonstruktion **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Baukostenplanung, kostengünstiger Wohnungsbau, Kostenplanung im Altbaubereich, Kosten- und Leistungsrechnung für Architekten und Ingenieure, Fachveröffentlichungen, Fortbildungen

Tel.: +49 (0)7531 206-688
e-Mail: nedderma@htwg-konstanz.de

PROF. STEPHAN ROMERO

LEHRGEBIETE: Entwurf, Darstellung, Gestaltung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Gebäudeplanung, Stadtplanung, Objektplanung nach HOAI (alle Leistungsphasen)

Tel.: +49 (0)7531 206-196
e-Mail: romero@htwg-konstanz.de

PROF. LEONHARD SCHENK

LEHRGEBIETE: Städtebau und Entwerfen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Nachhaltigkeit im Städtebau, besonders: Innenentwicklung, Brachflächenrecycling (Reduzierung der Flächeninanspruchnahme); Alternative Wohnformen, z.B. Baugemeinschaftsmodelle; Zukunft der Bürgerstadt. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Stadtplanung (Auszeichnung: Deutscher Städtebaupreis 2001), Wohnungsbau, Landschaftsplanung

Tel.: +49 (0)7531 206-183
e-Mail: leonhard.schenk@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. THOMAS STARK

LEHRGEBIETE: Energieeffizientes Bauen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Nachhaltige Energiekonzepte; Solares Bauen; Nachhaltige Architekturwettbewerbe. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Gebäudeenergiekonzepte; Photovoltaik; Gebäudeintegration; Nachhaltigkeit im Bauwesen

Tel.: +49 (0)7531 206-191
thomas.stark@htwg-konstanz.de

PROF. VALENTIN WORMBS

LEHRGEBIETE: Professur für Image-Design, konventionelle und digitale Fotografie und Bildgestaltung, Grundlagen der Fotografie und Fototechnik, Grundlagen Kommunikationsdesign. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Interdisziplinäre Untersuchungen von Bildräumen, Bild-Text-Wechselwirkungen, Medientheorie Bildwissenschaft, Bildrhetorik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Künstlerische Druckverfahren

Tel.: +49 (0)7531 3659271
e-Mail: wormbs@htwg-konstanz.de



PROF. JO WICKERT

LEHRGEBIETE: Interfacedesign, Informationsdesign und Screendesign im Kommunikationsdesign. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Alternative Interfaces; Applikationsdesign; Aspekte der Qualifikation von Designern für On- und Offlinemedien. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Markenauftritt für globale Unternehmen, Markenworkshops sowie CI/CD (hauptsächlich digital); New Devices; Unternehmenswebseiten.

Tel.: +49 (0)7531 206-857
e-Mail: wickert@htwg-konstanz.de

BAUINGENIEURWESEN

Prof. Dr. Heiko Denk

LEHRGEBIETE: Massivbau und IT im Bauwesen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Intelligent Computing in Engineering, praxisgerechte Softwareentwicklung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Spannbetonbau, Stahlbetonbau, Brückenbau

Tel.: +49 (0)7531 206-205
e-Mail: denk@htwg-konstanz.de

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Francke

LEHRGEBIETE: Stahlbau, Verbundbau und Ingenieurholzbau. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Brandschutztechnische Bemessung, Verbundbau, Stahlbau, Ingenieurholzbau, Stabilitätsprobleme (Biegedrillknicken, Plattenbeulen), Gesamtstabilität, Traglastuntersuchungen, statische und dynamische, lineare und nichtlineare Bemessung, Schockbelastungen, virtuelle Experimente und Simulation in der Lehre. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Brandschutztechnische Bemessung im Verbundbau, Industriehallen und Geschossbauten aus Holz, Stahl und Stahl-Beton-Verbund, Parkhäuser aus Stahl-Beton-Verbund, nichtlineare Berechnungen (Gesamtstabilität, Biegedrillknicken, Plattenbeulen), transiente Einwirkungen

Tel.: +49 (0)7531 206-217
e-Mail: francke@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. PETER HIRSCHMANN

LEHRGEBIETE: Wasserbau und Wasserwirtschaft, Hydromechanik/Hydraulik, Ökologie und Raumplanung, Geo-Informationssysteme (GIS). **FORSCHUNGSGEBIETE:** Ökologischer Gewässerausbau, Retention, Strömung in Gewässern und Rohrleitungen. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Wasserwirtschaftliche Planung, ökologischer Gewässerausbau, Wasser- und Baurecht einschl. Genehmigungsverfahren, Raumplanung, Hydraulik

Tel.: +49 (0)7531 206-219
e-Mail: hirschma@htwg-konstanz.de

PROF. DR. BERND JÖDICKE

LEHRGEBIETE: Physik, Lichttechnik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Lichttechnik/Beleuchtung (Tageslicht, Licht und Mensch, Messung von Licht). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Lichttechnik / Beleuchtung, Wärmeübertragungsmessung

Tel.: +49 (0)7531 206-345

e-Mail: joedicke@htwg-konstanz.de

PROF. DR. KLAUS-PETER MESSMER

LEHRGEBIETE: Technische Mechanik, Baustatik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Nichtlineare Berechnung von Platten- und Schalentragwerken. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Nichtlineare Berechnung von Platten- und Schalentragwerken

Tel.: +49 (0)7531 206-207, -212

e-Mail: messmerk@htwg-konstanz.de

PROF. DR. WOLFGANG REITMEIER

LEHRGEBIETE: Geotechnik (Grundbau, Bodenmechanik). **FORSCHUNGSGEBIETE:** Untergrundverbesserung mit Stabilisierungssäulen. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Aufstehende und -schwimmende Gründungen in weichen Böden, Vermessung, Ausführung, Qualitätssicherung

Tel.: +49 (0)7531 206-224

e-Mail: reitmeier@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. SYLVIA STÜRMER

LEHRGEBIETE: Baustofftechnologie/Bauchemie, Bauphysik, Bauwerkserhaltung/Bauschadensanalyse/Denkmalpflege, Darstellende Geometrie. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Untersuchung und Bewertung mineralischer Baustoffe (auch historische Baustoffe), Baustoffe und Verfahren in der Bausanierung bzw. im Bautenschutz

Tel.: +49 (0)7531 206-225

e-Mail: stuermer@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. HORST WERKLE

LEHRGEBIETE: Baustatik und Baudynamik, Bauinformatik **FORSCHUNGSGEBIETE:** Finite-Element-Methode in der Tragwerksplanung, Bauwerks- und Bodendynamik, Engineering Desktop Systeme in der Tragwerksplanung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Finite-Element-Berechnungen, baulastdynamische Berechnungen, erdbebensicheres Bauen

Tel.: +49 (0)7531 206-211, -212

e-Mail: werkle@htwg-konstanz.de

PROF. FRANZ A. ZAHN, PH.D.

LEHRGEBIETE: Stahlbetonbau, Spannbetonbau, Betontechnologie **FORSCHUNGSGEBIETE:** Spannbeton, Verbundbau, Erdbebensicherung von Bauwerken. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Spannbeton, Verbundbau, Erdbebensicherung von Bauwerken

Tel.: +49 (0)7531 206-216

e-Mail: fzahn@htwg-konstanz.de

PROF. EBERHART ZOLLER

LEHRGEBIETE: Baubetrieb, Bauvertragswesen, Kalkulation, Projektsteuerung. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Schalungssysteme im Baubetrieb, Betonverschalung, Rationalisierung in der Bauwirtschaft, Auslandsbau. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Bauprojektplanung, Bauprojektsteuerung, Bauprojektkontrollen, Bauschadensanalysen, Baugutachten, Bauvorlageberechtigung, Ausbildungsberechtigung, Ausführungsberechtigung von statischen und konstruktiven Unterlagen

Tel.: +49 (0)7531 206-221

e-Mail: zoller@htwg-konstanz.de

ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTECHNIK

PROF. DR.-ING. THOMAS BIRKHÖLZER

LEHRGEBIETE: Mathematik, Informatik, Software Engineering. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Entwurfsmuster für objektorientierte Software, Architektur von vernetzten IT-Systemen (speziell im Gesundheitswesen), wahrscheinlichkeitsbasierte Modellierung von Wissen. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** IT Architektur (Entwurf z.B. UML und Umsetzung), Prozessmodellierung, Software-Management, Innovations-Management, Medizintechnik und IT-Systeme für das Gesundheitswesen, Entwurf von wahrscheinlichkeitsbasierten Diagnosesystemen

Tel.: +49 (0)7531 206-239

e-Mail: thomas.birkhoelzer@htwg-konstanz.de

PROF. DR. WILHELM FROMM

LEHRGEBIETE: Prozessautomatisierung, Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), Schutz- und Stationsleittechnik, Programmieren. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Schutz- und Stationsleittechnik (Automatisierung in Schaltanlagen). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Schutz- und Stationsleittechnik (Automatisierung in Schaltanlagen)

Tel.: +49 (0)7531 206-368

e-Mail: fromm@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. HARALD GEBHARD

LEHRGEBIETE: Kommunikations- und Medientechnik, Kommunikationsnetze, Elektronische Navigation und Positionierung. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Lokale GNSS-Dienste (GPS, GLONASS, GALILEO). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** IP-Protokolle und Netze, Echtzeit-Multimedia in IP-basierten Netzen, Echtzeitübertragung von GNSS-Daten in IP-basierte Netze

Tel.: +49 (0)7531 206-270

e-Mail: harald.gebhard@htwg-konstanz.de

PROF. DR. MANFRED GEKELER

LEHRGEBIETE: Leistungselektronik, elektrische Antriebstechnik, Energiewandlung. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Leistungselektronik, Power Factor Correction (PFC), Solarwechselrichter, Soft Switching, Vector Control. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Leistungselektronik, Power Factor Correction (PFC), Solarwechselrichter, Soft Switching, Vector Control, Stromrichter, Frequenzumrichter, Stromversorgungen, Schaltnetzteile (SMPS), Permanentmagnet-Motoren
Tel.: +49 (0)7531 206-220, -258
e-Mail: gekeler@htwg-konstanz.de

PROF. DR. WERNER KLEINHEMPEL

LEHRGEBIETE: Signalverarbeitung, Simulation, rechnergestützter Schaltungsentwurf. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Entwurf, Konzeption und Simulation von nachrichtentechnischen Systemen, Entwicklung von Verfahren der digitalen Signalverarbeitung (Filteralgorithmen, Verfahren zur Spektralanalyse, Multiraten-Signalverarbeitung), Entwurf und Realisierung digitaler Filter. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Entwurf, Konzeption und Realisierung der digitalen Signalverarbeitungs-komponenten von Funksystemen und von Radarsystemen
Tel.: +49 (0)7531 206-260
e-Mail: wkl@htwg-konstanz.de

PROF. DR. ROBERT KREMER

LEHRGEBIETE: Analoge Signalverarbeitung, Hochfrequenztechnik, Mikrowellentechnik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** HF-Sensorik, Antennen. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Kurzbereichsfunk, RADAR-Technik, Mikrowellen-Schattungstechnik, Mikrowellen-Messtechnik
Tel.: +49 (0)7531 206-269
e-Mail: kremer@htwg-konstanz.de

PROF. DR. RICHARD LEINER

LEHRGEBIETE: Mikrocontroller, CAE (analog). **FORSCHUNGSGEBIETE:** Steuerung, Regelung über Internet, „Virtuelle Labors“, Fernlehre, Telematik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** CAE (analog), Filterentwicklung (analog), Steuerung, Regelung mit Mikrocontroller, „Virtuelle Labors“
Tel.: +49 (0)7531 206-244
e-Mail: leiner@htwg-konstanz.de

PROF. DR. GABRIELE PREISSLER

LEHRGEBIETE: Mathematik und Informatik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Geometrie, insbesondere Differentialgeometrie (Möbius-Differentialgeometrie, klassische und Riemannsche Differentialgeometrie, Willmore-Flächen)
Tel.: +49 (0)7531 206-265
e-Mail: preissler@htwg-konstanz.de

PROF. DR. JOHANNES REUTER

LEHRGEBIETE: Regelungstechnik; Simulation. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Regelung schnell schaltender Aktuatoren, insbesondere Magnetventile; Autonome Mobile Systeme, Schwerpunkt : Target Tracking und Data Association; Sensorik und Sensormodellierung; Optimierung von Betriebsstrategien unter Unsicherheit. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Nichtlineare Regelungsverfahren mechatronischer Systeme; Probabilistische Filterung und Datenzuordnung (KF, PDAF, PDAB, MHT); Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme für Regelung und Simulation
Tel.: +49 (0)7531 206-266
e-Mail: jreuter@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. CHRISTIAN SCHAFFRIN

LEHRGEBIETE: Werkstoffe der Elektrotechnik, Elektrische Messtechnik, Erneuerbare Energiesysteme. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Multivalente Energiesysteme zur Strom- und Wärmeversorgung, Optimierung der Betriebsführung (Energiemanagement), Integrale Systemplanung für die Energieversorgung (Integration nachhaltiger Energieträger), betriebswirtschaftliche Systemoptimierung, Solarantriebe für Wasserfahrzeuge. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Solarelektrisch angetriebene Wasserfahrzeuge, multivalente Energieversorgungsanlagen (Strom und Wärme), Energiemanagement in Energieversorgungsanlagen, Wirtschaftlichkeitsberechnung für Energieversorgungsanlagen, Entwicklung von Simulationssoftware für Energiesysteme
Tel.: +49 (0)7531 206-240, -248
e-Mail: schaffrin@htwg-konstanz.de

PROF. DR. WOLFGANG SKUPIN

LEHRGEBIETE: Kommunikationstechnik, Mobilfunk, Mobilkommunikation, CDMA-Technik, GPS. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Wireless LANs, Mobiler Datenfunk, Verkehrsbelastungsszenarien (Kommunikationsverkehr). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Navigation/ Funknavigation/ SATNAV, CDMA-Systeme, Wireless LANs
Tel.: +49 (0)7531 206-257
e-Mail: skupin@htwg-konstanz.de

PROF. DR. PETER SLOWIG

LEHRGEBIETE: Kommunikationssysteme, Grundlagen Elektrotechnik, Technische Akustik, Informationstechnik für Fremdspracherwerb Chinesisch. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Computerlinguistik, maschinelle Übersetzung, Spracherkennung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Messtechnik, Technische Akustik, maschinelle und humansprachliche Übersetzung: Japanisch, Chinesisch, Russisch
Tel.: +49 (0)7531 206-543, +49 (0)7531 983615
e-Mail: slowig@htwg-konstanz.de

PROF. DR. GUNTER VOIGT

LEHRGEBIETE: Hochspannungstechnik, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), Energieübertragung und -verteilung, Messtechnik

FORSCHUNGSGEBIETE: Optimierung von Isolationssystemen, Methoden der Hochspannungsprüf- und messtechnik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Untersuchung von Isolationssystemen, Hochspannungsprüf- und Messtechnik

Tel.: +49 (0)7531 206-510, -112

e-Mail: gvoigt@htwg-konstanz.de

PROF. DR. KLAUS WEIGELT

LEHRGEBIETE: Elektrische Maschinen, Kraftwerkstechnik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Entwicklung von Spezialmaschinen, Sondermaschinen, Kraftwerksgeneratoren, Schaden- und Fehleranalysen, FE-Berechnungen (mechanisch, thermisch, magnetisch, elektrisch), Entwicklung von Anlagenmonitoringsystemen

Tel.: +49 (0)7531 206-245

e-Mail: weigelt@htwg-konstanz.de

INFORMATIK

PROF. DR. OLIVER BITTEL

LEHRGEBIETE: Programmierertechnik, Algorithmen und Datenstrukturen, KI-Programmierung, Neuronale Netze und Fuzzy Logic, Robotik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Neuronale Netze und Fuzzy Logic, Mobile autonome Roboter. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Neuronale Netze und Fuzzy Logic, mobile autonome Roboter, insbesondere Einsatz von neuronalen Netzen und Fuzzy Logic in Navigationssystemen (GPS, Loran-C)

Tel.: +49 (0)7531 206-626

e-Mail: bittel@htwg-konstanz.de

PROF. DR. HEIKO VON DRACHENFELS

LEHRGEBIETE: Software-Entwicklung, Programmierertechnik (mit C++), Objektorientierte Systementwicklung (mit C++, Java, UML). **FORSCHUNGSGEBIETE:** Produktivitätssteigerung in der Software-Entwicklung durch Standard-Architekturen und Entwurfsmuster, Software-Generierung, Fachsprachen, objektorientierte Renovierung von Altlasten. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Verteilte Systeme, Software-Architektur, Software-Engineering, 10 Jahre Praxiserfahrung damit in der Postautomatisierung

Tel.: +49 (0)7531 206-643

e-Mail: drachenfels@htwg-konstanz.de

PROF. DR. OLIVER ECK

LEHRGEBIETE: Datenbanksysteme, Systemmodellierung, Algorithmen und Datenstrukturen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Konzepte und Techniken moderner Datenbanksysteme, Wissensmodellierung.

SPEZIELLES FACHWISSEN: Datenbanksysteme, Softwaretechnik, Systemanalyse, Wissensbasierte Systeme, Ingenieursysteme

Tel.: +49 (0)7531 206-630

e-Mail: eck@htwg-konstanz.de

PROF. DR. WILHELM ERBEN

LEHRGEBIETE: Statistik, Logik (-programmierung), Metaheuristiken für Optimierungsprobleme, Data Mining. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Timetabling mit Hilfe Evolutionärer Algorithmen oder anderer Metaheuristiken. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Timetabling/Scheduling, Metaheuristiken, Statistik mit Excel

Tel.: +49 (0)7531 206-507

e-Mail: erben@htwg-konstanz.de

PROF. DR. MATTHIAS FRANZ

LEHRGEBIETE: Mustererkennung, Bildverarbeitung, Algorithmen und Datenstrukturen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Bildverarbeitung, maschinelles Lernen, kognitive Systeme, Steganalyse. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Bild- und Texturmodellierung, automatisches Design von Bildverarbeitungssystemen, Steganalyse in Bildern, maschinelles Lernen auf Bildern, Statistik natürlicher Szenen, optische Flussanalyse.

Tel.: +49(0)7531-206 633

e-Mail: mfranz@htwg-konstanz.de

PROF. DR. JÜRGEN FREUDENBERGER

LEHRGEBIETE: Kommunikationstechnik, Schaltungstechnik, Regelungstechnik, Multimedia. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Sprachsignalverarbeitung, Übertragungstechnik, Informations- und Codierungstheorie. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Mobilfunkstandards Bluetooth, GSM und UMTS, Simulationssoftware Matlab, Softwareentwicklung für DSP-Systeme, Freisprech- und Sprachbediensysteme, Kfz-Multimedia

Tel.: +49 (0)7531 206-647

e-Mail: jfreuden@htwg-konstanz.de



PROF. DR. HABIL. JÜRGEN GARLOFF

LEHRGEBIETE: Analysis, Numerische Mathematik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Globale Optimierung, wissenschaftliches Rechnen mit automatischer Ergebnisverifikation, Matrix-Analysis, Numerische Lineare Algebra, robuste Stabilität. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Rundungsfehlerkontrolle, Matrix-Analysis, robuste Regelung, Polynomiale Gleichungs- und Ungleichungssysteme, restringierte globale Optimierung

Tel.: +49 (0)7531 206-597, -627

e-Mail: garloff@htwg-konstanz.de

PROF. DR. MICHAEL GRÜTZ

LEHRGEBIETE: Betriebliche Systemanalyse / Systemplanung, Betriebliche Systemforschung / Operations Research / Logistik, Informationssysteme öffentlicher Betriebe (Krankenhaus-Informationssysteme) basierend auf einem Planspiel, Informationsmanagement, Projektmanagement. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Entwicklung EDV-gestützter Optimierungsmethoden und -modelle (Operations Research, Expertensysteme, Simulation), im Besonderen im Bereich Personaleinsatzplanung, Decision Support Systeme im Bereich Gesundheitsökonomie / Krankenhauswesen. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Entwicklung einer rechnergestützten Lösung zur intelligenten Einsatzplanung für Auszubildende, Trainees und Praktikanten (Versetzungsplanung), Entwicklung eines Programmpaketes zur rechnergestützten Auswahl und Verwaltung von Bewerbern für Arbeitsplätze, Systemanalyse in einem mittelständischen Betrieb zur Automatisierung von Beschichtungsanlagen

Tel.: +49 (0)7531 206-398, -502

e-Mail: gruetz@htwg-konstanz.de

PROF. DR. OLIVER HAASE

LEHRGEBIETE: Verteilte Systeme und Software Engineering. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Peer-To-Peer-Netze, automatische Software-Distribution. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Kommunikationsmiddleware, Java RMI, CORBA, Jini, Mobility, Peer-To-Peer-Infrastrukturen, Chord, Java Webstart

Tel.: +49 (0)7531 206-720

e-Mail: haase@htwg-konstanz.de

PROF. DR. ULRICH HEDTSTÜCK

LEHRGEBIETE: Simulation, Algorithmen und Datenstrukturen, Theoretische Informatik, künstliche Intelligenz. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Simulation (Simulationssoftware für ereignisorientierte Simulationen, Virtual-Reality-Simulationen), Natural Language Processing. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Ereignisorientierte Simulation, Virtual-Reality-Systeme, Natural Language Processing, Expertensysteme

Tel.: +49 (0)7531 206-508

e-Mail: hdstueck@htwg-konstanz.de



PROF. DR. ELKE-DAGMAR HEINRICH

LEHRGEBIETE: Mathematik, Statistik, Theoretische Informatik, graphische Algorithmen, Informations- und Codierungstheorie. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Entwicklung von Algorithmen, Gender Studies (Förderung des Technikinteresses). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Anwendung algebraischer Methoden, Einsatz von Computeralgebra

Tel.: +49 (0)7531 206-343

e-Mail: heinrich@htwg-konstanz.de

PROF. DR. CHRISTIAN JOHNER

LEHRGEBIETE: Software- Engineering, Software-Qualitätssicherung, Software-Architekturen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Qualitätssicherung medizinischer Software, Dataming in der Medizin, Integration medizinischer Informationssysteme. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Medizinische Informatik, Software im Gesundheitswesen, Qualitätssicherung medizinischer Software

Tel.: +49 (0)7531 206-597

e-Mail: johner@htwg-konstanz.de

PROF. DR. RALF LEIBSCHER

LEHRGEBIETE: Rechner- und Systemarchitektur, Betriebssysteme, Rechnernetze, verteilte Systeme. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Verteilte Systeme, Internet-Anwendungen. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** CORBA, Enterprise Java Beans, SAP-SW-Technologie (BAPIs, SAP-Internet-Anwendungen, ALE)

Tel.: +49 (0)7531 206-657

e-Mail: leibsch@htwg-konstanz.de

PROF. DR. MICHAEL MÄCHTEL

LEHRGEBIETE: Betriebssysteme, Realzeitsysteme und Embedded Systems. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Latenzzeiten in Realzeitbetriebssystemen, Low Power Scheduling. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Realzeitsysteme, Realzeitbetriebssysteme, Embedded Systems

Tel.: +49 (0)7531 206-632

e-Mail: maechte@htwg-konstanz.de

PROF. DR. REINER MARTIN

LEHRGEBIETE: IT-Projektmanagement, ERP-Systeme, ERP-Geschäftsprozesse, Produktionsplanung und -steuerung (PPS). **FORSCHUNGSGEBIETE:** Wirtschaftliche Einführung und Nutzung unternehmensweiter Informationssysteme (ERP-Systeme). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** IT-Projektmanagement, ERP-Systeme und ERP-Geschäftsprozesse

Tel.: +49 (0)7531 206-509

e-Mail: martin@htwg-konstanz.de

PROF. DR. JÜRGEN NEUSCHWANDER

LEHRGEBIETE: Integriertes Netz- und System-Management, Rechnersysteme, Sicherheit in der Informationstechnik, Digitaltechnik.
SPEZIELLES FACHWISSEN: Netzwerk-Management von Kommunikationsnetzen, Entwurf digitaler Steuerungen (einschl. Mikroprozessoren), informationstechnische Sicherheit (Sicherheit beim E-Commerce), Projekt-Management (Methoden und Durchführung)
Tel.: +49 (0)7531 206-648
e-Mail: juergen.neuschwander@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. JÜRGEN WÄSCH

LEHRGEBIETE: E-Business Technologien und Anwendungen, Internet-Technologien/XML, Datenbanksysteme, verteilte Systeme/Rechner- und Systemarchitekturen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Effizientes E-Business für kleine und mittelständische Unternehmen, Service-orientierte Architekturen und Webservice Technologien für unternehmensübergreifendes Geschäftsprozessmanagement und -optimierung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** E-Business-Standards und -Systeme, Business-to-Business Integration, ERP-Integration/EAI; Web-Technologien, XML & Co., Internet-Standards; Produktdatenmanagement, Produktklassifikation, elektronische Produktkataloge, Cross-Media Publishing, verschiedenste Datenbank-Systeme, -Technologien und -Anwendungen
Tel.: +49 (0)7531 206-502
e-Mail: waesch@htwg-konstanz.de

MASCHINENBAU

PROF. DR. GUIDO BALTES

LEHRGEBIETE: Strategic Management, High-Tech Marketing, Business Planning. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Dynamische Führungssysteme (organisatorische Routinen und elektronisch-gestützte Plattformen zur strategischen Steuerung dynamischer inter- und intra-organisationaler Netzwerke). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Strategisches Management, Unternehmensführung und -finanzierung, Software-Projektmanagement, Software-Patentierung
Tel.: +49 (0)7531 206-310
e-Mail: baltess@htwg-konstanz.de

PROF. DR. UWE BEHRENDT

LEHRGEBIETE: Anlagentechnik, Prozessmaschinen, Projektmanagement, Mathematik, Innovationsmanagement. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Hochdruckprozesspumpen, Dosiertechnik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Prozesspumpen, Projektmanagement, Innovationsmanagement.
Tel.: +49(0)7531-206 326
e-Mail: behrendt@htwg-konstanz.de

PROF. HANS-PETER BLANK

LEHRGEBIETE: Mathematik, Qualitätsmanagement. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Qualitätsmanagement (Einführung von QM-Systemen, EFQM-Modell/Malcolm-Baldrige-Assessment u.a., Werkzeuge wie DOE/FMEA+FTA/QFD u.a., Q-Richtlinien in der EU, z.B. Maschinenrichtlinie u.a.m.). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Systemanalysen zur Automatisierungstechnik, Vorbereitung von Zertifizierungen
Tel.: +49 (0)7531 206-288
e-Mail: blank@htwg-konstanz.de

PROF. DR. PETER BLOHM

LEHRGEBIETE: Konstruktionslehre. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Anlagenbau, Walzwerkstechnik, Maschinenelemente. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Blechbearbeitung, Blechschneiden, Anlagenbau
Tel.: +49 (0)7531 206-560
e-Mail: blohm@htwg-konstanz.de

PROF. DR. CLAUD BRAXMAIER

LEHRGEBIETE: Fertigungsmesstechnik, Physik (optische & akustische Messtechnik), Regelungstechnik, Systems Engineering. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Optische Messtechnik und Sensorik, Optische Qualitätstechnik, 3D- Mess- und Digitalisierungssysteme, Messtechnische Systeme für die Raumfahrt. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** höchstauflösende Messtechnik; moderne Optik: Lasertechnik, Interferometrie; Inertiale Sensorik, Schwingungs- und Modalanalyse, fundamentale Tests der Physik, Raumfahrtssysteme.
Tel.: +49(0)7531-206 348
e-Mail: braxm@htwg-konstanz.de

PROF. DR. REINER BÜHRER

LEHRGEBIETE: Fördertechnik und technische Logistik, Materialflusstechnik, Technischer Vertrieb. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Materialfluss, Logistik und Fabrikplanung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Materialflusssuntersuchungen und Optimierung von Fabriken durch logistikgerechte Planung und Organisation.
Tel.: +49(0)7531-206 161
e-Mail: buehrer@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. MICHAEL BUTSCH

LEHRGEBIETE: Fahrzeugtechnik, Fahrzeuggetriebe. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Fahrzeuggetriebe, Antriebstechnik, Fahrzeugtechnik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Planetengetriebe, Fahrzeuggetriebe, Industriegetriebe
Tel.: +49 (0)7531 206-390, -575
e-Mail: butsch@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. ARNO DETTER

LEHRGEBIETE: Umwelttechnik und Chemie. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Industrielle Wasser- und Abwassertechnik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Membrantrennverfahren, Adsorptionsverfahren, Reaktionstechnik
Tel.: +49 (0)7531 206-537
e-Mail: detter@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. MARTIN DOMM

LEHRGEBIETE: Mathematik, Rechnungswesen / Kostenrechnung für Ingenieure, Produktivitätsmanagement, Automatisierungstechnik
Forschungsgebiete: Produktionsrestrukturierung, Gruppenarbeit, KVP-Prozesse, Robotertechnik, Handhabungstechnik, Bildverarbeitung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Produktionsrestrukturierung, Gruppenarbeit, KVP-Prozesse; Robotertechnik, Handhabungstechnik, Bildverarbeitung, Produktionsmanagement
Tel.: +49 (0)7531 206-277
e-Mail: domm@htwg-konstanz.de

PROF. DR. KLAUS-DIETER DURST

LEHRGEBIETE: Messtechnik, Sensorik, Fertigungsmesstechnik, Physik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Sensortechnik, Akustik, exp. mechan. Spannungsanalyse (DMS-Technik), Messsignalerfassung, Signalanalyse, Programmierung von Messtechnik-Applikationen, Kalibriertechnik, Messstatistik, 3D-Koordinatenmesstechnik, interferometrische Messtechnik (Oberflächenmesstechnik)
Tel.: +49 (0)7531 206-344
e-Mail: durst@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. LUDWIG EICHER

LEHRGEBIETE: Thermodynamik, Wärmeübertragung, Strömungslehre. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Klimatechnik, insbesondere Luftentfeuchtung und Wassermanagement, Thermalanalyse, Systems-Engineering im Raumfahrtbereich
Tel.: +49 (0)7531 206-282
e-Mail: eicher@htwg-konstanz.de

PROF. DR. RALF EISSLER

LEHRGEBIETE: Qualitätsmanagement, Produktionslogistik, Automatisierungstechnik, Statistik und Operations Research. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Qualitätsmanagement, Total Quality Management, Lean Production, Supply Chain Management. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Total Quality Management, Lean Production, Supply Chain Management.
Tel.: +49(0)7531-206 323
e-Mail: eissler@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. DR. H.C. PAUL GÜMPEL

LEHRGEBIETE: Werkstoffkunde, Werkstoffprüfung, Korrosion und Oberflächentechnik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Mikrobiell induzierte Korrosion, Formgedächtnislegierungen, Korrosionsverhalten von NIRO-Stahl, Leistungsverhalten von Werkzeugen. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Korrosionsverhalten von Stählen, nichtrostende Stähle, Werkzeugwerkstoffe, Verschleißverhalten von Werkstoffen
Tel.: +49 (0)7531 206-316
e-Mail: guempel@htwg-konstanz.de

PROF. DR. WERNER HOFACKER

LEHRGEBIETE: Thermische Verfahrenstechnik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Verfahrenstechnik, Umwelttechnik, Energietechnik (rationelle Energieverwendung, Erneuerbare Energien). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Verfahrenstechnik, Umwelttechnik, Energietechnik (rationelle Energieverwendung, Erneuerbare Energien), numerische Thermo- und Fluidodynamik, Simulationstechnik, thermische Stofftrennung
Tel.: +49 (0)7531 206-593
e-Mail: hofacker@htwg-konstanz.de

PROF. DR. DR. H.C. FLORIN IONESCU

LEHRGEBIETE: Höhere und angewandte Mathematik, Festigkeitslehre, Simulationstechnologien (Matlab/Simulink und MKS mit SolidDynamics), Hydraulik und Pneumatik, Maschinendynamik.. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Automatische Generierung von mathematischen Modellen, Modellierung und Simulation von Hydraulik- und Pneumatik Anlagen, nichtlineare Systeme; Mikro- und Nanorobotik; Fehlerdiagnose von Wälzlagern; MKS-Modellierung, Simulation und Regelung von Robotern und Großanlagen; Vision Robot Control; Empfindlichkeit der Kennwerte einer Großanlage/Large Scale Systems auf die Variation von örtlichen Parametern. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Hydraulik, Pneumatik und hybride Grossanlagen: Mehrschleifige Modellierung, Simulation und Optimierung mit MKS (Mehr-Körper-Systeme), Matlab/Simulink, FEM-Berechnungen; Maschinendynamik: Modalanalyse, Optimierung, Fehlerbehebung; Robotik, Werkzeugmaschinen, zerspanende Werkzeuge.
Tel.: +49(0)7531-206 320
e-Mail: ionescu@htwg-konstanz.de



PROF. DR. BURKHARD LEGE

LEHRGEBIETE: Konstruktionslehre, Maschinenelemente, CAD. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Schienenfahrzeugtechnik (im Aufbau). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Schienenfahrzeugtechnik, Automatisierung von Schienenfahrzeugen, Lokomotivbau, Fahrwerksberechnung, internationale Zulassungsanforderungen für Schienenfahrzeuge
Tel.: +49 (0)7531 206-309
e-Mail: lege@htwg-konstanz.de

PROF. DR. ANDREAS LOHMBERG

LEHRGEBIETE: Strömungslehre, Strömungsmaschinen (Turbomaschinen), Strömungssimulationen (CFD). **FORSCHUNGSGEBIETE:** Strömungslehre, Strömungsmaschinen (Turbomaschinen), Strömungssimulationen (CFD). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Pumpen-, Verdichter- und Turbinenentwicklung, Computational Fluid Dynamics (CFD), numerische Strömungssimulation.
Tel.: +49(0)7531-206 229
e-Mail: lohmborg@htwg-konstanz.de

PROF. DR. CARSTEN MANZ

LEHRGEBIETE: Unternehmensführung, Projektmanagement, Industriegütermarketing, Werkstofftechnik (Kunststoffe). **FORSCHUNGSGEBIETE:** Strategisches Management, Innovationsmanagement, Technologiemanagement, Faserverbundwerkstoffe. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Projektmanagement, Unternehmensführung, Lasermaterialbearbeitung (Reinigen, Abtragen), Faserverbundtechnologie
Tel.: +49 (0)7531 206-292
e-Mail: manz@htwg-konstanz.de

PROF. DR. ROLAND NÄGELE

LEHRGEBIETE: Steuerungstechnik, Regelungstechnik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Strukturierte SPS-Programmierung, PC-based control (Soft-SPS), Prüfstandsautomatisierung, Frequenzmessungen und Modellierung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Zustandsbeobachter, Model-based fault detection, Optimierung der Zuverlässigkeit (dependability), elektronische Schaltungen, komplexe Messdaten-Analyse, z.B. Sprungdetektion
Tel.: +49 (0)7531 206-290, -276
e-Mail: roland.naegele@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. ANTONIUS SAX

LEHRGEBIETE: Konstruktion / Konstruktionslehre, Werkzeugmaschinen. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Verzahnungen / Getriebe
Tel.: +49 (0)7531 206-279
e-Mail: sax@htwg-konstanz.de

PROF. DR. UDO SCHELLING

LEHRGEBIETE: Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung, Energietechnik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Brennstoffzellen, Wasserstofftechnik.
Tel.: +49(0)7531-206 304
e-Mail: schell@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. KLAUS SCHREINER

LEHRGEBIETE: Verbrennungsmotoren, Kraft- und Arbeitsmaschinen, Mathematik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Biodiesel auf dem Bodensee, Gasmotoren auf dem Bodensee, Motordiagnose, Motorsimulation. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Motorsimulation, Motordiagnose, Verbrennungsentwicklung, Common-Rail
Tel.: +49 (0)7531 206-307
e-Mail: schreiner@htwg-konstanz.de

PROF. DR. PHILIPP STEIBLER

LEHRGEBIETE: Technische Mechanik, Finite-Element-Methoden (FEM), Karosserietechnik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Finite-Element-Methoden. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Implementierung und Anwendung von Finite-Element-Methoden, mathematische und bionische Strukturoptimierung
Tel.: +49 (0)7531 206-727
e-Mail: steibler@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. DIETER SCHWECHTEN

LEHRGEBIETE: Mechanische Verfahrenstechnik, Abluftreinigung, Strömungslehre, Mehrphasenströmungen, Konstruktion von Apparaten der Pharma und Lebensmitteltechnik, Methoden der Verfahrenstechnik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Feststoffverfahrenstechnik, insbesondere Mahlen und Sichten, Herstellung und Veredelung feinsten Partikel, Online-Partikelmesstechnik und Probenahme Sortiertechnik, Aufbereitung und Recycling, Konstruktion verfahrenstechnischer Apparate, CAD
Tel.: +49 (0)7531 206-535
e-Mail: schwechten@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. ANDREAS WILLIGE

LEHRGEBIETE: Fertigungstechnik, Werkstofftechnik, Oberflächentechnik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Schweißtechnik, Umformtechnik, Gießereitechnik, Oberflächentechnik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Schweißtechnik (Schweißfachingenieur und Europäischer Schweißfachingenieur), Umformtechnik, Gießereitechnik, Oberflächentechnik, Schadensanalyse (Sachverständiger)
Tel.: +49 (0)7531 206-283
e-Mail: willige@htwg-konstanz.de

PROF. DR.-ING. REINHARD WINKLER

LEHRGEBIETE: Werkstofftechnik; Mathematik; Trenn- und Fügetechnik; Technische Mechanik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Werkstofftechnik; Trenn- und Fügetechnik. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Werkstofftechnik: Leichtmetallwerkstoff Aluminium (Legierungsentwicklung, Space-Frame-Technologie); Trenn- und Fügetechnik: Laserstrahlschweißen
Tel.: +49 (0)7531 206-754
e-Mail: rwinkler@htwg-konstanz.de

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

PROF. DR. JUR. RAINER BAKKER

LEHRGEBIETE: Wirtschafts- und Gesellschaftsrecht, EU-Recht, Rechtsvergleichung, Konfliktmanagement/Alternative Dispute Resolution (ADR), Gewerblicher Rechtsschutz/Intellectual Property inklusive Medien- und Urheberrecht. **FORSCHUNGSGEBIETE:** ADR (Einsatz der Mediation und ähnlicher Verfahren im Wirtschaftsrecht), internationale Zuliefererverträge und Kooperationsverträge (F&E). **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Gestaltung internationaler Zuliefererverträge, alternative Streitbeilegung, Rechtsfragen des e-commerce
Tel.: +49 (0)7531 206-426
e-Mail: bakker@htwg-konstanz.de

PROF. DR. JOCHEN BENZ

LEHRGEBIETE: Logistik (insbes. Materialwirtschaft, Produktion, Simulation in der Logistik, IT-Systeme), Wirtschaftsinformatik, Allgemeine BWL. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Management Informationssysteme und Business Intelligence. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Management Informationssysteme und Business Intelligence, Simulation in der Logistik
Tel.: +49 (0)7531 206-125
e-Mail: benz@htwg-konstanz.de

PROF. DR. ANDREAS BERTSCH

LEHRGEBIETE: Grundlagen der BWL, Finanzierung, Bilanzierung, Bilanzpolitik und Bilanzanalyse nach HGB und International Financial Reporting Standards (IFRS), Case Studies, Steuersysteme und Investitionsförderung. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Rechnungslegung nach HGB und IFRS, Risikomanagement, Unternehmensbesteuerung, Unternehmensbewertung, Unternehmensfinanzierung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Umstellung der Rechnungslegung von HGB auf IFRS, Bilanzierung von Finanzinstrumenten (Derivate und strukturierte Produkte), nach nationalen und internationalen Grundsätzen, Unternehmensbewertung, Risikomanagement bei Banken.
Tel.: +49 (0)7531 206-531
e-Mail: bertscha@htwg-konstanz.de



PROF. DR. RER. POL. JÖRG BEUTEL

LEHRGEBIETE: Volkswirtschaftslehre, Umweltwissenschaften (Environmental economics), empirische Wirtschaftsforschung. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Input-Output-Analyse, europäische Regionalpolitik, Entwicklungsplanung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** National Accounts (Supply and use matrices, input-output-tables, capital stock data - Eurostat), European Structural Policies (Evaluierung der Europäischen Regionalpolitik - European Commission), Development Planning (Planungsministerium Saudi-Arabien)
Tel.: +49 (0)7531 206-251
e-Mail: beutel@htwg-konstanz.de

PROF. PETER L. FRANKLIN

LEHRGEBIETE: Courses on Intercultural Business and Management Communication, Current Research on Intercultural Business and Management Communication, Business Negotiation, Business Presentations, Business Writing, Business Terminology. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Curriculum and media development in intercultural business and management communication, Cross-cultural management and marketing communication, Language teaching
Tel.: +49 (0)7531 206-396
e-Mail: franklin@htwg-konstanz.de

PROF. DR. MICHAEL HADAMITZKY

LEHRGEBIETE: Logistik, Supply Chain Management, Produktion. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Supply Chain Management in der Automobilindustrie, Einkaufsstrategien im Mittelstand, FuE-Benchmarking im Maschinen- und Anlagebau. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Logistik, Fertigungsoptimierung, Einkauf, Fabrikplanung, Restrukturierung, Innovationsmanagement
Tel.: +49 (0)7531 206-341
e-Mail: michael.hadamitzky@htwg-konstanz.de

PROF. DR. KONSTANTIN HASSEMER

LEHRGEBIETE: Internationales Management, Supply Chain Management, Strategie und Kultur. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Strategie und Kultur, Supply Chain Management in developing economies. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Internationales Marketing, Beschaffungsmanagement
Tel.: +49 (0)7531 206-331
e-Mail: hassemer@htwg-konstanz.de

PROF. DR. OLAF HOFFMANN

LEHRGEBIETE: Controlling, insb. Projektcontrolling, Rechnungswesen, Finanzierung & Investition. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Controlling von Finanzdienstleistern sowie Projektcontrolling. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Vernetzung zwischen Controllingkonzeption und IT-spezifischer Umsetzung, Bankencontrolling, Projektcontrolling
Tel.: +49 (0)7531 206-655
e-Mail: ohoff@htwg-konstanz.de

PROF. DR. KLAUS KOHLÖFFEL

LEHRGEBIETE: Strategische Planung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Strategisches Management, internationale Strategieentwicklung, Coaching von Führungskräften
Tel.: +49 (0)7531 206-407
e-Mail: kohl@htwg-konstanz.de

PROF. DR. CHRISTIAN KREKELER

LEHRGEBIETE: Deutsch als Fremdsprache, Fachsprache der Wirtschaft für Studierende des Studienkollegs. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Fremdsprachenunterricht, Computereinsatz im Fremdsprachenunterricht, Sprachtests. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Lehrerfortbildungen in der Moderationsmethode
Tel.: +49 (0)7531 206-395
e-Mail: krekeler@htwg-konstanz.de

PROF. DR. ARTHUR KRÖNER

LEHRGEBIETE: Buchführung und Jahresabschluss, Kosten- und Leistungsrechnung, Allgemeine bzw. Grundlagen der BWL, Existenzgründung, Controlling, Unternehmenskrisen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Unternehmensgründung, Kostenrechnung, (Prozesskostenrechnung), Zielsysteme. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Total Quality Management, Gastronomie
Tel.: +49 (0)7531 206-550
e-Mail: akroener@htwg-konstanz.de

PROF. DR. HEINZ MÜRDTER

LEHRGEBIETE: Wirtschafts- und Finanzmathematik, Internationale Wirtschaftsbeziehungen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Theorie und Geschichte der Globalisierung, Ökonomik der Ölförderländer, New Systems Competition. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Modellierung und Simulation in Ökonomie und Demographie
Tel.: +49 (0)7531 206-442
e-Mail: muerdter@htwg-konstanz.de

PROF. DR. MANFRED POLLANZ

LEHRGEBIETE: Betriebliches Rechnungswesen, Investition und Finanzierung, Geschäftsplanung und Unternehmensüberwachung, Internationale Rechnungslegung und Wirtschaftsprüfung, Management Consulting. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Risikoorientierter Prüfungsansatz, Risikomanagement, Risk Adjusted Balanced Scorecard, Internationale Rechnungslegung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Wirtschaftsprüfung, Unternehmensberatung, Internationale Rechnungslegung, KMU-Beratung
Tel.: +49 (0)7531 206-682
e-Mail: pollanz@htwg-konstanz.de

PROF. DR. BERND RICHTER

LEHRGEBIETE: Allgemeine BWL, Organisation und Führung, Kommunikation. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Führung, Personal, Kommunikation
Tel.: +49 (0)7531 206-333
e-Mail: bwl@htwg-konstanz.de

PROF. DR. JAN-DIRK ROSCHE

LEHRGEBIETE: Veranstaltungen im Themenbereich Personal, Organisation, Führung, Projekt-, Team- und Selbst-Management, Inhouse- und Outdoor-Veranstaltungen. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Unternehmerisch orientierte Humancapital-, Leadership- und Organisationsentwicklung und -beratung, Orientierungs-/Assessment-Center, Life- und Work-Planung, Coaching. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Tätigkeiten und Führungsaufgaben in international tätigen Konzernen der Chemie- und Automobilindustrie im klassischen Human Resources Management, Personalmarketing sowie innovativer und strategischer Personal- und Organisationsentwicklung, Beratungs- und Trainingserfahrung in Profit- und Non-Profit-Organisationen, Zusatzausbildungen in systemischer und gestaltpsychologischer Beratung und im Career Development
Tel.: +49 (0)7531 206-403
e-Mail: rosche@htwg-konstanz.de

PROF. DR. EDMUND SCHIFFELS

LEHRGEBIETE: Internationales Management, Controlling/Logistikcontrolling. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Unternehmensführung im internationalen Konzern, Finanzwesen/Controlling (Logistik), Sanierungsprojekte in kleinen Unternehmen
Tel.: +49 (0)7531 206-338
e-Mail: schiffel@htwg-konstanz.de



PROF. DR. LEO SCHUBERT

LEHRGEBIETE: Marketing, Statistik, Unternehmensforschung, Kreativität und Ideenmanagement, International Finance Markets. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Kapitalmarktforschung, Kundenzufriedenheitsforschung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Portfoliooptimierung, Multivariate Datenanalyse

Tel.: +49 (0)7531 206-429

e-Mail: schubert@htwg-konstanz.de

PROF. DR. STEFAN SCHWEIGER

LEHRGEBIETE: Allg. BWL mit Schwerpunkt industrielle Projektplanung und Prozessmanagement. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Supply Chain Management, Servicemanagement im Maschinen- und Anlagenbau. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Change Management, Projektmanagement, Logistik/SCM, Servicemanagement (Maschinen-/Anlagenbau)

Tel.: +49 (0)7531 206-443

e-Mail: schweiger@htwg-konstanz.de

PROF. DR. WERNER VOLZ

LEHRGEBIETE: Allgemeine BWL, insbesondere Finanzierung und Betriebswirtschaftliche Steuerlehre; Betreuer des Arbeitskreises „Unternehmensrechnung und Steuern“. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Finanzierung und Steuern, Internationale Rechnungslegung, insbesondere Rechnungslegung nach International Financial Reporting Standards (IFRS), Unternehmensnachfolge und Besteuerung sowie Fragen der grenzüberschreitenden Besteuerung. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Umstellung der Rechnungslegung von Handelsrecht auf International Financial Reporting Standards in mittelständischen Unternehmen, Erarbeitung von Unternehmensnachfolgekonzepten, Erstellung von Unternehmenswertgutachten, Entwicklung von Wegzugsbesteuerungskonzepten in Niedrigsteuergebiete (CH)

Tel.: +49 (0)7531 206-405

e-Mail: volz@htwg-konstanz.de

PROF. DR. HABIL. JOSEF WIELAND

LEHRGEBIETE: Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt Wirtschafts- und Unternehmensethik. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Theorie: (Internationale) Wirtschafts- und Unternehmensethik, Organisation und WerteManagement, neue Organisationsökonomik/Institutionalistische Theorie der Firma, Angewandte Ethik/Sozialethik, Unternehmenskultur und -kommunikation, Unternehmen und Gesellschaft, ökonomische Theoriegeschichte; Empirie: International vergleichende Forschung (Deutschland/USA/Rusland) zur Entwicklung von Systemen des WerteManagements in Unternehmenskulturen; Organisatorische Möglichkeiten der praktischen Implementierung und Entwicklung von WerteManagement in der Unternehmenskommunikation und im Integritäts-Management. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Durchführung von Seminaren zu Unternehmenskultur und WerteManagement für Unternehmen. Entwicklung und Implementierung von EthikManagement- und EthikAudit-Systemen in Unternehmen

Tel.: +49 (0)7531 206-404

e-Mail: wieland@htwg-konstanz.de

PROF. DR. PHIL. SHARON ZAHARKA

LEHRGEBIETE: Wirtschaftsenglisch, Technisches Englisch, Interkulturelle Kommunikation, Landeskunde USA. **FORSCHUNGSGEBIETE:** Fremdsprachendidaktik: Fachsprache Wirtschaft an Hochschulen; Interkulturelle Kommunikation. **SPEZIELLES FACHWISSEN:** Fachsprache Wirtschaft, Interkulturelle Kommunikation bezogen auf USA

Tel.: +49 (0)7531 206-487

e-Mail: zaharka@htwg-konstanz.de



Leistung

Ist das Ergebnis von Begeisterung, Können und Erfahrung.

Ihr starker Partner für Druckprodukte

werk.zwei Print+Media Konstanz GmbH
Max-Stromeyer-Straße 180 • 78467 Konstanz
Tel. +49 (0)7531 999-1870 • Fax +49 (0)7531 999-1836
kontakt@werkzwei-konstanz.de
Postanschrift in der Schweiz Postfach 2171 • CH-8200 Kreuzlingen



Pfeiffer

Einstiegschance für motivierte Hochschulabgänger (m/w)

**Die Menschen in einem Unternehmen machen den Unterschied.
Aus diesem Grund sind wir auf der Suche nach motivierten Hochschulabgängern wie Ihnen.**

DAS BRINGEN SIE MIT:

- Abgeschlossenes technisches oder naturwissenschaftliches Studium
- Sehr gute Englischkenntnisse
- Teamfähigkeit, Flexibilität, Überzeugungskraft und eine selbstständige Arbeitsweise

FOLGENDE AUFGABEN WARTEN UNTER ANDEREM AUF SIE:

- Leitung und Koordination von internationalen Projekten
- Koordination von engagierten Projektteams
- Enge Kontaktpflege mit Kunden und/oder Lieferanten weltweit
- Termin- und Kostenkontrolle

WIR BIETEN:

- Abwechslungsreiches und interessantes Aufgabengebiet
- Großen Spielraum für eigenverantwortliches Handeln
- Mitarbeit in einem wachsenden und zukunftsorientierten internationalen Unternehmen
- Entwicklungsmöglichkeiten in einem dynamischen Umfeld

HABEN WIR IHR INTERESSE GEWECKT?

Dann informieren Sie sich auf unserer Homepage über aktuelle Stellenangebote oder senden Sie uns Ihre Initiativbewerbung per Post oder per e-mail an kariere@pfeiffer-group.com.

Für tel. Auskünfte steht Ihnen **Frau Hofacker** unter **Tel. 07732/801-428** gerne zur Verfügung.

Die **Ing. Erich Pfeiffer GmbH** ist ein expandierender Hersteller von mechanischen Sprüh- und Dosiersystemen für die pharmazeutische und kosmetische Industrie. Eingebunden in eine international operierende Firmengruppe zählen wir mit unseren Produkten zu den Weltmarktführern. Zur Zeit beschäftigen wir rund 600 Mitarbeiter.

AUTONOME KARTENERSTELLUNG FÜR GEBÄUDERÄUME MIT EINEM MOBILEN ROBOTER

Oliver Bittel, Michael Blaich und Kay Kischlat



PROF. DR. OLIVER BITTEL
Studium der Informatik
und Technischen Kybernetik
an der Universität

Stuttgart. Assistent und Promotion an der Universität Karlsruhe am Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation. Mitarbeiter der GMD Karlsruhe im Bereich Korrekte Software und Formale Programmentwicklung. Seit 1992 Professor an der HTWG Konstanz mit den Lehrgebieten Programmiertechnik, Algorithmen und Datenstrukturen, Fuzzy-Logik, Neuronale Netze und Robotik. Durchführung mehrerer Forschungsprojekte in den Bereichen Satellitennavigation und mobile, autonome Roboter



DIPL.-INF. (FH) MICHAEL
BLAICH studierte an der
HTWG Konstanz Technische Informatik. Nach

seiner Diplomarbeit bei Robert Bosch Corporate Research zum Thema „Navigationsstrategien für einen autonomen Rasenmäher“ begann er im Oktober 2007 begann er das Master-Studium im Studiengang MSI an der HTWG Konstanz.



B.SC. KAY KISCHLAT
schloss sein Bachelor-Studium in Informatik an der HfT Stuttgart im

Februar 2008 erfolgreich ab. Im Anschluss begann er das Master-Studium im Studiengang MSI an der HTWG Konstanz

1 EINLEITUNG

Mobile Roboter, die in einer beliebigen Umgebung selbstständig navigieren können, spielen eine zunehmend wichtige Rolle. Damit anspruchsvolle Aufgaben – wie beispielweise Gebäudeüberwachung und Transportaufgaben – gelöst werden können, muss der Roboter sich in der Umgebung lokalisieren. Das Anbringen von Markierungen in der Umgebung zur Unterstützung der Lokalisierung, wie es bei fahrerlosen Transportsystemen oft eingesetzt wird, ist bei Anwendungen in einem Bürogebäude wie die Hochschule Konstanz eher unerwünscht. Hier kommen stattdessen elektronische Gebäudekarten zum Einsatz.

Naheliegender wäre die Digitalisierung vorhandener Gebäudepläne, wie das Abb. 1 zeigt. Oft sind jedoch Pläne nicht verfügbar oder entsprechen nur unvollständig der Realität, zumal die Navigationswege in Räume nicht nur durch die Architektur sondern auch durch Einrichtungsgegenstände bestimmt werden. Daher werden im Be-

reich der mobilen Robotik die realen Räume durch den Roboter selbst kartiert. Üblicherweise kommen hier Belegtheitsgitter (Rasterkarten) wie in Abb. 2 zum Einsatz.

In diesem Artikel wird ein Verfahren beschrieben, mit dem ein Roboter autonom (d.h. ohne menschliche Eingriffe) eine Gebäudekarte als Belegtheitsgitter erstellt. Wesentlicher Bestandteil des Verfahrens ist ein 2D-Laser-Scanner, der sehr präzise Abstandsmessungen zulässt.

2 ROBOTER

Für die Kartenerstellung kommt ein Pioneer-2 Roboter zum Einsatz (Abb. 3). Der im Durchmesser etwa 50 cm große Roboter wird über zwei einzeln angetriebene Räder bewegt, so dass auch Drehungen auf der Stelle möglich sind. Mit einem Greifarm kann der Roboter Gegenstände aufnehmen und transportieren. Ein Laserscanner der Firma Sick, der die Umgebung mit einem Blickwinkel von 180 Grad bei einer Auflösung von 1 Grad abtastet, gestattet

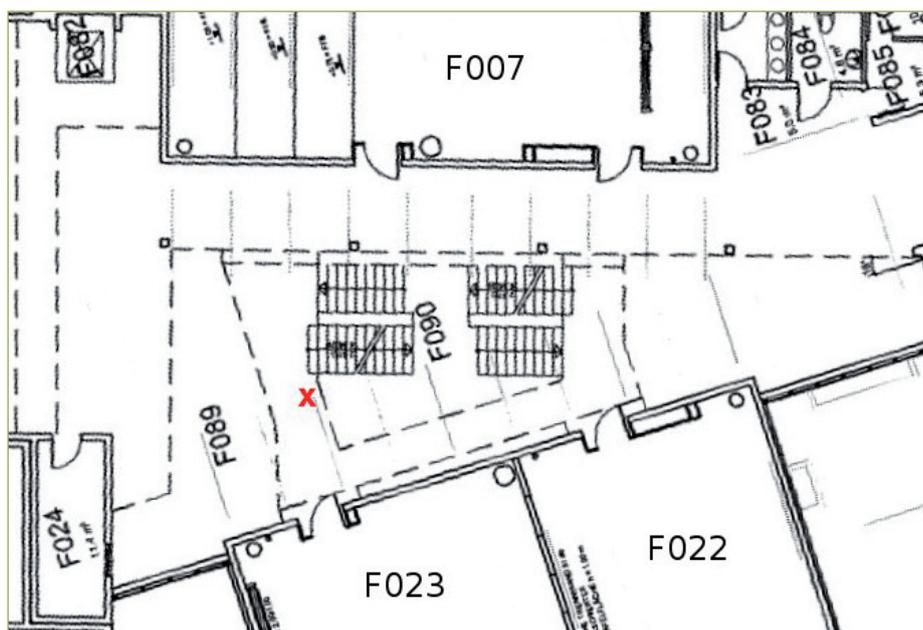


ABB. 1: PLAN DES FOYERS IM F-GEBÄUDE.

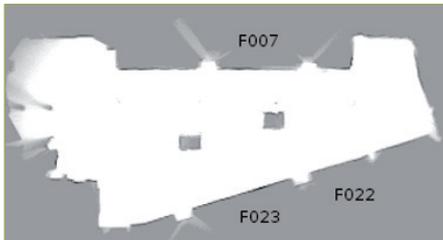


ABB. 2: BELEGTHEITSGITTER DES FOYERS IM F-GEBÄUDE. DAS GITTER BESTEHT AUS EINER MENGE VON ZELLEN MIT EINER BREITE UND HÖHE VON 10CM. WEISSE ZELLEN SIND BEFAHRBAR UND SCHWARZE SIND BELEGT (Z.B. WÄNDE). DER GRAUE BEREICH IST UNBEKANNT.



ABB. 3: PIONEER-2 ROBOTER

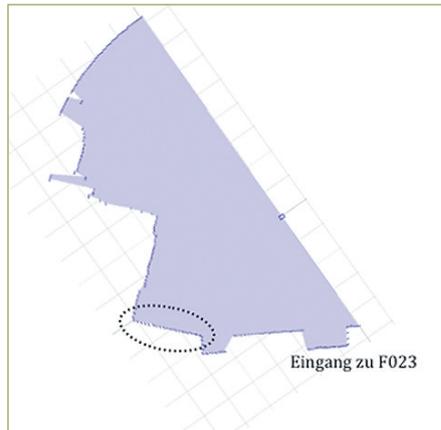


ABB. 4: AUFNAHME MIT DEM LASER-SCANNER. DIE AUFNAHME-POSITION IST DURCH DAS ROTE KREUZ IN ABB. 1 GEKENNZEICHNET. DIE GESTRICHelte LINIE ZEIGT EINE KLEINE BETONMAUER, AUF DER EINE SITZBANK MONTIERT IST. DIE BETONMAUER IST IM PLAN IN ABB. 1 NICHT VORHANDEN.



ABB. 5: DIE LINKE KARTE WURDE MIT REINER ODOMETRIE ERSTELLT. DIE VERSCHIEBUNGEN UND VERDREHUNGEN DER LASER-SCANS DURCH DEN ODOMETRIEFehler FÜHREN ZU EINER UNBRAUCHBAREN KARTE. DIE RECHTE KARTE WURDE FÜR DIE GLEICHE UMGEBUNG MIT EINEM SLAM-VERFAHREN ERSTELLT.

Abstandsmessungen zu Wänden und Hindernissen mit einer Genauigkeit von etwa 1cm (Abb. 4). Die Steuerungssoftware läuft auf einem handelsüblichen Laptop.

3 SIMULTANE LOKALISIERUNG UND KARTENERSTELLUNG

Ist eine Umgebungskarte (Belegtheitsgitter) vorhanden, dann lässt sich die Selbstlokalisierung durch ein Scan-Matching-Verfahren umsetzen. Hierzu bestimmt der Roboter durch Messung der Radumdrehungen seine ungefähre Position. Dieses auch Odometrie genannte Verfahren ist zwar einfach und preiswert, führt aber durch Summierung von vielen kleinen Messfehlern über einen längeren Zeitraum zu sehr ungenauen Positionsmessungen. Nach Bestimmung der ungefähren Position wird ein aufgenommener Laser-Scan (Abb. 4) in die Karte der Umgebung (Abb. 2) eingepasst. Dadurch lässt sich auf die wahrscheinlichste Position schließen.

Ist der Roboter in der Lage sich zu lokalisieren, dann ist die Erstellung einer Umgebungskarte vergleichsweise einfach. Der Roboter fährt systematisch das Gebäude ab, bestimmt dabei seine Position und nimmt Laser-Scans auf, die dann in eine Umgebungskarte eingetragen werden.

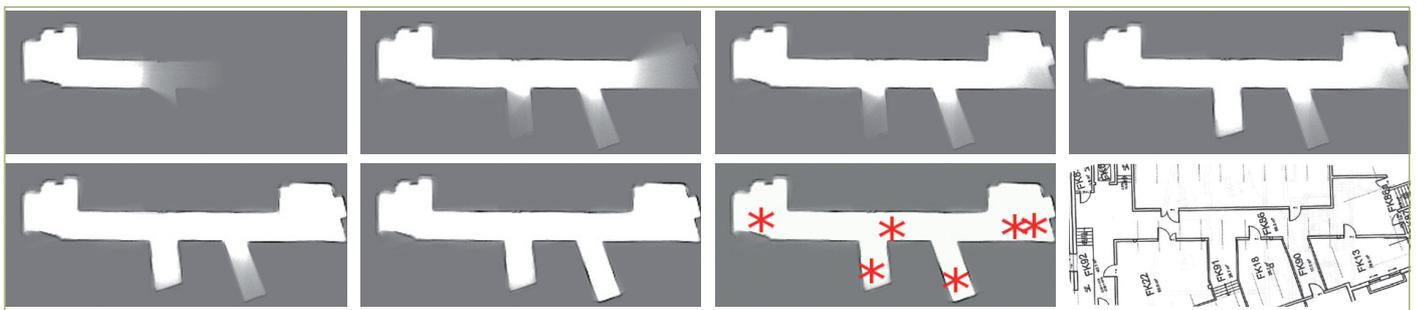


ABB. 6: AUTONOM ERSTELLTE KARTE EINES FLÜGELS IM UG DES F-GEBÄUDE. NACH JEDER LOKALEN EXPLORATIONSPHASE IST EINE KARTE DARGESTELLT. IN DER ENDGÜLTIGEN KARTE SIND ALLE PUNKTE EINGEZEICHNET, AN DENEN EINE STERNFAHRT DURCHGEFÜHRT WURDE. ZUM VERGLEICH IST RECHTS UNTEN DER GEBÄUDEPLAN ABGEBILDET.

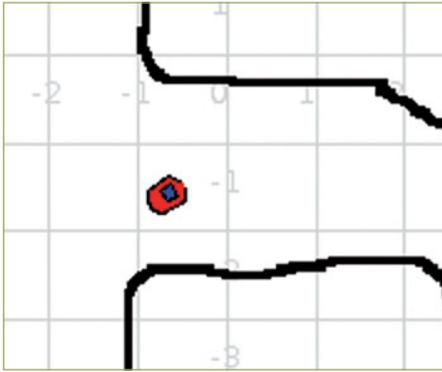


ABB. 7: STAGE-SIMULATOR MIT PIONEER-2 UND LASER-SCANNER

Damit hat man ein typisches Henne-Ei-Problem: die Selbstlokalisierung benötigt eine Umgebungskarte und die Kartenerstellung benötigt eine funktionierende Selbstlokalisierung. Gelöst wird das Problem durch eines der in der Literatur bekannten SLAM-Verfahren (Simultaneous Localization and Mapping) [1]. In dem hier verwendeten Verfahren kommen zwei Techniken zum Einsatz. Zum einen wird die Odometrie verbessert, indem laufend aufgenommene Scans gegeneinander abgeglichen werden [2]. Zum anderen werden mehrere Belegtheitsgitter simultan erstellt, die sich durch unterschiedliche Odometriefehlerannahmen unterscheiden. Durch Zyklen bei den Roboterwegen ergeben sich zusätzliche Konsistenzbedingungen,

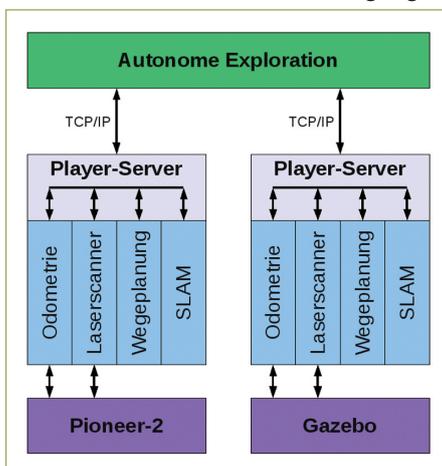


ABB. 9: PLAYER-ARCHITEKTUR

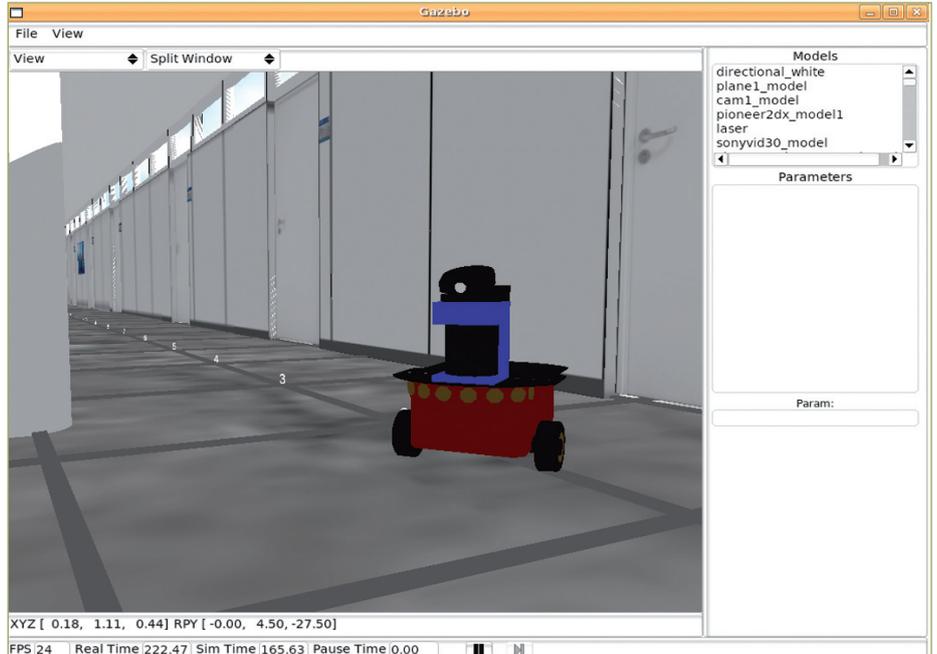


ABB. 8: GAZEBO SIMULATOR MIT PIONEER-2, LASER-SCANNER UND KAMERA

die zur Selektion des wahrscheinlichsten Belegtheitsgitters dienen. Abb. 5 zeigt die Leistungsfähigkeit des Verfahrens.

4 AUTONOME KARTENERSTELLUNG

Die autonome Kartenerstellung ist unterteilt in lokale und globale Explorationsphasen. In der lokalen Explorationsphase erkundet der Roboter seine unmittelbare Umgebung. Dies geschieht mit einer sogenannten Sternfahrt, bei der der Roboter mehrere Richtungen abfährt. Diese Richtungen werden durch den Laser-Scan bestimmt. Somit erforscht der Roboter seine unmittelbare Umgebung bis zu einem Umkreis von ca. acht Metern.

Ziel der globalen Explorationsphase ist die Erkundung unbekannter Gebiete. D.h. der Roboter soll zu Bereichen in der Karte navigiert werden, die noch nicht oder nur teilweise erkundet wurden. Dies geschieht mit einer gierigen Strategie: der Roboter fährt immer den Bereich mit der höchsten

Ungewissheit an, der ohne Kollision erreichbar ist. Dazu werden die Graufächen in der aktuellen Karte analysiert und ein Wegeplanungsverfahren eingesetzt.

Beide Explorationsphasen werden ständig alternierend durchgeführt. In Abb. 6 sind verschiedene Karten dargestellt, die jeweils den Übergang von der lokalen zur globalen Exploration zeigen.

5 PLAYER/STAGE

Player/Stage ist eine Roboter-Entwicklungsumgebung, die es einem Entwickler erleichtert, Software für einen mobilen Roboter zu erstellen. Sie bietet mehrere Komponenten an. Zum einen wird mit Stage ein 2D-Simulator zur Verfügung gestellt. Mit diesem können einfache Navigationsaufgaben getestet werden (Abb. 7). Zum anderen gibt es Gazebo, einen 3D-Simulator, der eine komplette Physik-Engine besitzt, wodurch aufwändige Simulationen möglich sind (Abb 8).



ABB. 10: ALLE EBENERDIGEN TÜREN IM FLÜGEL DES UG WURDEN ERKANNT (GRÜNE LINIEN)

Eine weitere Komponente ist Player, eine Software die sich aus mehreren kleinen Modulen und dem Player-Server zusammensetzt (Abb 9). Der Player-Server regelt die Kommunikation zwischen den einzelnen Modulen und der Anwendungssoftware. Die eigentliche Arbeit wird von den Modulen übernommen. So gibt es zum Beispiel Module wie Odometrie oder Laser-Scanner, die die Roboterhardware abstrahieren. Dadurch kann Software losgelöst von roboterspezifischer Hardware entwickelt werden. Weitere Module wie die Wegeplanung oder das Scan-Matching übernehmen kleine Aufgaben und stellen ihre Ergebnisse anderen Modulen und der Anwendungssoftware zur Verfügung.

Durch den Einsatz von Simulatoren wird die Entwicklung neuer Software für mobile Roboter deutlich erleichtert. Nach ausführlichen Tests der Anwendung kann durch die Flexibilität von Player die Simulation durch den realen Roboter ersetzt werden.

Ein weiterer Vorteil von Player ist die einfache Entwicklung neuer Module, um dem Gesamtsystem weitere Funktionalität hinzuzufügen. So wurden in der hier beschriebenen Arbeit ein Modul entwickelt um die Odometrie mit Hilfe von Scan-Matching-Verfahren zu verbessern.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das hier vorgestellte autonome Kartierungsverfahren wurde in einem einjähri-

gen Masterprojekt realisiert [3]. Mit dem Verfahren lassen sich zuverlässig Gebäudeteile kartieren, was für eine funktionierende Selbstlokalisierung eine wichtige Voraussetzung ist. Die erstellten Karten lassen sich außerdem sehr gut für Wegeplanungen einsetzen (wie kommt der Roboter am besten von Punkt A nach Punkt B).

In einem Gebäude sind Türen wichtige Elemente, die Einfluss auf Navigationswege haben. In einer kürzlich beendeten Bachelorarbeit wurde ein bildbasiertes Erkennungsverfahren von Türen erstellt [4]. Das Verfahren setzt ein Ada-Boost-Klassifikator ein und erkennt Türen mit einer sehr hohen Genauigkeit. In Abb. 10 ist die Karte aus Abb. 6 um die mit diesem Verfahren erkannten Türen ergänzt. Das Verfahren soll noch um eine Türschilderkennung (Zimmernummer) erweitert und in die autonome Kartenerstellung integriert werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Thrun, Burgard and Fox, Probabilistic Robotics, MIT Press, 2005
- [2] Siegwart and Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, 2004
- [3] Gekeler und Kischlat, Autonome Exploration, MSI-Projektbereich, Fakultät Informatik Konstanz, 2009
- [4] Hensler, Bildbasierte Objekterkennung am Beispiel von Türen mit einem mobilen Roboter, Bachelorarbeit, Fakultät Informatik Konstanz, 2009



PROF. DR. OLIVER HAASE
Studium der Informatik an der Universität Karlsruhe, danach Promotion zum Dr.-Ing. an der Universität Siegen. 1998 - 2005 Industrieforschung, zuerst bei NEC Europe in Heidelberg, dann bei den Bell Labs in Holmdel, New Jersey. Seit 2005 Professor für Verteilte Systeme und Software Engineering an der Fakultät Informatik der HTWG Konstanz. Seit Nov. 2006 Programmdirektor Master Informatik und seit März 2008 Prodekan Forschung.



CHRISTIAN SCHMID hat Wirtschaftsinformatik an der Hochschule Konstanz studiert.

Anschließend begann er zum Sommersemester 2009 sein Masterstudium, ebenfalls an der HTWG, im Studiengang MSI.



PROF. DR. JÜRGEN WÄSCH
Studium der Informatik und Wirtschaftswissenschaften an der Universität Kaiserslautern. 1993-1999 Wissen-

schaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter bei der GMD - Forschungszentrum Informationstechnik GmbH in Darmstadt. 1998-1999 externer Berater bei der Software AG. 1999 Promotion zum Dr.-Ing. an der TU Darmstadt. 2000-2003 Bereichsleiter bei der e-pro solutions GmbH in Stuttgart. Seit 2004 Professor für E-Business Technologien an der HTWG Konstanz. 2008 Forschungssemester bei der SAP AG in Walldorf.

1 EINFÜHRUNG

Skype ist die zurzeit am weitesten verbreitete Software für Internet-Telefonie und Instant Messaging. Seit 2005 gehört Skype zum eBay Konzern [1]. Gegenwärtig gibt es über 405 Millionen registrierte Benutzer, von denen durchschnittlich ca. 33 Millionen am Tag online sind [2].

Skype bietet Entwicklern eine Schnittstelle (API) an, mit der sich der Funktionsumfang der Software erweitern lässt. Eine Anwendung, die diese Schnittstelle verwendet, wird als *Plug-In* bezeichnet. Neben einfachen *Plug-Ins* existieren auch sogenannte *Skype Extras*. Bei einem *Skype Extra* handelt es sich um ein *Plug-In*, welches speziell „verpackt“ wurde und sich dadurch direkt aus der Skype Anwendung heraus installieren/starten lässt. *Skype Extras* sind aktuell nur für die Windows-Plattform verfügbar. *Plug-Ins* und *Extras* können die unterschiedlichsten Zwecke erfüllen. Als besonders beliebt haben sich Kollaborationsanwendungen (z.B. Gemeinsames Whiteboard, Anwendungsfreigabe) und „Spaßanwendungen“ (z.B. Stimmverzerrer, Spiele) erwiesen [3].

Plug-Ins können sowohl als Freeware, als auch gegen Bezahlung direkt auf der Skype Webseite angeboten werden. Bei der kommerziellen Variante werden die Umsätze zwischen dem Anbieter des *Skype Extras* und eBay aufgeteilt.

Dieser Artikel soll einen kurzen Überblick darüber vermitteln, welche Schritte notwendig sind, um ein *Skype Plug-In* zu entwickeln und welche Hilfsmittel Skype dabei zur Verfügung stellt. Zusätzlich wird gezeigt, welche Möglichkeiten bestehen, ein *Plug-In* über die Skype-Distributionsplattform zu vertreiben.

2 ENTWICKLUNG / PROGRAMMIERSCHNITTSTELLE

Skype wird gegenwärtig für alle gängigen Betriebssysteme entwickelt. Es existieren

somit Versionen für Microsoft Windows, für Apple Macintosh und für Linux. Darüberhinaus gibt es außerdem speziell angepasste Versionen für mobile Geräte, wie etwa PDAs und Mobiltelefone. Diese angepassten Versionen unterstützen allerdings alle noch keine *Plug-Ins*.

Für die Entwicklung eines *Plug-Ins* muss auf die *Skype Programmierschnittstelle (Application Programming Interface, API)* zugegriffen werden. Diese API erlaubt es, fast alle Funktionen auszulösen, welche auch über die Skype-Benutzeroberfläche möglich sind. So können z.B. Chats und Telefonate initiiert oder SMS-Nachrichten verschickt werden. Auch können *Skype-Dialoge*, etwa der Einstellungen-Dialog oder die Benutzersuche, angezeigt werden. In einem *Plug-In* kann festgelegt werden, unter welchen *Skype-Menüpunkten* es zur Auswahl stehen soll. So kann man erreichen, dass ein *Plug-In*, welches etwa eine Konferenz mit mehreren Benutzern einleitet, im Kontextmenü der Kontaktleiste erscheint.

Neben diesen Automatisierungs- und GUI-Aspekten bietet die API auch sogenannte *AP2AP-Streams (Application-to-Application-Streams)* an. Dadurch kann ein *Plug-In*, das auf mehreren Computern im Internet gestartet ist, über die Skype-Anwendung kommunizieren. Skype verwendet eine spezielle Technologie (*Hole Punching* genannt), die es erlaubt, über Firewalls und Network-Adress-Translation-Router hinweg zu kommunizieren [4]. *Skype Plug-Ins*, welche über *AP2AP-Streams* kommunizieren, profitieren ebenfalls durch diese Technologie, so dass es leicht möglich ist, hochgradig verteilte Anwendungen zu realisieren.

Die Skype API besteht aus zwei Schichten. Die unterste Schicht bildet die sogenannte *Communication Layer*. Diese Schicht stellt die eigentliche Verbindung zur Skype-Anwendung dar. Abhängig vom verwendeten Betriebssystem wird jeweils ein spezifisches Verfahren zur Kommunikation eingesetzt [5].

Über dieser Schicht befindet sich die so-

genannte *Command Protocol Layer*. Bei ihr handelt es sich um eine befehlsorientierte Schnittstelle. Hier werden die eigentlichen Anweisungen als String an die API übertragen. Eine Anweisung besteht in der Regel aus einem Befehl gefolgt von seinen Parametern. Eine komplette Auflistung aller zur Verfügung stehenden Kommandos kann in der *Skype Public API Reference* unter [6] abgerufen werden. Durch neue Skype-Versionen mit neu hinzugefügten bzw. entfernten Funktionalitäten, erscheinen in unregelmäßigen Abständen neue Protokollversionen dieser Schicht.

Die Verwendung der API auf dieser Schicht wäre allerdings immer noch sehr mühsam und vor allem zeitaufwendig. Aus diesem Grund gibt es verschiedene *Wrapper*, die den Zugriff auf die API erleichtern. Hierzu bilden die Wrapper eine weitere Abstraktionsschicht, und stellen somit die API-Funktionalität in Form einer objektorientierten Bibliothek Entwicklern zur Verfügung [7]. Die folgenden drei Wrapper bieten im Augenblick den größten Funktionsumfang der API an (Stand März 2009):

1. SKYPE4COM verwendet das von Microsoft entwickelte *Component Object Model* und wird in Form einer DLL-Datei ausgeliefert. Aus diesem Grund kann der Wrapper nur unter Windows verwendet werden. Bei einer Standardinstallation von Skype wird der Wrapper direkt mitinstalliert. Der Wrapper kann in allen Programmier- und Skriptsprachen, die ActiveX unterstützen, verwendet werden. Die Benutzung ist somit in vielen gängigen Sprachen wie etwa C#, C++, *Visual Basic* oder auch *JavaScript* und *PHP* möglich. Der *Skype4COM* Wrapper ist der offizielle Wrapper von Skype. Er stammt direkt von den Skype-Entwicklern. Dadurch besitzt er die höchste Aktualität, da durch die entsprechend kurzen Wege direkt auf Änderungen des Protokolls eingegangen werden kann. Er besitzt eine vollständige Dokumentation und diverse Beispielanwendungen, die den Umgang mit dem Wrapper zeigen. Unter Windows

ist er in der Regel die beste Wahl für die Entwicklung eines *Plug-Ins*.

2. SKYPE4JAVA bietet Zugriff auf die Skype-API von der Programmiersprache Java aus. Der Wrapper wird von zwei Software-Entwicklern eigenständig erstellt. Eine Dokumentation liegt in Form von JavaDocs vor. Beispiele zur Verwendung lassen sich auf der Skype-Entwicklerseite ebenfalls finden. Der Wrapper wurde in letzter Zeit allerdings nicht mehr aktuell gehalten, was dazu führt, dass nicht alle Funktionen der neueren Skype-Versionen enthalten sind. Für die Entwicklung von *Plug-Ins*, welche entweder auf mehreren Plattformen zum Einsatz kommen sollen oder für Linux bzw. Mac, ist er aber dennoch gut zu gebrauchen.

3. SKYPE4PY ist ein Wrapper für die Programmiersprache Python. Programme werden in dieser Sprache, ähnlich wie in Java, in einen Zwischencode kompiliert. Dies qualifiziert auch diesen Wrapper für die Entwicklung von plattformunabhängigen *Plug-Ins*. Der Wrapper wird in der Regel ebenfalls sehr aktuell gehalten. Er bietet zurzeit denselben Funktionsumfang wie *Skype4COM* an [8]. Leider arbeitet er gegenwärtig noch nicht mit der aktuellen Python Version 3 zusammen.

Neben diesen Wrapper bietet Skype ferner ein SDK (Software Development Kit) an, welches das Erstellen von *Plug-Ins* erleichtern soll. Das *Skype SDK* enthält unter anderem:

- **DEBUG LOG VIEWER:** Ein einfaches Programm zur Betrachtung von Log-Dateien,
- **LOCAL GAME TESTER:** Eine Anwendung, welche das lokale Testen von Spielen erleichtern soll,
- **SKYPE API TRACER:** Ein sehr nützliches Werkzeug, welches die in Skype auftretenden Ereignisse in Form von Befehlen der *Command Protocol Layer* anzeigt. Es ist auch möglich, direkt API Kommandos einzugeben.

Neben diesen drei Anwendungen enthält das SDK einige Hilfetexte und Anleitungen sowie mehrere Beispiel-*Plug-Ins*. Die Beispiele und vor allem der API Tracer bieten einen guten Einstieg in die Thematik

3 DISTRIBUTION

Für den Vertrieb von Skype *Plug-Ins* stehen je nach verwendeter Plattform mehrere Möglichkeiten zur Verfügung.

Für alle Betriebssysteme existiert eine Online-Distributionsplattform [9]. In der *Skype Extras Gallery* können Entwickler ihre Anwendungen anbieten und Anwender diese mit ihrem Web-Browser entsprechend herunterladen und ggf. erwerben. Die meisten der verfügbaren *Plug-Ins* wurden für die Windows-Version von Skype entwickelt und liegen als *Skype Extra* verpackt vor. Die *Extras Gallery* ist nicht beschränkt auf *Plug-Ins/Extras*, sondern es können auch eigenständige Anwendungen dort eingetragen werden. Die Seite fungiert somit auch als eine Art Web-Katalog mit Links auf die Webseiten der entsprechenden Hersteller. Aktuell sind in der *Extras Gallery* über 130 Anwendungen erhältlich. Die *Extras Gallery* ist nach verschiedenen Themengebieten sortiert, wodurch schnell eine bestimmte Anwendungen gefunden werden kann. Anwendungen welche „besonders empfehlenswert“ sind, werden in einem Bereich namens *Featured Extras* zusätzlich angezeigt. Die populärste Software dort mit dem Namen *Crazy Talk* wurde laut Skype Angaben über sechs Millionen Mal heruntergeladen [3].

Neben dieser plattformübergreifenden Lösung gibt es unter Windows zusätzlich eine spezielle Möglichkeit für den Erwerb von *Extras*. Der *Skype Extras Manager* ist Teil einer Standardinstallation von Skype und somit bei den meisten privaten Skype-Installationen vorhanden. Die Anwendung erlaubt es direkt aus Skype heraus *Extras* zu suchen und zu installieren. Es werden dort alle *Extras*, welche auch in der webbasier-

ten *Extras Gallery* vorhanden sind, angezeigt. Kostenpflichtige Extras können hier direkt erworben werden. Die Bezahlung erfolgt über Skype-Guthaben, welches auf dem eigenen Skype-Benutzerkonto vorhanden sein muss.

Um ein selbstentwickeltes *Plug-In* zu veröffentlichen existieren zwei verschiedene Verfahren. Für Windows bietet sich die Verwendung einer Software namens *Publishing Studio* an. Für andere Plattformen muss die Veröffentlichung über die webbasierte *Extras Gallery* erfolgen. Da sich beide Veröffentlichungsinstrumente in ihrem Funktionsumfang deutlich unterscheiden, werden diese nun genauer vorgestellt.

3.1 PUBLISHING STUDIO

Durch diese Software kann ein Skype *Plug-In* in ein Skype *Extra* konvertiert werden. Durch diese Umwandlung ergeben sich einige Vorteile [10]:

- *Extras* können direkt aus dem Skype-Client heraus gestartet werden.
- Nur *Extras* können über den *Extras Manager* erworben / installiert werden.
- *Extras* können über Skype vertrieben werden. Der Vorgang der Bezahlung wird von Skype übernommen.

Extras besitzen allerdings den Nachteil, dass sie den *Extras-Manager* erfordern. Diese Software existiert zurzeit nur für Windows. *Extras* können somit nicht unter Linux / Mac verwendet werden.

Für die Verwendung des *Publishing Studios* ist ein *Skype 4 Publishers* Benutzerkonto erforderlich. Dieses Konto wird auch gleichzeitig für die Abrechnung von Verkaufserlösen genutzt. Aus diesem Grund ist für die Anmeldung und Verwendung der Software ein PayPal-Bankkonto erforderlich. Das *Publishing Studio* erlaubt es *Plug-Ins* aus verschiedenen Quellen in *Extras* zu konvertieren. Diese sind gegenwärtig: HTML, EXE, Java und DLL. Verwendet das *Extra* Java, wird bei der Installation geprüft, ob auf

dem Zielsystem eine Java Virtual Machine vorhanden ist. Sollte dies nicht der Fall sein, wird eine entsprechende Meldung angezeigt und der Benutzer auf die Downloadseite von Sun Microsystems geführt. Um ein auf Python basierendes *Plug-In* als *Extra* zu verpacken, muss dieses entweder in eine EXE-Datei kompiliert werden oder es muss zusätzlich eine entsprechende Bootstrapping-Anwendung mitgeliefert werden.

Für die Erstellung sind ferner einige Angaben über das *Extra* erforderlich. Diese umfassen u.a. die Beschreibung, einige Schlüsselwörter, die Kategorie, sowie Symbole. Eine Beschränkung der Verfügbarkeit auf bestimmte Länder ist ebenfalls möglich.

Unter Verwendung des *Publishing Studios* wird der Vertrieb und Bezahlung, wie bereits zu Beginn bemerkt, über Skype geregelt. Das erzeugte *Extra* kann unter verschiedenen Lizenzen angeboten werden. Es stehen dazu die meisten klassischen Verkaufsstrategien für Software zur Auswahl [11]:

- **FREE:** Die Software ist kostenlos erhältlich.
- **TRIAL:** Die Software kann eine gewisse Zeit oder für eine bestimmte Anzahl an Ereignissen (z.B. Programmstarts) genutzt werden. Anschließend muss sie erworben werden.
- **PREPAID:** Die Software muss vor der Verwendung gekauft werden.

Alle Lizenzvariationen können sowohl personen- als auch maschinengebunden verwendet werden [11]. Zur Wahrung dieser Lizenz verfügt der *Skype Extras Manager* über ein integriertes DRM (Digital Rights Management) Kopierschutzsystem. Auf dieses kann in eigenen *Extras* über eine Schnittstelle zugegriffen werden.

Da Skype die nötige Infrastruktur bereitstellt, möchte das Unternehmen auch an den Gewinnerlösen beteiligt werden. Dies wird als *Revenue Sharing* bezeichnet. Aktuell behält sich Skype unter Verwendung des *Publishing Studios* 12,5 % der Verkaufs-

erlöse ein [12]. Für eine bessere Platzierung von *Extras*, etwa unter der *Featured Extras* Kategorie, müssen weitere Anteile des Gewinns an Skype abgeführt werden. Dies muss allerdings gesondert bei Skype beantragt werden [13]. Verkaufserlöse werden auf dem *Skype 4 Publishers* Benutzerkonto gutgeschrieben und können ab einem erreichten Gesamtbetrag von 100 Euro innerhalb eines Kalenderquartals auf das eigene PayPal-Konto ausbezahlt werden.

Die Verwendung der Skype Infrastruktur für den Bezahlvorgang ist nicht erforderlich. Es kann auch ein eigenes, externes System genutzt werden. Hierbei muss sich der Anbieter bereit erklären, nach jedem Quartal eine Auflistung aller erhaltenen Verkaufserlöse an Skype zu senden. Skype wird in diesem Fall, wegen des größeren Verwaltungsaufwandes, mit 25 % an den Verkaufserlösen beteiligt [12].

Die Verwendung von *Publishing Studio* ist der zu empfehlende Weg für *Plug-Ins*, die Windows als Zielplattform besitzen.

3.2 EXTRAS GALLERY

Plug-Ins können auch über die Webseite der *Extras Gallery* veröffentlicht werden. Hierzu ist lediglich ein Skype-Benutzerkonto erforderlich. Auch hier ist es erforderlich, einige Angaben (Beschreibung, Preis etc.) über das *Plug-In* zu machen. Zusätzlich werden Informationen über den Anbieter des *Plug-Ins* benötigt. Der Bezahlvorgang bei kommerziellen *Plug-Ins* wird nicht von Skype gehandhabt. Der Anbieter muss in diesem Fall selbst über ein entsprechendes System verfügen. Dies gilt auch für Kopierschutzmaßnahmen.

Die *Extras Gallery* ist die zurzeit einzige Möglichkeit, *Plug-Ins* für Linux oder Mac über Skype zu veröffentlichen.

Unabhängig davon, welcher dieser Wege gewählt wird, werden *Plug-Ins* vor ihrer Veröffentlichung durch Skype einem Funktionstest unterzogen und auf Virenfreiheit getestet.

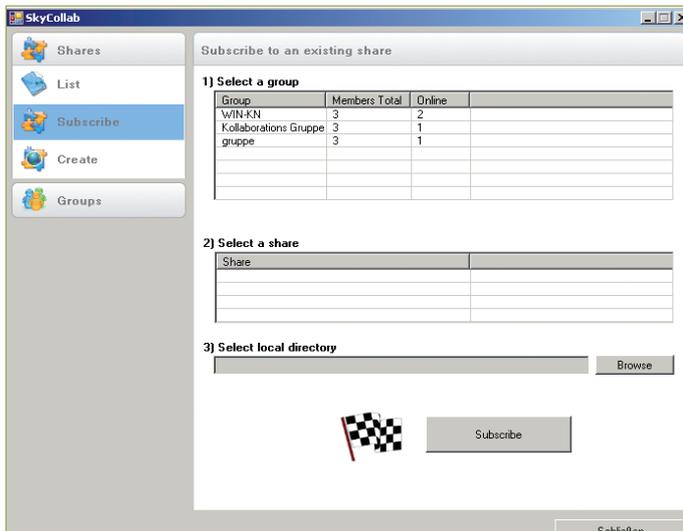


ABB.1: BEISPIEL FÜR EIN SKYPE EXTRA: DER SKYCOLLAB PROTOTYP

4 ZERTIFIZIERUNG

Skype bietet die Möglichkeit an, *Plug-Ins* zertifizieren zu lassen. Dies ist z.B. für Extras notwendig, welches unter der *Featured Extras* Kategorie angezeigt werden sollen. Während des Zertifizierungsprozesses wird die Software gegen eine Testspezifikation geprüft [14]. Diese umfasst neben funktionale bzw. nicht funktionale Anforderungen auch rechtliche Aspekte. Die Kosten für die Zertifizierung betragen aktuell 500 EUR [15].

5 SKYCOLLAB

An der HTWG wird gegenwärtig ein *Skype Extra* namens *SkyCollab* entwickelt. Diese Peer-To-Peer basierte Software wird kollaboratives Arbeiten an einer Dateifreigabe über das Internet ermöglichen. Die Abbildung 1 zeigt den aktuellen Prototyp der Anwendung.

6 FAZIT

Mit Hilfe der Skype-Programmierschnittstellen können Drittanbieter Erweiterungen programmieren, die von der Kom-

munikationsinfrastruktur sowie der stetig wachsenden Benutzerbasis profitieren können. Umgekehrt profitiert Skype dadurch von einer Fülle von Erweiterungen, ohne diese selbst entwickeln zu müssen.

LITERATUR

- [1]. eBay Inc. eBay Completes Acquisition of Skype. [Online] 2005. http://files.shareholder.com/downloads/eBay/587457167x0x40075/e4374aco-fc28-4c8e-b108-a8e2ce0250dc/EBAY_News_2005_10_14_General.pdf
- [2]. Skype Technologies. Skype Fast Facts Q4 2008. [Online] 2009. <http://ebayinkblog.com/wp-content/uploads/2009/01/skype-fast-facts-q4-08.pdf>
- [3]. Amery, Paul. Skype Developer Program – ‘Enhance the conversation’. [Online] 2007. www.slideshare.net/evanwolf/sep-27-2007-san-jose-event-p-amery
- [4]. Schmidt, Jürgen. Der Lochtrick – Wie Skype & Co. Firewalls umgehen. [Online] 2006. <http://www.heise.de/security/Wie-Skype-Co-Firewalls-umgehen--/artikel/82054>
- [5]. Skype Limited. Overview of the Sky-

pe API. [Online] 2008.

https://developer.skype.com/Docs/ApiDoc/Overview_of_the_Skype_API

[6]. Skype Limited. Skype Public API 3.6 Reference Guide. [Online] 2008.

<https://developer.skype.com/Docs/ApiDoc>
[7]. Schall, Martin and Balles, Christian. Skype API. Seminararbeit, HTWG-Konstanz, 2008.

[8]. Skype4Py. Release Notes 1.0.31.0. [Online] 2009

http://sourceforge.net/project/shownotes.php?group_id=202148&release_id=638444

[9]. Skype Extras Gallery. [Online] 2009. <http://extras.skype.com>

[10]. Skype Limited. Get started with Extras. [Online] 2009.

<https://developer.skype.com/Docs/Extras>
[11]. EasyBits Software AS. Benutzerhandbuch zu „Publishing Studio for Skype Extras Manager“. 2007.

[12]. Skype Communications S.a.r.l. PUBLISHER TERMS AND CONDITIONS. [Online] 2009.

<https://skype.4publishers.com/ps/STC.htm>

[13]. Madden, Lester. From Concept To Cash. [Online] 2007.

<https://developer.skype.com/Docs/ExtrasCopy?action=AttachFile&do=get&target=slides.ppt>

[14]. Skype Limited. Skype Software Product Certification Test Specification V 8.07. [Online] 2008.

<https://developer.skype.com/Certification/Software/TestSpecs?action=AttachFile&do=get&target=SSPCTS-8.07.pdf>

[15]. Skype Limited. Skype software certification process. [Online] 2009. <https://developer.skype.com/Certification/Software/OverView>



PROF. DR. OLIVER HAASE

Studium der Informatik an der Universität Karlsruhe, danach Promotion

zum Dr.-Ing. an der Universität Siegen. 1998 - 2005 Industrieforschung, zuerst bei NEC Europe in Heidelberg, dann bei den Bell Labs in Holmdel, New Jersey. Seit 2005 Professor für Verteilte Systeme und Software Engineering an der Fakultät Informatik der HTWG Konstanz. Seit Nov. 2006 Programmdirektor Master Informatik und seit März 2008 Prodekan Forschung.



ROBERT WALTER schloss

sein Software-Engineering Studium an der HTWG Konstanz im Sommer 2007 erfolgreich ab. Im Anschluss

begann er das Master-Studium im Studiengang MSI, wobei er zeitgleich eine Teilzeit-Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fakultät Informatik erhielt.

1 EINFÜHRUNG

In den letzten Jahren befand sich die *modellgetriebene Software-Entwicklung (Model Driven Software Development, MDS)* in einer steten Redefinition. Dabei erwiesen sich verschiedene Ansätze und Mechanismen als unbrauchbar und wurden verworfen, andere etablierten sich, wodurch der Begriff MDS über die Jahre die notwendige Griffigkeit erhielt. Auch wenn diese Evolution noch nicht vollständig abgeschlossen ist, zeigt vor allem die wachsende Zahl kommerzieller Projekte, die mit Hilfe modellgetriebener Entwicklung realisiert werden, den mittlerweile hohen Reifegrad dieser Technologie. Die meisten MDS-Ansätze wurden dabei für die Entwicklung neuer Software, also für das sogenannte *Forward Engineering* konzipiert (siehe z.B. [Stao7], [Peto6]). Um eine noch größere Akzeptanz von MDS in der Industrie zu erreichen, spielt die Integrationsfähigkeit *vorhandener* Anwendungen in dieses Entwicklungsmodell eine entscheidende Rolle.

In diesem Artikel befassen wir uns daher mit der Fragestellung, wie die Integration bestehender Software in ein modellgetriebenes Vorgehensmodell bewerkstelligt werden kann. Dazu stellen wir eine Umstrukturierungsstrategie bestehender Codes vor, nach deren Anwendung die Extraktion domänenspezifischer Aspekte mit Hilfe gängiger Forward-Engineering-Mechanismen durchgeführt werden kann. Es leiten sich insgesamt folgende Anforderungen an die Umstrukturierung ab:

- Die Funktionalität des Originalsystems darf nicht verändert werden;
- Die resultierende Software muss eine Struktur aufweisen, die es ermöglicht, in weiteren Iterationen Forward-Engineering-Mechanismen anzuwenden;
- Es sollen so wenig manuelle Modifikationen wie möglich notwendig sein, um die Umstrukturierung zu erreichen.

Zunächst wird die automatische Umstrukturierung vorgestellt. Dabei werden zwei unterschiedliche Muster für die Aufteilung von generiertem und manuell erstelltem Code untersucht und gegenübergestellt. Außerdem wird die Funktionsweise des erstellten Prototyps illustriert. Für die nach der Umstrukturierung erfolgende Identifikation domänenspezifischer und technischer Aspekte wird ein iteratives Vorgehen skizziert, das aus dem Forward Engineering bekannt ist. Im Ausblick werden noch zu lösende Herausforderungen vorgestellt.

2 DIE AUSGANGSSITUATION

Beim Einsatz von MDS wird versucht, fachliche Aspekte eines zu entwerfenden Systems in textuellen oder grafischen Modellen plattformunabhängig auszudrücken. Entscheidend ist, dass die Modelle formalen Beschreibungen genügen. Dadurch ist es möglich, mit Hilfe von Generatoren, die diese formalen Beschreibungen „kennen“, die Modelle eindeutig zu transformieren. Dabei kann es sich um die Transformation in andere Modelle oder direkt in Code handeln. Da sich ein System im Allgemeinen nicht ausschließlich durch fachliche Logik beschreiben lässt, liegt es nahe, dass auch bei der MDS Teile eines Systems von Hand codiert werden müssen. Dieser manuell erstellte Anteil muss über wohldefinierte Schnittstellen mit dem generierten Code kooperieren. Dabei hängt es stark von der einzelnen Anwendung ab, wie diese Kooperation umzusetzen ist. In den meisten Fällen ist es allerdings sinnvoll, generierten und manuell erstellten Code auf Dateiebene zu trennen, anstatt beides innerhalb von Dateien zu vermischen. Dadurch erhält man zum einen eine übersichtlichere Dateistruktur, zum anderen kann so die Versionierung von generiertem Code vermieden werden. Dies ist wünschenswert, da generierter Code jederzeit aus den Modellen gewonnen werden kann und keinen Mehrwert mitbringt.

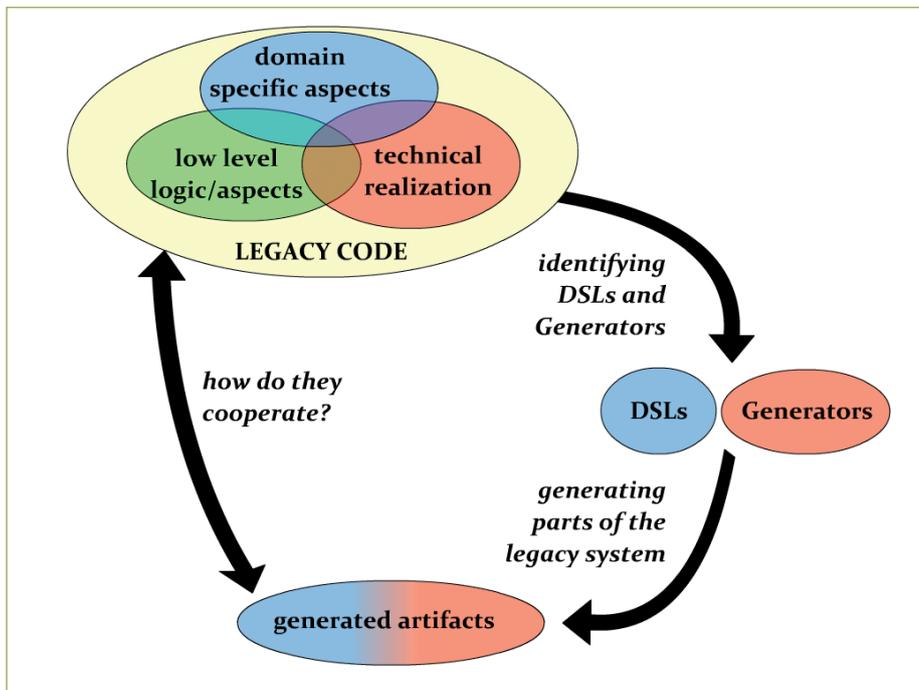


ABB. 1: PROBLEMATISCHE AUSGANGSSITUATION

Für den Einsatz von MDSD in bereits bestehenden Systemen steht man vor der Herausforderung, die fachlichen Aspekte des Systems zu identifizieren, diese aus der Codebasis zu entfernen und stattdessen auf einer höheren Abstraktionsebene – auf Modellebene – auszudrücken. Die Aspekte, die sich nicht sinnvoll auf diese höhere Ebene heben lassen, können teilweise in die Generatoren transportiert werden, verbleiben aber auch zum Teil in der Codebasis. Die oben angesprochene wohldefinierte Schnittstelle, über die der in Zukunft generierte Code mit den nicht generierbaren „Coderesten“ kooperieren kann, fehlt standardmäßig. Durch die hier vorgestellte Umstrukturierung wird diese Schnittstelle automatisch bereitgestellt.

3 UMSTRUKTURIERUNG VON LEGACY CODE

Die automatische Umstrukturierung kann als eine Art vorbereitender Schritt angesehen werden, bei dem die Struktur eines be-

stehenden Systems so verändert wird, dass in Zukunft generierter Code mit den nicht zu generierenden Elementen kooperieren kann, gleichzeitig aber die ursprüngliche Funktionalität des Systems unverändert bleibt.

Der Umstrukturierungsprozess gliedert sich dabei in zwei Schritte: (1) Zunächst wird das Legacy System in eine spezielle Repräsentation (ein Modell) gebracht, die konform zu einer gegebenen Metasprache (wird im folgenden Unterabschnitt vorgestellt) ist. Es ist wichtig zu erwähnen, dass durch diese Transformation kein Abstraktionsgewinn erzielt wird. Das gewonnene Modell enthält genau dieselben Informationen wie die vorhandene Codebasis. Dieser Arbeitsschritt ist allerdings notwendig, da die neue Darstellung der Codebasis durch die Konformität zur angesprochenen Metasprache als Input für einen Generator verwendet werden kann. Dieser Generator erzeugt im zweiten Arbeitsschritt aus der Modellrepräsentation die gewünschte Codestruktur: Es erfolgt die Unterteilung

in generierte und manuell erstellte Artefakte. Die generierten Artefakte enthalten zunächst keine eigene Systemlogik und dienen lediglich als Proxy für externe und interne Aufrufe. Die Aufrufe werden per Delegation an die manuell erstellten Artefakte weiter geleitet, da sich dort die gesamte Systemlogik befindet. Diese Umstrukturierung ermöglicht es, in darauf folgenden Schritten Fachlogik aus den manuell erstellten Artefakten zu extrahieren und über geeignete Modelle und Generatoren in die generierten Artefakte zu verlagern.

SCHRITT 1 - MODELLREPRÄSENTATION DES AUSGANGSCODES

Für die Umsetzung des Prototyps wurde eine homogene Umstrukturierung vorausgesetzt, Java diente als Quell- und Zielsprache. Durch die in der Eclipse-Entwicklungsumgebung bereitgestellten Java Development Tools (JDT) erhält man zu bestehendem Java-Code einen abstrakten Syntaxbaum (Abstract Syntax Tree, AST), der mit Hilfe des Besuchermusters (vgl. [Gamo4]) traversiert wird. Diese Darstellung der Codebasis ist bereits eine Modellrepräsentation, die allerdings nicht ohne weiteres verwendet werden kann, um daraus Code zu generieren. Mit Hilfe des Eclipse Modeling Framework (EMF) wurde daher ein Metamodell definiert, das die Sprache Java in einem für die Generierung geeigneten Format beschreibt. Mit anderen Worten wird aus dem AST-Modell eine Metamodell-konforme Baumdarstellung erzeugt. Für den Prototyp wurde ein vereinfachtes Java-Metamodell verwendet, das in Abbildung 2 dargestellt ist.

Nachdem die Transformation in ein konformes Modell erfolgt ist, muss dieses Modell noch im XMI-Format abgelegt werden, um als Input für den zweiten Schritt verwendet werden zu können.

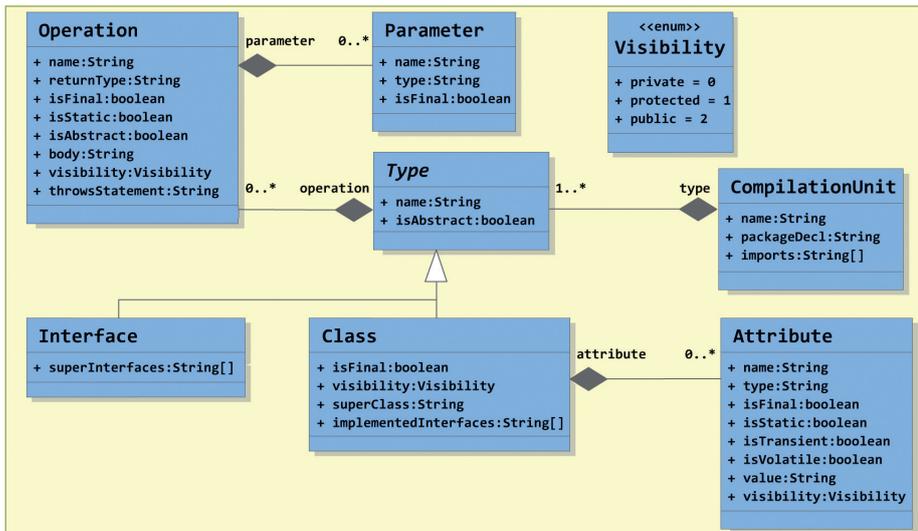


Abb. 2: Vereinfachtes Metamodell der Sprache Java

SCHRITT 2 – ERZEUGUNG DES UMSTRUKTURIERTEN CODES

In diesem Schritt erfolgt die Erzeugung des umstrukturierten Codes und damit die Aufteilung in generierte Artefakte im eigentlichen Sinne der MDS und solche Artefakte, in denen nicht generierbarer Code steht. Es existieren mehrere Entwurfsmuster und Best Practices, die das Zusammenspiel von generierten und manuell erstellten Anteilen beschreiben ([Stao7], [Effo8], [Voe04]). Für das hier durchgeführte Reverse Engineering mussten diese Muster neu überdacht werden. Um darzustellen, warum dies notwendig ist, untersuchen wir stellvertretend einen Ansatz mit Vererbung, der beim Forward Engineering mit MDS weit verbreitet ist, für das Reverse Engineering allerdings nicht geeignet ist. Als Alternative stellen wir einen Ansatz mit Delegation vor, der für die hier gegebenen Umstände besser geeignet ist.

ANSATZ MIT VERERBUNG

Eine Möglichkeit, die physikalische Trennung von generiertem und manuell erstelltem Code zu erreichen, ist die Erzeugung abstrakter Basisklassen, die durch Vererbung um manuelle Implementierungen erweitert werden können. Wie bei der Schablonenmethode ([Gamo4]) legen die generierten abstrakten Basisklassen den generellen Workflow fest, während in den manuell geschriebenen Unterklassen die technischen Besonderheiten umgesetzt werden.

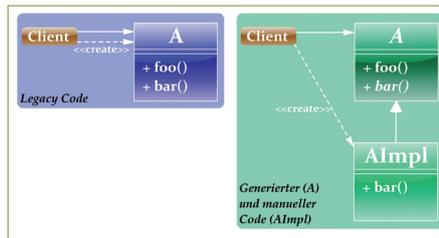


Abb. 3: Ansatz mit Vererbung

Dieser Ansatz hat beim Reverse Engineering einige Nachteile, wie aus Abbildung 3 hervorgeht. Die bereits existierende Klasse A wird nach dem Vererbungsansatz umstrukturiert: Die neue, abstrakte Klasse A stellt die neue Benutzungsschnittstelle dar. Die Erzeugungsschnittstelle verschiebt sich auf die neue Klasse AImpl, die den manuellen Anteil dieser Umstrukturierung darstellt. Aufgrund dieser Schnittstellenänderung ist es notwendig, nach der Umstrukturierung manuelle Änderungen im Client vorzunehmen. Außerdem würden nach der Umstrukturierung stets 1:1-Beziehungen zwischen den Basis- und Subklassen existieren, was dem eigentlichen Hauptziel der Vererbung, namentlich dem Herausfaktorisieren gleicher Aspekte mehrerer Subklassen, widerspricht. Darüber hinaus wird die vorhandene Vererbungshierarchie des bestehenden Systems durch diesen Ansatz korumpiert, woraus kaum zu handhabende architektonische Probleme entstehen können.

ANSATZ MIT DELEGATION

Anstatt manuelle Implementierungen über den Vererbungsmechanismus anzusprechen, werden bei diesem Ansatz Aufrufe explizit an manuelle Methoden weitergeleitet, falls notwendig. Auf diese Weise wird es möglich, den Kontrollfluss zwischen generierten und manuell erstellten Klassen sehr feingranular zu steuern. Darüber hinaus ist es möglich, die Ergebnisse von manuell erstellten Methoden zur Laufzeit in den generierten Methoden zu validieren und somit auf Ergebnisse zu reagieren.

Speziell für das Reverse Engineering bleiben bei diesem Ansatz die bestehende Vererbungshierarchie sowie die Erzeugungs- und Benutzungsschnittstelle unverändert erhalten. Abbildung 4 illustriert den Delegationsansatz anhand einer umzustrukturierenden Klasse A.

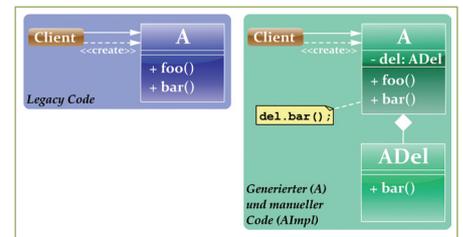


Abb. 4: Ansatz mit Delegation

Tatsächlich bemerken Nutzer der Klasse A die Umstrukturierung nicht, so dass manuelle Anpassungen überflüssig sind. Aufgrund aller genannten Vorteile setzen wir im Prototyp den Delegationsansatz ein. Abbildung 5 veranschaulicht den Umstrukturierungsvorgang noch einmal.

4 NACH DER UMSTRUKTURIERUNG

Nachdem eine Codebasis wie oben beschrieben umstrukturiert wurde, müssen die domänenspezifischen, fachlichen Aspekte des Systems identifiziert werden. Bei der Entwicklung der dafür geeigneten

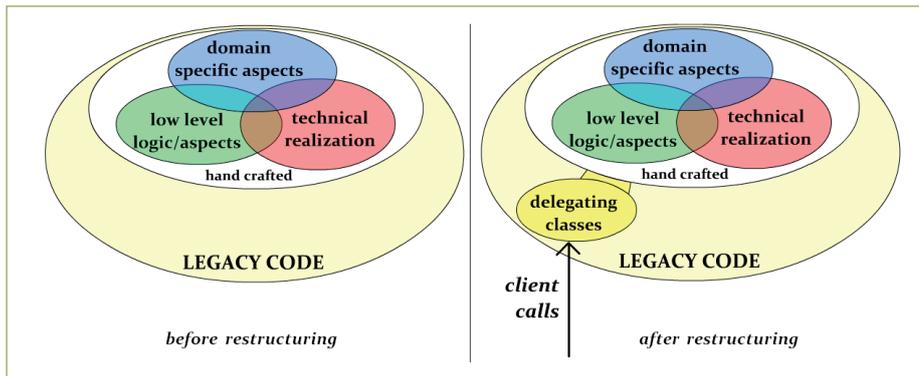


ABB. 5: VOR UND NACH DER UMSTRUKTURIERUNG

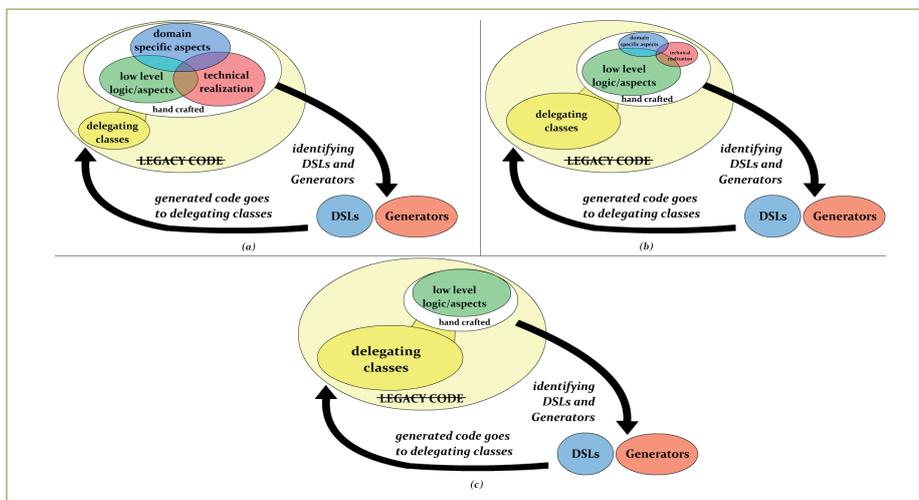


ABB. 6: ITERATIVES VORGEHEN NACH UMSTRUKTURIERUNG

Modellbeschreibungssprache ist ein iteratives Vorgehen sinnvoll, an dem sowohl Domänenexperten als auch Software-Architekten beteiligt sein sollten. In kleinen Schritten werden Modellierungselemente für die unterschiedlichen Domänenaspekte definiert. Dabei kann es – abhängig von der Projektgröße – ratsam sein, eine Unterteilung in mehrere Subdomänen vorzunehmen. Die domänenspezifischen und technischen Anteile im Legacy System verschwinden und werden in die delegierenden Klassen generiert. Somit wird die Interoperabilität mit den nicht generierten Klassen gewährleistet. In wie weit die aus der Umstrukturierung vorhandenen Generatoren weiter verwendet werden können, muss noch hinreichend untersucht werden. Allerdings existieren einige Indizien, aufgrund derer wir ein solches Vorgehen als sinnvoll erachten. Abbildung 6 stellt das MDSV Vorgehen nach erfolgreicher Umstrukturierung dem von Abbildung 1 gegenüber.

5 AUSBLICK

Es ist immer eine große Herausforderung, einen neuen Entwicklungsprozess in einem kommerziellen Umfeld zu etablieren. Wir haben eine Strategie vorgestellt, die die Einführung von MDSV durch die automatische Umstrukturierung von Legacy Systemen erleichtert. Nach dieser Umstrukturierung können Domänenexperten und Architekten beginnen, die Anwendungsdomäne zu modellieren, Generatoren zu entwickeln und Code zu generieren. Um beliebigen Java-Code umzustrukturieren, ist es notwendig, das verwendete Metamodell (siehe Abbildung 2) auf den vollen Sprachumfang zu erweitern. Dies zieht automatisch eine Erweiterung der AST-Traversierung sowie der Generierungstemplates nach sich, an denen wir bereits arbeiten. Des Weiteren soll die Umstrukturierung durch Mechanismen angereichert werden, mit denen das Legacy System auf Designschwächen hin untersucht werden kann.

Wir planen dabei fehlerhaft implementierte Muster während der Traversierung zu erkennen. Das Singleton Muster ist ein geeignetes Beispiel, da man es auf unterschiedliche Arten implementieren kann, wobei nicht jede Möglichkeit sinnvoll ist oder den lokalen Anforderungen genügt. Durch das automatische Identifizieren solcher fehlerhaft realisierter Muster wird es bereits während der Umstrukturierung möglich, eine gewisse Anhebung der Abstraktion zu erreichen, indem

- a) das zugrunde liegende Metamodell um entsprechende Elemente (z.B. Stereotypen) und
- b) die verwendeten Templates um eine korrigierte Rücktransformation

erweitert werden.

LITERATUR

- [Stao7] Thomas Stahl, Markus Völter, Sven Efftinge, Arno Haase; Modellgetriebene Softwareentwicklung; dpunkt.verlag, 2007
- [Peto6] Roland Petrasch, Oliver Meimberg; Model Driven Architecture; dpunkt.verlag, 2006
- [Effo8] Sven Efftinge, Peter Friese, Jan Köhnlein; Best Practices for Model-Driven Software Development; <http://www.infoq.com/articles/model-driven-dev-best-practices>
- [Voeo4] Markus Völter, Jorn Bettin; Patterns for Model-Driven Software-Development; <http://www.voelter.de/data/pub/MDDPatterns.pdf>
- [Gamo4] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides; Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software; Addison-Wesley, 2004
- [oAWo8] Sven Efftinge, et al.; openArchitectureWare User Guide. Version 4.3; <http://www.eclipse.org/gmt/oaw/doc/4.3/openArchitectureWare-4.3-Reference.pdf>

VEREINFACHTES MANAGEMENT VON SHARED NOTHING DATENBANK-CLUSTER DURCH AUTOMATISCHE ANPASSUNG UND OPTIMIERUNG VON WARTUNGSFENSTERN

Claus Allweil, Frank Heimes und Jürgen Wäsch



CLAUS ALLWEIL

2002-2007 Wirtschafts-informatik Studium an der HTWG Konstanz.

2005-2007 Praktikant und Werkstudent bei IBM in Böblingen. Seit 2007 Software Engineer im Linux Integration Center EMEA bei der IBM Deutschland Research & Development GmbH in Böblingen



FRANK HEIMES

1986-1988 Stufenausbildung zum Elektronikspezialisten bei der Siemens AG.

1989-1994 Softwareentwicklung und Projektierung bei der Siemens AG in Düsseldorf im Bereich Automatisierungstechnik; 1994-2001 Studium der Informatik mit Nebenfach Elektrotechnik an der Universität Paderborn. 2001-2005 Softwareentwickler bei IBM in Böblingen. Seit 2006 IT Architekt im Linux Integration Center bei der IBM Deutschland Research & Development GmbH in Böblingen.



PROF. DR. JÜRGEN WÄSCH

Studium der Informatik und Wirtschaftswissenschaften an der Universität Kaiserslautern.

1993-1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter bei der GMD - Forschungszentrum Informationstechnik GmbH in Darmstadt. 1998-1999 externer Berater bei der Software AG. 1999 Promotion zum Dr.-Ing. an der TU Darmstadt. 2000-2003 Bereichsleiter bei der e-solutions GmbH in Stuttgart. Seit 2004 Professor für E-Business Technologien an der HTWG Konstanz. 2008 Forschungssprecher bei der SAP AG in Walldorf.

Shared-Nothing DB-Cluster erfreuen sich wegen ihrer Skalierbarkeit zunehmender Beliebtheit. Gleichzeitig ergibt sich aber ein erhöhter Verwaltungsaufwand. Dieser Artikel beschreibt ein System, welches die Komplexität der Verwaltung eines Shared-Nothing DB-Clusters reduziert. Die kontinuierliche Überwachung von Systemparametern erlaubt die Definition von Regeln und die Berechnung von Trends zur vorausschauenden, automatisierten Clusteranpassung und zur Ermittlung von optimalen Wartungsfenstern.

1 EINFÜHRUNG

DB-Cluster stellen eine spezielle Form von verteilten Datenbanksystemen dar. Als DB-Cluster bezeichnet man eine Menge von vernetzten Datenbank-Servern (Cluster-Knoten), die nach außen als ein einzelnes Datenbanksystem erscheinen. Dabei können bis zu tausend einzelne Cluster-Knoten in einem DB-Cluster zusammengefasst werden.

1.1 DB-CLUSTER ARCHITEKTUREN

Aktuelle DB-Cluster basieren auf zwei grundlegend verschiedenen Architekturen: Shared Nothing bzw. Shared Disk [Rahm 94].

In einer Shared Disk Architektur (auch Shared Database genannt) werden alle Daten in einer gemeinsamen Datenbasis auf einem einzigen logischen Datenträger gespeichert, auf den alle Cluster-Knoten über ein schnelles Netzwerk Zugriff haben. Meist werden spezielle Cluster-Filesysteme hierzu eingesetzt. Der Engpass liegt dabei im gleichzeitigen verteilten Zugriff auf die gemeinsame Datenbasis. Durch diese Einschränkungen skaliert ein Shared Disk DB-Cluster nur bis zu einer bestimmten Grenze, die deutlich unterhalb der einer Shared Nothing Umgebung liegt. Die Vorteile liegen in der einfachen und schnellen Anpassung an sich veränderte

Lastbedingungen und die automatische Hochverfügbarkeit des Datenbanksystems, da jeder Cluster-Knoten die Aufgaben der anderen übernehmen kann. Beispiele für Shared Disk DB-Cluster sind ORACLE Real Application Cluster (RAC) und IBM DB2 for z/OS im Parallel Sysplex Betrieb.

In einer Shared Nothing Architektur sind hingegen die Cluster-Knoten nur lose gekoppelt. Alle Cluster-Knoten verfügen dabei über eigene CPUs, Arbeitsspeicher und Festplattenkapazität. Jeder dieser eigenständigen Cluster-Knoten verwaltet eine Teilmenge der Daten exklusiv. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Cluster-Knoten erfolgt dabei über ein möglichst schnelles Netzwerk. Ein Shared Nothing DB-Cluster kann alle Arten von Parallelitäten [Rahm 94] voll ausnutzen. Speicher- und Prozessorparallelität wird innerhalb der einzelnen Cluster-Knoten eingesetzt. Daten- bzw. Rechnerparallelität wird durch die geschickte Verteilung der Daten auf die einzelnen Cluster-Knoten erreicht. Der große Vorteil ist die daraus resultierende fast unbegrenzte Skalierbarkeit. In der Praxis werden Shared Nothing DB-Cluster mit bis zu vierstelliger Knotenanzahl und vielen Terabyte an Daten betrieben. Beispiele für Shared Nothing DB-Cluster sind IBM DB2 Enterprise Server Edition für Unix, Linux, und Windows mit Distributed Partitioning Feature, Informix Extended Parallel Server (XPS) und NCR Teradata.

1.2 IBM DB2 DATABASE SERVER WITH DISTRIBUTED PARTITIONING FEATURE

IBM DB2 Enterprise 9 unterstützt verschiedene Arten der Datenbankpartitionierung. In dieser Arbeit wird das IBM DB2 Database Partitioning Feature für Linux, UNIX, und Windows genutzt (im folgenden DPF genannt) [IBM].

Die DPF Erweiterung erlaubt es, DB2 Enterprise 9 als ein Shared Nothing DB-Cluster zu betreiben (siehe Abbildung 1). Jeder Knoten innerhalb des DB-Clusters entspricht dabei einer oder mehreren Datenbank-Par-

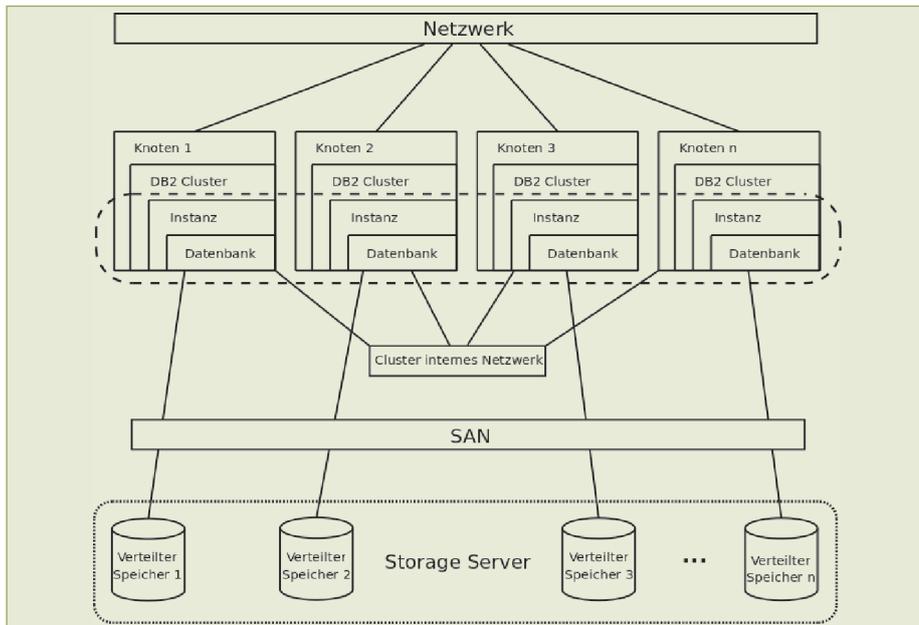


ABB. 1: IBM DB2 ENTERPRISE 9 MIT DISTRIBUTED PARTITIONING FEATURE: ARCHITEKTUR

tionen. Werden mehrere Partitionen auf einem Cluster-Knoten zusammengefasst, spricht man von logischen Partitionen. Dies kann bei großen SMP Cluster-Knoten mit viel Arbeitsspeicher zur besseren Auslastung sinnvoll sein.

Datenbank-Tabellen können auf eine Partition beschränkt sein oder sich über mehrere Partitionen des DB-Clusters erstrecken. Partitionen werden zu Partition Groups zusammengefasst. Tabellen können dabei in mehreren Partition Groups enthalten sein. Daten werden innerhalb einer Partition Group über alle enthaltenen Partitionen verteilt. Um einzelne Datensätze einer Tabelle innerhalb einer Partition Group verteilen zu können, muss ein Partitioning Key im CREATE TABLE Statement beim Anlegen der partitionierten Tabelle definiert werden. Der Partitioning Key sollte so gewählt werden, dass die Daten gleichmäßig über die Partitionen verteilt werden.

Ein DB2 Enterprise Data Server mit aktiviertem DPF muss beim Erstellen einer Instanz zwei oder mehr Cluster-Knoten bereitstellen, damit die neu angelegte Instanz Cluster-fähig wird. Der Cluster-Kno-

ten, auf dem die Instanz erzeugt wird, wird im DB-Cluster zum primären Knoten für diese Instanz und übernimmt die Speicherung und Verwaltung der Metadaten. Innerhalb eines DB-Clusters können mehrere Instanzen betrieben werden. Diese können unterschiedliche primäre Knoten haben. Innerhalb einer Instanz können mehrere Datenbanken angelegt werden. Eine Datenbank muss eindeutig einer Instanz zugeordnet sein. Der Zugriff auf eine Datenbank innerhalb des DB-Clusters kann über jeden Knoten erfolgen, der Teil der entsprechenden Instanz ist. Der Knoten über den der Zugriff erfolgt wird für diese Transaktion der Koordinationsknoten. Die Transaktion wird verteilt ausgeführt und nach Abschluss vom Koordinationsknoten zusammengefasst und an den anfragenden Client zurückgegeben.

Zur Performancesteigerung und zur Minimierung des Ausfallrisikos werden die Datenbankdateien üblicherweise auf externen, redundant ausgelegten Storage Servern, die per SAN mit den einzelnen Cluster-Knoten verbunden sind, abgelegt (siehe Abbildung 1). Die Datenbankdateien

liegen in unterschiedlichen Bereichen des Storage Servers, die dediziert den einzelnen Cluster-Knoten zugeordnet sind und von diesen exklusiv verwaltet werden.

1.3 PROBLEMSTELLUNG

Die Skalierbarkeit von Shared Nothing DB-Clustern ist nicht kostenlos. Die initiale Installation z.B. eines DB2 DPF DB-Clusters gestaltet sich zwar relativ einfach, aber der DB-Cluster muss zeitweise an die sich verändernden Rahmenbedingungen wie Datenbankgröße und Datenbank-Workloads angepasst werden. Die hier anfallenden Aufgaben des Datenbankadministrators sind u.a. die kontinuierliche Überwachung der Systeminformationen des DB-Clusters (Datenbankgröße, Speicherbedarf, CPU Load etc.), die Entscheidung die Clustergröße zu verändern, die Entscheidung über den Zeitpunkt dieser Änderungen sowie die eigentliche Durchführung der Änderungen am DB-Cluster. Eine Erweiterung bzw. Reduktion eines DB-Clusters um einen Cluster-Knoten wird normalerweise manuell ausgeführt.

Es besteht dabei die Gefahr, dass wiederkehrende Überwachungs- und Wartungsarbeiten nicht oder nicht rechtzeitig durchgeführt werden. Ressourcen-Engpässe und -Verschwendungen werden meist erst nach ihrem Auftreten erkannt und nicht vorbeugend behandelt (wenn überhaupt). Anpassungen des DB-Clusters bedingen meist eine gewisse Stillstandszeit (Downtime) und können aus Verfügbarkeitsgründen meist nur in festgelegten Wartungsintervallen durchgeführt werden.

1.4 ZIELSETZUNG

Ziel war die Entwicklung eines Systems, welches die Komplexität der Verwaltung eines Shared-Nothing DB-Clusters reduziert, indem zunächst alle manuellen Schritte zur Clusteranpassung automatisch ohne Benutzerinteraktion durchgeführt werden können. Weiterhin sollen Clusteranpas-

sungen vorausschauend durchgeführt und die Auswirkungen von Wartungsarbeiten auf den laufenden Betrieb sowie Stillstandszeiten minimiert werden.

Die Konzepte sollten dabei allgemein einsetzbar, d.h. nicht auf IBM DB2 DPF DB-Cluster beschränkt, sein. Das zugrunde liegende Software-Framework sollte plattform-unabhängig und minimal-invasiv sein, d.h. es sollte möglichst keine Anpassung der DB-Cluster Software notwendig sein und der laufende Systembetrieb soll durch das System so wenig wie möglich beeinflusst werden. Des Weiteren sollte das System einfach zu benutzen, nicht komplexer als notwendig, und selektiv vom Administrator nutzbar sein [Lightstone et al. 06].

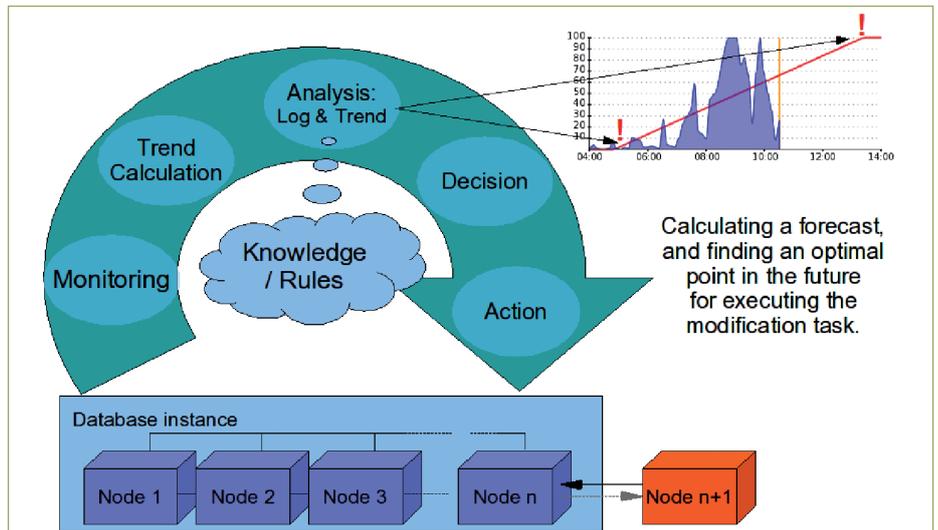


ABB. 2: REGELKREISLAUF

2 LÖSUNGSANSATZ

Im folgenden wird ein System beschrieben, welches die Auslastung des DB-Clusters überwacht, dynamisch Cluster-Knoten hinzufügen oder entfernen kann und außerdem anhand einer Analyse der Laufzeitdaten den optimalen Zeitpunkt für solche Systemanpassungen findet [Allweil et al. 08].

Dazu werden im laufenden Betrieb gezielt Daten über das Verhalten des DB-Clusters gesammelt und ausgewertet. Diese historischen Datensätze erlauben durch die Berechnung von Trends eine einfache Betrachtung zukünftiger Entwicklungen. Die Trendberechnung lässt potentiell Erreichen von Engpässen im Vorfeld bei gleich bleibenden, oder zumindest ähnlichen, Systembedingungen erkennen und erlaubt somit eine frühzeitige Reaktion auf zukünftiges Systemverhalten. Dies hat zur Folge, dass ein Erreichen von Engpässen durch frühzeitige Erkennung und pro-aktive Veränderungen des DB-Clusters weitestgehend vermieden werden kann. Anhand eines solchen Trends lassen sich z.B. optimale Wartungsfenster erkennen, in denen die Systemlast voraussichtlich gering ist und somit die Auswirkungen auf die Verfügbarkeit des Gesamtsystems bei

einer Modifikation des DB-Clusters minimiert werden.

Das angestrebte Systemverhalten wird erreicht durch eine Art Regelkreislauf (Abbildung 2), welcher Mechanismen für Monitoring, Logging, Trendberechnung, Analyse, regel-basierte Entscheidungsfindung und Aktionsausführung beinhaltet:

- Cluster-System geht in Betrieb.
- Monitoring- und Log-Komponente sammeln Informationen über das Systemverhalten.
- Die Log-Daten werden analysiert und Zeitfenster minimaler Systemauslastung ermittelt.
- Sind genügend Daten vorhanden, wird ein Trend berechnet.
- Zuvor definierte Regeln werden auf die Log- und Trend-Daten angewendet zur Ermittlung von möglichen Engpässen bzw. Ressourcen-Verschwendungen, welche das System innerhalb einer bestimmten zeitlichen Periode betreffen können.
- Das System schlägt eine Aktion (Clustermodifikation: grow / shrink) vor, um das Erreichen dieser Engpässe bzw. Ressourcen-Verschwendungen zu vermeiden. Je mehr Log und Trend-Daten vorhanden sind, desto präziser werden die Vorschläge.
- Abhängig von den Log- und Trend-Da-

ten schlägt das System zur Optimierung von benötigten Downtimes außerdem ein dynamisches Wartungsfenster vor, in dem minimale oder zumindest verhältnismäßig niedrige, Systemlast herrscht.

2.1 MONITORING UND LOGGING

Monitoring und Logging sind notwendige Aufgaben zur Ermittlung von Systemzustandsdaten, die wiederum die Basis für die Trendberechnung bilden. Das Monitoring ermittelt in regelmäßigen und frei wählbaren Intervallen (Perioden) die Lastdaten der einzelnen Cluster-Knoten. Betriebssystem-nahe Daten (wie z.B. CPU Auslastung) werden über Shell Skripte und Datenbank-spezifische Daten (wie z.B. Anzahl Transaktionen pro Sekunde) direkt den Statusinformationen des Datenbanksystems entnommen. Die Log-Komponente speichert Status-, Trend- sowie Konfigurationsinformationen und dient außerdem als zentrale Daten-Austauschinstanz für alle weiteren Komponenten des Systems.

2.2 RULE MANAGEMENT

Potentielle Engpässe in Shared-Nothing DB-Clustern kann es viele geben, denn je-

des System ist für sich unterschiedlich und muss daher auch unterschiedlichen Anforderungen genügen. Aus diesem Grund lassen sich keine festen oder allgemein gültigen Regeln definieren, sondern es ist ein flexibles Regelsystem notwendig, welches es erlaubt Regeln für nahezu beliebige Anforderungen und Situationen zu definieren.

Die verwendeten Regeln (siehe Abbildung 3) bestehen aus einem Bedingungsteil und einer Aktion die ausgeführt wird, wenn der Bedingungsteil zutrifft. Teilbedingungen (Conditions) lassen sich mit AND (Composition) und OR verknüpfen.

Eine Teilbedingung setzt sich aus einem Bedingungsnamen, dem Messwert, einem Vergleichsoperator, einem Vergleichswert und einem Zeitraum, über den die Condition dauerhaft erfüllt werden muss, zusammen.

Eine Aktion kann ein Vorschlag für eine Clustervergrößerung (grow) oder -verkleinerung (shrink) sein, wobei zwischen automatischer Durchführung (nach Administratorbestätigung) und einer völlig autonomen Durchführung im berechneten Wartungszeitfenster (ohne Administratorinteraktion) unterschieden werden kann.

2.3 LOG-ANALYSE UND TRENDBERECHNUNG

Für ein besseres Verständnis wird im Weiteren die folgende, vereinfachte Regel zur Erkennung eines simplen Engpasses zu Grunde gelegt:

(CPU >= 100% with duration >= 10 min) then grow

Die Log-Analyse sowie die Trendberechnung geschieht periodisch – z.B. täglich, wöchentlich, monatlich, oder quartalsweise – in Abhängigkeit der Auslastungsart. Basierend auf mindestens einer oder mehreren vollständig gespeicherten Perioden wird ein Trend berechnet und somit ein potentiell zukünftiges Verhalten prognostiziert. Im Prototyp (siehe Abschnitt 3) wurde dies auf Basis der linearen Annäherung realisiert; es sind aber beliebig komplexe und somit genauere Funktionen und Annäherungen denkbar.

Der Regelsatz wird nun auf die zukünftige Periode, die durch den Trend beschrieben wird, angewendet, um potentielle Engpässe (erfüllte Bedingungen) frühzeitig aufspüren zu können, die einer Clustermodifikation bedürfen.

Der Trendverlauf wird außerdem auf Zeitfenster geringer oder gar nicht vorhandener Aktivität untersucht, wobei ebenfalls analysiert wird, ob diese Zeitfenster lang genug sind um darin eine Clustermodifikation vollständig durchführen und auch abschließen zu können.

Wurden tatsächlich potentielle Engpässe erkannt, so kann nun rechtzeitig eine Clustermodifikation zu einem optimalen Zeitfenster eingeleitet werden, so dass bereits im Vorfeld eines zu erwartenden Engpasses diesem mit entsprechenden Aktionen begegnet werden und er somit im Idealfall sogar vollständig vermieden werden kann.

Abbildung 4 zeigt zur Verdeutlichung zwei historische Perioden (blau), gefolgt von einer zukünftigen Periode (rot), inklusive der jeweils berechneten Trends (grün), welche vom aktuellen Ist-Zeitpunkt (orange Senkrechte) abgegrenzt ist. In der Trendperiode

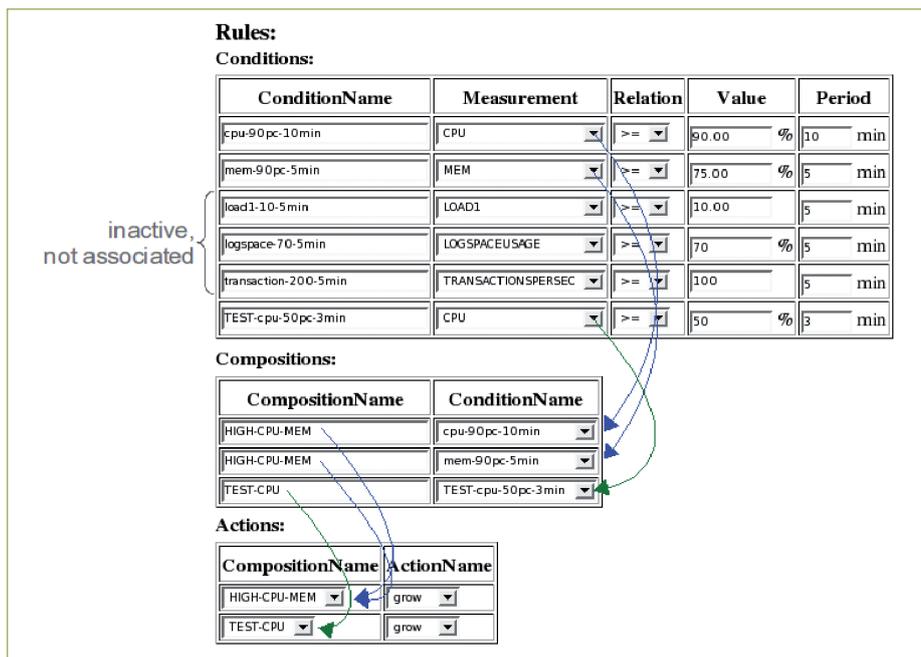


ABB. 3: REGELSYSTEM

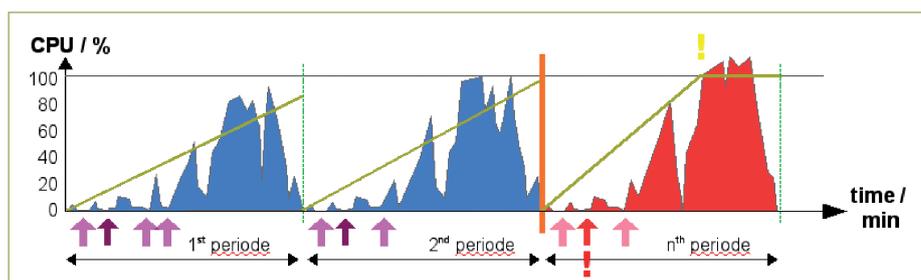


ABB. 4: TRENDBERECHNUNG UND BERECHNUNG DES OPTIMALEN WARTUNGSFENSTERS

de ist außerdem ein potentieller Engpass (gelbes Ausrufezeichen) und drei mögliche Zeitfenster geringer oder nicht vorhandener Aktivität (rote Pfeile) ersichtlich, wobei die oben beschriebenen Konzepte umsetzt und die Machbarkeit unter Beweis stellt.

3 PROTOTYP

Im Rahmen einer Diplomarbeit [Allweil o8] ist ein Prototyp eines dynamischen IBM DB2 DPF DB-Clusters entstanden, welcher die oben beschriebenen Konzepte umsetzt und die Machbarkeit unter Beweis stellt.

3.1 SYSTEMARCHITEKTUR

Die Software-Komponente zur dynamischen und automatischen und ggf. autonomen Steuerung eines DB2 DPF DB-Clusters ist in Java und Korn-Shell Skripten implementiert und besteht aus einzelnen, lose gekoppelten Teilkomponenten, die aus Skalierungs- und Performance-Gesichtspunkten auf einem oder verschiedenen Servern ausgeführt werden können. Abbildung 5 stellt alle Teilkomponenten (innerhalb der gestrichelten Bereiche) im Zusammenhang des dynamischen Clusters dar, die Pfeile zwischen den Teilkomponenten beschreiben den Informationsfluss mit Richtung der Übertragung. Die Nummerierung beschreibt den logischen Ablauf zwischen den Teilkomponenten.

3.2 IMPLEMENTIERUNG

Die Monitoring- und Execution-Komponenten stehen in direkter Kommunikationsbeziehung mit dem DB-Cluster. Beide Komponenten basieren auf Korn-Shell Skripten, die direkt auf den Cluster-Knoten ausgeführt werden und zur vereinfachten Handhabung von einem zentralen NFS Share gestartet werden. Die Monitoring-Komponente bezieht Lastdaten von den Cluster-Knoten, welche die

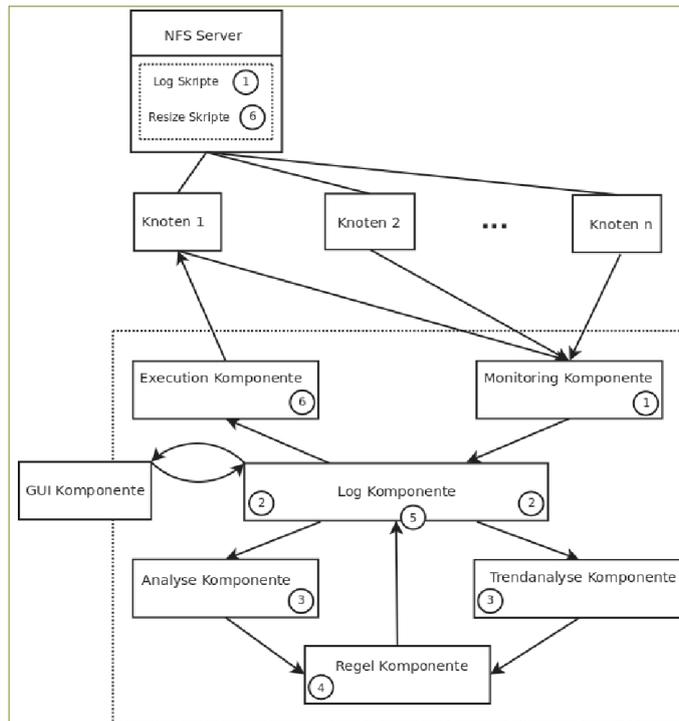


ABB. 5: ARCHITEKTUR DES DYNAMISCHEN DB2 DPF DB-CLUSTERS

Leistungsfähigkeit des einzelnen Knotens wiedergeben: Auslastung von CPU in %, Hauptspeicher in %, Auslagerungsdatei in %, Mittlere Auslastung des Systems (Load Average) als absoluter Wert, Log-Spaces in %, Data-Spaces in %, Datenbanktransaktionen pro Sekunde als absoluter Wert. Die Execution-Komponente führt das Hinzufügen oder Entfernen von Cluster-Knoten aus. Bei der Erweiterung des Clusters um weitere Knoten wird auf einen Resource-Pool bereits installierter oder geklonter Cluster-Knoten zurück gegriffen. Bei der Vergrößerung des DB-Clusters durchzuführenden Schritte sind im Falle von DB2 DPF: Identifikation eines freien Systems, Hinzufügen des neuen Knotens zum DB-Cluster, Neustart des DB-Clusters, Erweiterung der Partition Group und die Neuverteilung der Daten über die Partition Group. Bei der Verkleinerung durchzuführenden Schritte sind: Kennzeichnung eines Cluster-Knotens zum Entfernen, Ermittlung der Datenbanken, die auf diesem Knoten vorhanden sind, Ermittlung der Partition Groups auf diesem Cluster-Knoten, Neuverteilung der Daten dieser Partition Groups, Entfernen des Knotens aus dem Cluster, Neustart des DB-Clusters. Vor der Entfernung des Cluster-Knotens ist es wichtig zu prüfen, dass keine Datenbanken mehr im DB-Cluster den zu entfernenden Cluster-Knoten nutzen, da sonst die Daten nicht länger verfügbar sind.

Das eigentliche Hinzufügen und Entfernen der Cluster Knoten geschieht relativ schnell innerhalb eines Zeitraums von ein bis zwei Minuten, während dieser Zeit muss die Datenbank Instanz kurz gestoppt werden. Das Neuverteilen der Datenbank über die Cluster-Knoten erfolgt online, d.h. während des laufenden Betriebs. Die Log-Komponente ist für die persistente Datenhaltung von überwachten Monitoring-Daten zuständig. Die Regeldefinitionen zur Auswertung der Lastdaten werden ebenfalls dort gespeichert. Die Log-Komponente ist die zentrale Schnittstelle über die alle weiteren Teilkomponenten miteinander kommunizieren. Die Kommunikation geschieht leichtgewichtig über JDBC. Für den Prototypen wurde die vollständig in Java implementierte Datenbank IBM Cloudscape verwendet. IBM Cloudscape wurde 2004 unter dem Namen Apache Derby als Open Source freigegeben und ist als JavaDB Bestandteil von Sun Java 6. Die Trendanalyse-Komponente bereitet die gemessenen Lastdaten auf und berechnet über die bisherigen Werte einen möglichen Trend. Die Trendanalyse-Komponente ist so ausgelegt, dass ihre Implementierung einfach austauschbar ist. Für die Implementierung des Prototyps wurde die Berechnung einer Trendgeraden durch die Methode zur Berechnung einer Ausgleichskurve nach dem Gaußschen Prinzip der kleinsten Quadrate verwendet.

Die Analyse-Komponente selektiert gemessene Lastdaten über einen bestimmten Zeitraum, welcher in der Analyse betrachtet werden soll, und bereitet diese Daten, sowie Daten, die mit Hilfe der Trendanalyse-Komponente berechnet wurden, auf. Im Anschluss daran werden die Daten in der Regel-Komponente ausgewertet.

Die Regel-Komponente wertet die Daten mit Hilfe der festgelegten Regelsätze aus. Die Regelsätze definieren Grenzen, die kontinuierlich für einen festgelegten Zeitraum überschritten werden müssen. Die Regelsätze werden auf die Werte jedes Cluster-Knoten angewendet. Eine Weiterentwicklung wären Regeln, die Knotenübergreifende Bedingungen miteinander verknüpfen. Dadurch ließe sich die Regel-Auswertung nicht nur auf einzelne Cluster-Knoten beschränken, sondern es ließen sich auch Knoten untereinander verknüpfen.

Die Rule Engine zur Auswertung der Regeln wurde gezielt für den Prototyp entwickelt, um einfache Vergleiche durchführen zu können. Rule Engines, welche die Java Rule Engine API JSR 94 implementieren, wie z.B. JBoss Rules, zielen zu stark auf die Auswertung von Business Logik und damit sehr komplexen Zusammenhängen ab, und sind damit nicht mehr flexibel genug für die hier verwendeten sehr einfachen Vergleiche.

Die GUI-Komponente (siehe Abbildung 6) dient zur Anzeige der gemessenen und überwachten Daten, sowie der errechneten Trenddaten. Aus der Regel-Komponente getroffene Entscheidungen werden angezeigt und durch Bestätigung zur Ausführung gebracht. Aktive Regeln werden angezeigt, können geändert oder neu definiert werden. Veränderungen des DB-Clusters durch Hinzufügen oder Entfernen von Cluster-Knoten können manuell angestoßen werden. Die GUI-Komponente kann aktiv für Entscheidungen genutzt werden, dann wird der dynamische Cluster automatisch unter Aufsicht eines Administrators betrieben oder die GUI-Komponente wird nur zur Anzeige genutzt, dann läuft der dynamische Cluster autonom und nimmt

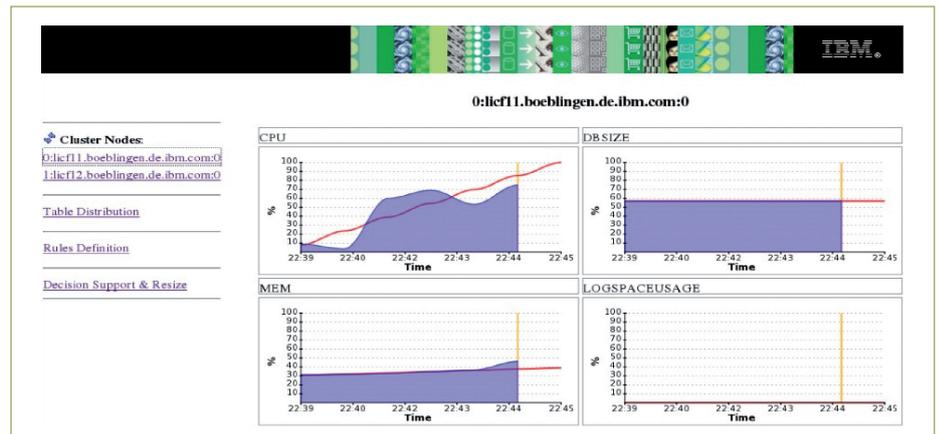


ABB. 6: GUI DES DYNAMISCHEN DB2 DPFC-CLUSTERS.

selbständig das Vergrößern und Verkleinern des DB-Clusters in den berechneten Wartungsfenstern vor.

3.3 TEST

Für Test und Experimente ist es wichtig, den DB-Cluster gezielt unter realistischen Verhältnissen mit echten Datenbankanfragen auslasten zu können. Zu diesem Zweck wurde ein Test-Tool entwickelt, mit dem Ziel möglichst viele gleichzeitige Transaktionen auf einem DB-Cluster mit unterschiedlichen Datenbankgrößen durchzuführen. Dadurch kann die Auslastung gemessen und beobachtet werden, wie sich die Last bei einem DB-Cluster über die einzelnen DB-Knoten verteilt. In Tests und Experimenten hat sich gezeigt, dass mit dem beschriebenen Ansatz bzw. dem implementierten Prototyp bevorstehende Engpässe erkannt und rechtzeitig davor ein optimales Wartungsfenster gefunden werden kann, in dem die Veränderung des DB-Clusters möglichst wenig Einfluss auf den Betrieb ausübt.

4 FAZIT

Durch die rasant ansteigenden Datenmengen in Unternehmen und Organisationen werden skalierbare, flexible automatische bzw. autonome Systeme, die in der Lage sind diese Datenflut effizient zu verwalten und dazu weitreichende Möglichkeiten des Datenzugriffs bieten, immer wichtiger. Das zeigt nicht zuletzt die fortwährend intensive Forschung in den Bereichen Datenbanken, Information-Management und Autonomic Computing, sowie die daraus resultierenden stetigen Verbesserungen der angebotenen Lösungen. Die im Rahmen dieses Artikels vorgestellte

ten Autonomic Computing Konzepte – in Verbindung mit den bereits in DB2 zur Verfügung stehenden – führen dazu, dass der Betrieb von Shared Nothing DB-Clustern auf Basis von DB2 mit DPFC deutlich vereinfacht, automatisiert und dadurch ebenfalls sicherer gestaltet werden kann, da viele manuelle Aufgaben dadurch obsolet werden. Letztendlich profitiert dadurch auch die Verfügbarkeit des Gesamtsystems. Der hierzu entwickelte Software-Prototyp ist minimal-invasiv. Es waren keinerlei Anpassung an der IBM DB2 Software notwendig und der laufende Systembetrieb wird, bis auf das Auslesen der Monitoring-Informationen, nicht beeinträchtigt.

LITERATUR

[Allweil et. al. 08] C. Allweil, F. Heimes: Method and System to Minimize the Impact of Modifying a Clustered Computer System, Patent pending.

[Allweil 08] C. Allweil: Design und Implementierung einer Komponente zur automatischen und dynamischen Erweiterung von IBM DB2 Data Server Clustern. Diplomarbeit, HTWG Konstanz, 2008.

[IBM]: IBM Corp.: DB2 9 for Linux, UNIX and Windows – Manuals. <http://www-1.ibm.com/support/docview.wss?rs=71&uid=swg27009552>

[Lightstone et al. 06] S. Lightstone, G.M. Lohman, P.J. Haas, V. Markl, J. Rao, A.J. Storm, M. Surendra, D.C. Zilio: Making DB2 Products Self-Managing: Strategies and Experiences. IEEE Data Engineering Bulletin, Volume 29, Number 3, 2006.

[Rahm 94] E. Rahm: Mehrrechner-Datenbanksysteme - Grundlagen der verteilten und parallelen Datenbankverarbeitung, Addison-Wesley, 1994.



PROF. DR.-ING.

GUNTER VOIGT

Promotion über Hochspannungsleistungsschal-

ter an der RWTH Aachen. Technischer Leiter bei Haefely Trench AG, Basel bis 1998, danach Vertriebsleiter HIGHVOLT Prüftechnik, Dresden. Seit 1999 Professor an der HTWG Konstanz. Arbeitsgebiete: Hochspannungstechnik, EMV, Energieübertragung.

Die regionale und innerstädtische Verteilung von elektrischer Energie erfolgt in Netzen, die im Bereich der sogenannten Mittelspannung betrieben werden. Dies sind in Deutschland vor Allem Netze mit der Nennspannung 20kV oder 10kV. Die Betriebsmittel, wie Kabel, Transformatoren oder Schaltanlagen unterliegen Alterungsprozessen, die die Betriebssicherheit herabsetzen können. Es existieren diagnostische Verfahren, die Rückschlüsse auf die Betriebssicherheit ermöglichen.

Der folgende Beitrag gibt Auszüge wieder aus einer Veröffentlichung im Rahmen des Stuttgarter Hochspannungssymposiums 2008 wieder. [Voi, 2008]

1 EINFÜHRUNG

In der Isolationskoordination gilt die allgemeine Forderung, Isolationen mit der Beanspruchung zu prüfen, mit denen sie auch im Betrieb beansprucht werden. Diagnostische Verfahren dagegen sind vergleichsweise frei in der Beanspruchung der Isolation, solange durch das Verfahren die Isolation nicht unzulässig geschädigt wird und ein diagnostischer Befund mit hinreichendem Erkenntnisgewinn ermöglicht ist.

Wechselspannungsprüfungen zur Diagnose von Betriebsmitteln benötigen je nach Kapazität einen erheblichen Bedarf an kapazitiver Blindleistung. Dieser kann deutlich reduziert werden, indem bei gegenüber der Nennbetriebsfrequenz erniedrigter Wechselspannungsfrequenz geprüft wird. Heute werden Systeme (Niedrigstfrequenzprüfung, Very Low Frequency VLF) typischerweise bei Frequenzen von 0,1 Hz betrieben, aber auch im Bereich 0,01 Hz bis 1 Hz. Historisch gesehen entwickelten sich diese Systeme aus Verfahren der reinen Gleichspannungsprüfung, nachdem insbesondere bei PE/VPE isolierten Kabeln mit DC Prüfungen keine sinnvollen Ergebnisse erzielbar waren und hohe DC Spannungen

bei diesen Isolationen als Risiko behaftet galten. Zunächst als reine Stehspannungssysteme eingesetzt, wurden auch für VLF Prüfsysteme diagnostische Verfahren eingesetzt, zur globalen und lokalen Zustandsbewertung (Verlustfaktor $\tan \delta$ und Teilentladungsmessung TE). Für unterschiedliche Betriebsmittel und Isolierwerkstoffe liegen unterschiedliche Erfahrungen vor.

Hier sollen einige Grundlagen vor Allem zur $\tan \delta$ Messung bei VLF und Betriebserfahrungen zur $\tan \delta$ Messung und TE Messung dargelegt werden.

Häufig diskutiert werden die Vergleichbarkeit von Messergebnissen bei Diagnose mit 50 Hz und VLF. Auf diesen Vergleich wird eingegangen.

Die Möglichkeiten und Einschränkungen der Diagnose bei VLF Spannungen ergeben sich auch wesentlich durch die eingesetzten Isolierwerkstoffe und die geometrischen Aufbauten der Isolation. Im Wesentlichen eingegangen werden soll hier auf die Prüfung und Diagnose von

- Mittelspannungskabeln
- Transformatoren
- Generatoren

Andere Verfahren zu Stehspannungsprüfung und Diagnose werden a.a.O. beschrieben.

2 VERLUSTFAKTORMESSUNG

Die Messung des Verlustfaktors ist ein makroskopisches integrales Verfahren zunächst ohne Berücksichtigung des Aufbaus der Isolation und der verwendeten Isolationswerkstoffe. Das Verhältnis von aufgenommener Wirkleistung P eines Prüflings zur kapazitiven Blindleistung Q wird bei Anregung mit einer sinusförmigen Spannung ermittelt:

$$\tan \delta = \frac{P}{Q}$$

Ein einfachstes lineares Modell einer Isolation bestehend aus der Parallelschaltung einer idealen Kapazität und eines linearen Verlustwiderstands ergibt für den Verlustfaktor aufgrund der Leitfähigkeit.

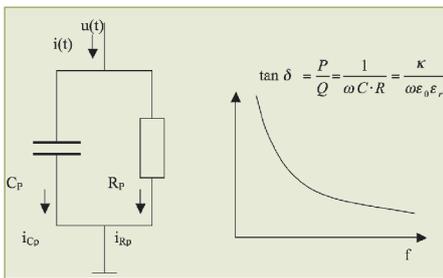


ABB. 1: VEREINFACHTES ERSATZSCHALTBILD EINER ISOLATION / $\tan \delta_L(f)$ (κ_{DC} : DC LEITFÄHIGKEIT)

$$\tan \delta = \frac{P}{Q} = \frac{1}{\omega C \cdot R}$$

Bei Beschreibung einer Isolation durch ein solches Ersatzschaltbild ergäbe sich bei einer VLF Prüfung bei identischem Prüfling ein um den Faktor 500 höherer Wert für den Verlustfaktor $\tan \delta$! Der Verlustfaktor wird also bei einer VLF Prüfung nicht gleich dem einer 50 Hz Prüfung sein, müsste noch nicht einmal zwingend die gleiche Größenordnung haben.

Tatsächlich werden zum Beispiel für VPE isolierte Mittelspannungskabel jedoch durchaus vergleichbare Werte für den Verlustfaktor bei 50 Hz und 0,1 Hz angegeben:

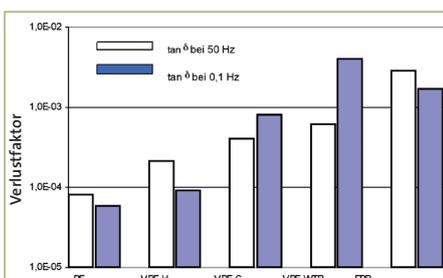


ABB. 2: VERLUSTFAKTOR VON NEUEN POLYMER ISOLIERTEN MITTELSPANNUNGSKABELN BEI 0,1 HZ UND BEI 50 HZ (H: HOMOPOLYMER, C: COPOLYMER, WTR: WATER TREE RETARDANT) [Kus, 1995]

Messungen an anderen Isolationssystemen bestätigen, dass das vereinfachte Ersatzschaltbild nach Abb. 1 die Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors in keiner Weise beschreiben kann. Ursachen für die erhebliche Abweichung sind unterschiedliche Polarisationsvorgänge und Nichtlinearitäten.

Polarisationsvorgänge, die das Verhalten im hier betrachteten Frequenzspektrum wesentlich beeinflussen, sind:

- A: Orientierungs-, Ionen- und Elektronenpolarisation
- B: Grenzflächen-, Raumladungs- oder Volumenpolarisation

Beide Polarisationsgruppen bestimmen sowohl die Verlustleistung als auch die Dielektrizitätskonstante des Isolierstoffs:

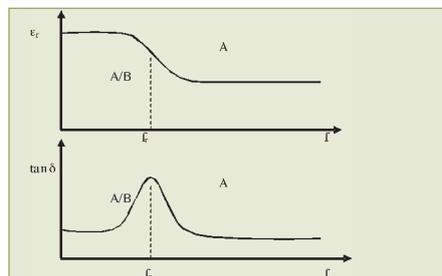


ABB. 3: ÜBERGANG VON ANFANGSDIELEKTRIZITÄTSZAHL (A) ZU GRENZFLÄCHENBEHAFTETER POLARISATION (A/B)

Die Übergangs- oder Resonanzfrequenz f_r wird ja nach Werkstoff angegeben im Bereich von 100 mHz bis einige 10 Hz. Im Bereich dieses Übergangs überlagern sich die Verlustanteile und damit die Anteile an einem gesamten Verlustfaktor für die Isolation nach Abb. 2 und Abb. 3:

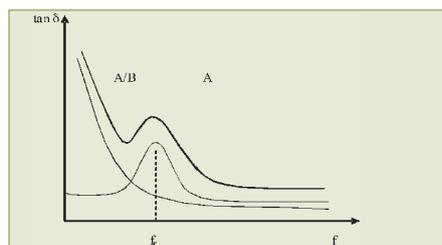


ABB. 4: RESULTIERENDER VERLUSTFAKTOR

Damit ergeben sich je nach Leitfähigkeit des Isolierwerkstoffs und in Abhängigkeit der Übergangsfrequenz f_r unterschiedliche Verhältnisse für $\tan \delta_{50 \text{ Hz}} / \tan \delta_{0,1 \text{ Hz}}$.

Bei den angegebenen Übergangsfrequenzen kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Frequenz von 0,1 Hz bei der Messung des $\tan \delta$ Grenzflächenpolarisation und Leitungsvorgänge überwiegen, während bei Netzfrequenz von 50 Hz eher Orientierungs-, Ionen- und Elektronenpolarisation maßgebend sind. Bei einem konkreten Isolationsmaterial kann der Einfluss der Grenzflächenpolarisation deutlich unterschiedlich ausgeprägt sein durch Schädigungen oder Veränderungen wie zum Beispiel dem Feuchtegehalt. Im Folgenden ist dieser Einfluss beschrieben für die Isolation von Statorstäben in einem Synchrongenerator. Auffallend ist hierbei eine deutlichere Selektivität im $\tan \delta$ bei 0,1 Hz gegenüber 50 Hz aufgrund des Maximums der Verluste aufgrund des Einsetzens der Grenzflächenpolarisation.

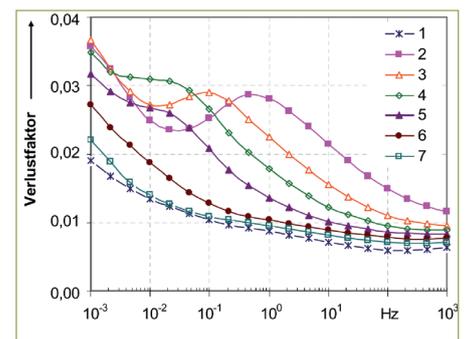


ABB. 5: $\tan \delta(f)$ FÜR GENERATORSTÄBE MIT UNTERSCHIEDLICHEN FEUCHTEGEHALT (1: NEUZUSTAND, 2-7: HOHE FEUCHTE MIT ZUNEHMENDER TROCKNUNG) [FAR, 2006]

2.1 ERFAHRUNGEN MIT VLF $\tan \delta$ MESSUNGEN AN KABELSYSTEMEN

VLF Prüfungen wurden ursprünglich entworfen, um vor Allem Kabelstrecken zu prüfen. Aufgrund von großen Ausfallraten von VPE Kabeln der ersten Generation wurden

Grenzwerte für homopolymere PE- und VPE-Kabel	Grenzwerte für TGL-PE-Kabel
Kabel nicht watertree geschädigt: * $\tan \delta (2xU_0) < 1,2 \times 10^{-3}$ und * $\tan \delta (2xU_0) - \tan \delta (U_0) < 0,6 \times 10^{-3}$	Kabel nicht watertree geschädigt: * $\tan \delta (2xU_0) < 0,4 \times 10^{-3}$ und * $\tan \delta (2xU_0) - \tan \delta (U_0) < 0,3 \times 10^{-3}$
Kabel mit sehr hohem Betriebsrisiko: ** $\tan \delta (2xU_0) > 2,2 \times 10^{-3}$ oder ** $\tan \delta (2xU_0) - \tan \delta (U_0) > 1 \times 10^{-3}$	Kabel mit sehr hohem Betriebsrisiko: ** $\tan \delta (2xU_0) > 0,9 \times 10^{-3}$ oder ** $\tan \delta (2xU_0) - \tan \delta (U_0) > 0,5 \times 10^{-3}$
* Zur Abdeckung lokaler Schwachstellen wird eine TE-Messung bzw. zusätzliche Prüfung mit 3 U_0 empfohlen.	
** Schnellstmöglicher Austausch des Kabels oder eines Kabelabschnittes wird empfohlen.	

Abb. 6: GRENZWERTE FÜR VERLUSTFAKTOREN BEI 0,1 Hz TAN δ -MESSUNGEN AN VPE KABELN [BAUR, 2006]

intensive Forschungsarbeiten zur Diagnose unter Nutzung von VLF Systemen durchgeführt. (u.a. [Kus, 1995], [Kus, 1999]) Ausgehend von diesen Untersuchungen wurden Grenzwerte für zulässige $\tan \delta$ Werte und Gefährungsgrade ermittelt, die heute mit Erfolg eingesetzt werden.

Das Verfahren der VLF $\tan \delta$ Diagnosemessungen an VPE isolierten Kabeln hat sich insbesondere zur Überprüfung der Gefährdung durch Watertrees bewährt. Das Verfahren wird auch eingesetzt bei der Diagnose von Massekabeln, wobei hier referenzierbare Grenzwerte nicht vorliegen und im Allgemeinen Vergleiche von Messungen paralleler Phasen zueinander zu einer Bewertung herangezogen werden. VPE Kabel der neuen Generation mit copolymerer VPE Isolierung zeigen im Vergleich mit den gut dokumentierten Kabeln mit homopolymerer VPE Isolierung insbesondere im Neuzustand einen deutlich abweichenden Wert des $\tan \delta$ auf. Dieser liegt aufgrund der Vernetzungsspaltprodukte deutlich höher. Mit der Zeit diffundieren diese aus dem Kabel heraus und der $\tan \delta$ sinkt damit mit der Betriebsdauer ab. [Kus, 1999/2], [And, 2006].

2.2 ERFAHRUNGEN MIT VLF TAN δ MESSUNGEN AN TRANSFORMATORISOLATIONEN

Grundsätzliche Fragen zu Transformatorisolationen und deren spezifische Diagno-

semöglichkeiten sind in anderen Beiträgen beschrieben. VLF Messungen zur Diagnose insbesondere mit dem Ziel des Messens des Verlustfaktors $\tan \delta$ sind denkbar. Dabei stellen Transformatoren aufgrund des komplexen geometrischen Aufbaus und der Schichtung von verschiedenen Isoliermaterialien eine deutlich schwierigere Aufgabe zur Bewertung der Ergebnisse dar. Bedeutend sind bei dem Aufbau die deutlich unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten und spezifischen Leitfähigkeiten der verwendeten Isolierstoffe und insbesondere die Temperaturabhängigkeit der Feuchtigkeitsverteilung in Zellulose und Öl, die sich noch dazu nur mit großen Zeitkonstanten ausgleichen können.

Messungen an der Universität Stuttgart zeigen, dass sich bei gleicher Feuchtigkeit in der Zellulose unterschiedliche Verläufe im Verlustfaktor ergeben und daher das Resultat der Verlustfaktormessung aus der Ölleitfähigkeit und nicht aus der Feuchtigkeit in der Zellulose oder aus einem eventuellen Depolarisationsgrad der Zellulose ergeben. [Voi, 2008] VLF-Prüfung und -Diagnose an Transformatoren scheint daher aufgrund der im Allgemeinen nicht bekannten inneren Geometrie der Isolation nur bedingt geeignet, alle Zustandsvariablen einer komplizierten Isolationsanordnung wie in einem Transformator zu erfassen.

2.3 ERFAHRUNGEN MIT VLF TAN δ MESSUNGEN AN GENERATORISOLATIONEN

Synchrongeneratoren stellen ähnlich hohe Anforderungen an die kapazitive Prüfleistung vor Ort wie Kabelstrecken. Hoher Transportaufwand für Prüf- und Diagnostik mit Netzfrequenz legen auch hier nahe, Messungen mit VLF Prüftechnik durchzuführen. Entsprechende Untersuchungen zu Reproduzierbarkeit von Ergebnissen und zur Vergleichbarkeit von Messergebnissen werden durchgeführt. Beispielhafte bereits bekannte Ergebnisse sind Abb. 5 und im Folgenden dargestellt:

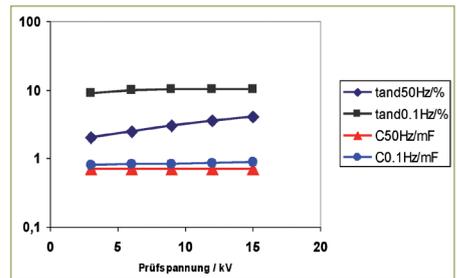


Abb. 7: VERLUSTFAKTOR UND KAPAZITÄT EINES NEUEN HYDROGENERATORS BEI 50 Hz UND VLF 0,1 Hz [Gof, 1999]

Als Ursache für die höheren Werte des $\tan \delta$ bei 50 Hz wird in [Gof] die bei diesem speziellen Test noch sehr neue Isolation angegeben, die aufgrund der unvollständigen Aushärtung eine höhere Beweglichkeit polarisierbarer Anteile enthält und entsprechend höhere Verluste bei höherer Frequenz aufweist.

Im Bereich des Prüfens und der Diagnose mit VLF wären auch an Generatoren weitere umfangreiche Untersuchungen nötig. Umfangreiche Voruntersuchungen im Labor zu Fragen der Reproduzierbarkeit und der Signifikanz im Erkennen und Bewerten von Isolationszuständen sowie der Ermittlung von Restfestigkeiten von Isolationen in Korrelation zu den Diagnosemessungen sind durchzuführen. Entsprechende Korrelationsdatenbanken sind aufzubauen. Insbesondere für VPE Kabel (homopolymer)

wurde dies für verschiedene Verfahren sehr systematisch durchgeführt. Bei Generatoren ist hier eine besondere Vorgehensweise zu entwickeln, da in der Regel keine Prüflinge für zerstörende Prüfungen zur Verfügung stehen.

VLF Prüfsysteme stellen in der Regel neben in Kurvenform einstellbaren periodischen Spannungen im gleichen Gerät die Möglichkeit zur Durchführung von DC Prüfungen zur Verfügung. Dies ist bei der Prüfung von Generatoren von Vorteil, da tatsächlich die Prüfung mit hoher Gleichspannung und zum Beispiel die Ermittlung des Polarisationsindex hieraus heute eine häufig eingesetzte und damit wesentliche Diagnosemessung an Generatoren ist.

3 TEILENTLADUNGSMESSUNG

Teilentladungen TE in Isolationen können im Wesentlichen charakterisiert werden durch Spannungsproportionale TE Intensität und Feldstärkeproportionale TE Einsatzspannung. Je nach Art der Fehlstelle können sich die Feldstärke an der Fehlstelle und damit die Entscheidung, ob überhaupt eine Teilentladung einsetzt, proportional zur angelegten Spannung selbst oder zur Steilheit der angelegten Spannung du/dt ausbilden. Für alle Effekte, die eine rein du/dt proportionale Feldstärkeverteilungen

bewirken, sollte ein Teilentladung an der entsprechenden Fehlstelle bei Prüfung mit 0,1 Hz deutlich später einsetzen als bei einer Prüfung mit 50 Hz. Tatsächlich sind ja in polymeren Isolationen unterschiedliche Wachstumsgeschwindigkeit und Form des electrical Treeings bekannt. Teilentladungen bei VLF Prüfspannungen und bei Netzfrequenz sind also sogar makroskopisch unterschiedlich und werden sich also unterschiedlich messtechnisch ausbilden.

Verschiedene Autoren (u.a. [Col, 2002], [Muh, 2001], [Pep, 1997], [Pep, 1998], [Sch, 1996], [Voi, 2002]) haben vor Allem im Hinblick auf die TE Prüfung von Kabeln an Modellanordnungen und realen Prüflingen entsprechende Messungen durchgeführt und Vergleiche zusammengestellt. Dabei ergeben sich insbesondere an Modellanordnungen tatsächlich erkennbare Unterschiede. Messungen an betriebsgealterten Kabeln, an neuen Kabeln mit unterschiedlichen künstlichen Defekten oder Kabeln mit bewusst eingebauten Fehlern in Muffen oder Endverschlüssen ergaben dagegen in der Einsatzspannung nur geringfügige Unterschiede. Die Intensität der Impulse selbst kann von Fehler zu Fehler in Abhängigkeit von der Frequenz deutliche Unterschiede aufweisen.

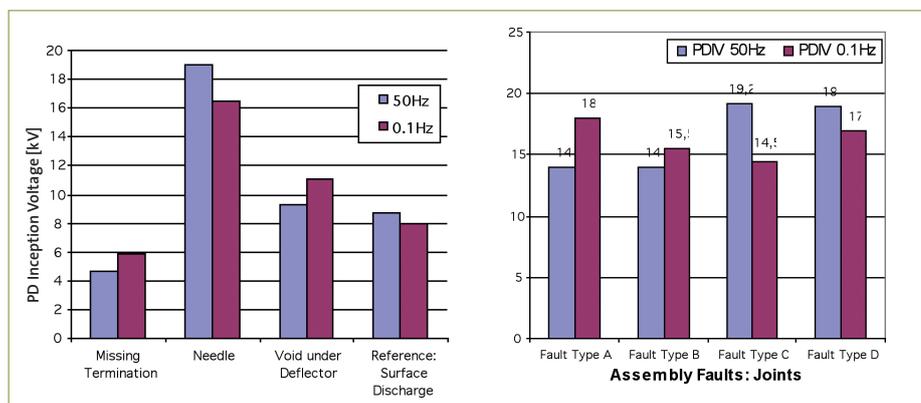


ABB. 9: VERGLEICH VON TE EINSETZSPANNUNGEN UNTERSCHIEDLICHER FEHLSTELLEN [RET, 2007]

Teilentladungseinsetzspannung $U_{i,0.1Hz}$			
$U_{i,50Hz} \approx$	0.5	$U_{i,0.1Hz}$	[Sch, 1996]
$U_{i,50Hz} \approx$	0.8	$U_{i,0.1Hz}$	[Pep, 1997]
$U_{i,50Hz} \approx$	0.9	$U_{i,0.1Hz}$	[Muh, 2001]
$U_{i,50Hz} \approx$	0.7 - 0.4	$U_{i,0.1Hz}$	[Col, 2001]
$U_{i,50Hz} \approx$	0.9	$U_{i,0.1Hz}$	[Voi, 2003]

ABB. 8: TE EINSETZSPANNUNG BEI VLF 0,1Hz IM VERGLEICH ZU 50 Hz

Ein weiterer erkennbarer Unterschied bei der Messung von TE bei unterschiedlichen Frequenzen ist die Anzahl der Entladungen pro Zeiteinheit. Hier ergeben sich tatsächlich deutliche Unterschiede je nach Art der Fehlstelle. Es können sowohl eine vergleichbare Anzahl Entladungen pro Zeiteinheit als auch eine vergleichbare Anzahl von Entladungen pro Periode der Prüfspannung auftreten. Daher sind phasenaufgelöste Muster von Entladungserscheinungen nicht unbedingt identisch bei VLF und 50 Hz. Für Isolationen mit gleichmäßiger Verteilung von kleinen Hohlräumen ergeben sich beispielsweise durchaus vergleichbare Muster, wenn über eine gleiche Anzahl Perioden aufgezeichnet wird.

Für die Diagnose an Kabeln und in Kabelsystemen ist in der Regel nicht unbedingt der Teilentladungspegel oder die Teilentladungsanzahl von entscheidender Bedeutung. Wichtig ist, dass eine zu detektierende Fehlstelle eine Folge signifikanter repetierender Entladungsimpulse generiert, um durch Laufzeitverfahren eine Lokalisierung der Fehlstelle zu ermöglichen. Dies ist für VLF Systeme mit TE Messung ebenso möglich wie mit anderen Systemen, die eben eine ausreichende Anzahl von Entladungen generiert. Von dieser grundsätzlichen Überlegung ausgenommen sind Fragen von verwendeter TE Messtechnik, Empfindlichkeit und Störbeeinflussung. Detaillierte vergleichende Bewertungen von entsprechenden Systemen sind zum Beispiel in [Bor, 2007], [Col, 2002] und [Kal, 1997] beschrieben.

Erste Messungen von Teilentladungen an Maschinenisolationen haben eine Vergleichbarkeit von VLF zu 50 Hz der TE Impulse pro Periode sowie von Einsetzspannung und Pegel gezeigt.

4 ZUSAMMENFASSUNG

- VLF Prüfsysteme sind auf dem Markt gut eingeführt. Spezifische Fehler in Isolationssystemen lassen sich im Bereich von 0,1 Hz Prüfspannung aufgrund von besonderer Ausprägung der Grenzflächenpolarisierung besser detektieren als bei 50 Hz.
- Der Verlustfaktor ist im Bereich von VLF bis zur Nennbetriebsfrequenz deutlich frequenzabhängig. Wird daher der Verlustfaktor zur Bewertung einer Isolation herangezogen, sollte der Wert nur bei einer festen Frequenz ermittelt werden. Eine Korrektur von leicht von diesen Frequenzen abweichenden Messpunkten ist nur bei genauer Kenntnis der Frequenzabhängigkeit möglich.
- Teilentladungsmessungen sind mit VLF Systemen möglich und werden im Moment vor Allem zur Fehlstellenlokalisierung in Kabelsystemen eingesetzt.
- VLF Prüfungen haben Potential auch in der Generatorprüfung zum Einsatz zu kommen.
- VLF Diagnose an ölisierten Transformatoren erscheint nicht aussagekräftig.

5 LITERATUR

[And, 2006] Andrews, T., Hamton, R.N., Smedberg, A., Wald, D., Waschk, V., Weisenberg, W.: The role of degassing in XLPE power cable manufacture, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 22 No. 6, Nov./Dec. 2006

[Bau; 2006] BAUR: Diagnosemessungen an Mittelspannungskabelstrecken eines ostdeutschen Energieversorgungsunternehmens, Firma BAUR, internes Papier, 2006

[Bor, 2007] Borneburg, D., Amen, U., Merschel, F., Kliesch, M., Diefenbach, I., Keller, M.: Vergleich verfügbarer Messverfahren zur TE- Messung an Masse-/ VPE- isolierten Mittelspannungskabeln, ew Jg. 106, 2007, Heft 27

[Col, 2002] Colloca, V, Fara, A., Nigris, M. de, Rizzi, G.: Comparison among different diagnostic systems for medium voltage cable lines, CIRED 2002, Amsterdam

[Far, 2005] Farahani, M.S.: Zustandsbewertung eines Isoliersystems für rotierende Hochspannungsmaschinen mit elektrischen und dielektrischen Messverfahren, Dissertation, Universität Hannover, 2005

[Gof, 1999] Goffaux, R., Fruth, B., Greffe, T., Farr, T.: Diagnosis of generator and motor insulation systems, LABEIN, VII. Electrical Insulation Conference, Bilbao, 1999

[Kal, 1997] Kalkner, W., Krage, I., Plath, R.: Vergleich von Diagnosesystemen zur Beurteilung des Alterungszustandes PE/VPE isolierter Mittelspannungskabel, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 96, 1997, Heft 20

[Kus, 1995] Kuschel, M., Plath, R., Kalkner, W.: Dissipation factor measurement at 0.1 Hz as a diagnostic tool for service-aged XLPE-insulated medium voltage cables, 9.th ISH, Graz, 1995, paper 5616

[Kus, 1999] Kuschel, M: Diagnose des Alterungszustandes von PE/VPE- isolierten Kabeln mittels Verlustfaktormessung bei Niedrigstfrequenz (VLF) und Depolarisationsstrom- bzw. Rückkehrspannungsmessung, Dissertation, TU Berlin, 1999

[Kus, 1999/2] Kuschel, M., Kumm, T., Kalkner, W.: Vergleich der ‚dielektrischen Antwort‘ von laborgealterten VPE-Homo- und Copolymer-isolierten Mittelspannungskabeln, VDE ETG Fachtagung, Bad Nauheim 1999

[Muh, 2001] Muhr, M., Sumereder, Woschitz: 0.1 Hz cable testing method as substitution to 50 Hz measurement and the application for PD measuring and cable fault location, 12 th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), Bangalore, IND, 2001

[Pep, 1997] Pepper, D., Kalkner, W., PD-

measurements on typical defects on XLPE-insulated cables at variable frequencies, 10 th ISH, Montreal, CDN, 1997

[Pep, 1998] Pepper, D., Kalkner, W., PD-pattern of defects in XLPE- Cable insulation at different test voltage shapes, 11 th ISH, London, GB, 1999

[Ret, 2007] Rethmeier, K., Mohaupt, P., Bergmann, V., Kalkner, W., Voigt, G.: New studies on PD measurements on MV cable systems at 50 Hz and sinusoidal 0.1 Hz (VLF) test voltage, CIRED 2007, Wien

[Sch, 1996] Schiller: Das Durchschlagverhalten von vernetztem Polyethylen (VPE) bei unterschiedlichen Spannungsformen und Vorbeanspruchungen, Dissertation, TU Hannover, 1996

[Voi, 2002] Voigt, G.: Teilentladungsmessungen bei variablen Prüfspannungsfrequenzen, VDE ETG Fachtagung, Berlin, 2002

[Voi, 2003] Voigt, G., Mohaupt, P.: Partial discharge measurements on service aged medium voltage cables at different frequencies, JICABLE 2003, Paris

[Voi, 2008] Voigt, G., Tenbohlen, S.: Tan Delta Messungen und Teilentladungsdiagnose bei VLF Prüfspannungen, Stuttgarter Hochspannungssymposium 2008, Stuttgart

Biodiesel - die saubere Alternative

Umwelt schonen, Gewässer schützen!



Biodiesel – auch auf dem Wasser eine saubere Alternative. Mehr Informationen zu diesem Thema unter www.ufop.de

Lisa weggelaufen und Nachbar parkt wieder falsch.
Was mir bleibt ist der Ökostrom der Stadtwerke
mit der Preisgarantie

Sauberer Haushalt –
mit **BEST** Strom
meiner Stadtwerke
Konstanz



Mehr als Energie - wir tun was für die Region
Ökostrom mit Preisgarantie

www.stadtwerke.konstanz.de

STADTWERKE
KONSTANZ



Fördergesellschaft der Hochschule Konstanz e.V.

// In Kontakt bleiben
// Netzwerke bilden
// Studierende fördern

Die Fördergesellschaft der Hochschule Konstanz unterstützt mit Beiträgen und Spenden die Arbeit der Hochschule in Lehre und Forschung.

Immer unter der Maßgabe Lernerfolge zu ermöglichen, Absolventen den Weg in den Beruf zu bahnen, Kontakte zu pflegen und ein starkes Netzwerk von Partnern zu schaffen.

Damit ist die Fördergesellschaft ein gutes Forum für alle, die ihre Beziehung zur HTWG auf sicheren Boden stellen wollen.



Jahresbeiträge

Studierende ab 5 Euro
Einzelmitglieder ab 30 Euro
Firmen und Fachverbände ab 100 Euro

Geschäftsstelle

Hochschule Konstanz (HTWG)
Herr Lars Hüning
Brauneggerstraße 55, 78462 Konstanz

Tel. + 49 7531 206 432
Fax + 49 7531 206 87 432
lars.huening@htwg-konstanz.de

APEN - FREQUENZUMRICHTER IN DER LUFTFAHRT

Jürgen Engstler, Manfred Gekeler und Robert Werner



*DIPL.-ING. JÜRGEN
ENGSTLER arbeitet bei
Liebherr Elektronik GmbH
als Gruppenleiter*

*Leistungselektronik in der Abteilung
Vorentwicklung/Forschung.*



*PROF. DR.-ING. MANFRED
GEKELER vertritt an
der HTWG Konstanz die
Fachgebiete Leistungs-*

*elektronik und elektrische Antriebstechnik
in Forschung und Lehre.*



*DIPL.-ING. (FH) ROBERT
WERNER studierte
Industrieelektronik, Fach-*

*richtung Automatisierungstechnik, an der Hochschule Ulm.
Im Rahmen seiner Diplomarbeit bei
der Firma Liebherr Elektronik entwickelte
und fertigte er eine Wechselrichter-*

*topologie, basierend auf einem passiven
Entlastungsnetzwerk.*

Aktuelle Herausforderungen an die Luftfahrtindustrie führen seit einigen Jahren zur vermehrten Substitution von hydraulischen und mechanischen Systemen durch elektrische Antriebstechnik. Die Anforderungen unterscheiden sich jedoch signifikant von denen bei industriellen Konzepten und Lösungen. Das an der HTWG bereits vor einigen Jahren entwickelte Frequenzumrichterkonzept APEN weist bereits wesentliche der geforderten Eigenschaften auf. Eine bei Liebherr Elektronik GmbH im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführte Untersuchung und Weiterentwicklung zeigt, dass die APEN - Topologie geeignet ist, die Anforderungen der Luftfahrt zu erfüllen.

1 HERAUSFORDERUNGEN AN DIE LUFTFAHRTINDUSTRIE

Der Druck auf die Luftfahrtindustrie, die Effizienz der Luftfahrzeuge aus ökologischen und politischen Gründen signifikant zu steigern, wird immer größer. Zusätzlich sorgen neue Firmen aus sog. Schwellenländern wie China, Indien, Brasilien und Russland in den letzten Jahren für zunehmenden Konkurrenzdruck im Flugzeugmarkt.

Damit Hersteller wie Airbus und Boeing, die in Hochlohnländern einen hohen Anteil an Produktionskapazität haben, am Markt bestehen können, müssen sie kontinuierlich ihren technischen Vorsprung ausbauen, um Alleinstellungsmerkmale zu den neu aufkommenden Konkurrenten weiterhin zu behaupten.

Wesentliches Argument für die Anschaffung neuer Flugzeuge sind neben den eigentlichen Anschaffungskosten die Betriebskosten und die Wartungskosten. D.h. sie müssen weniger Kraftstoff verbrauchen und längere Wartungsintervalle erlauben, bzw. der Umfang der Wartung ist zu reduzieren. Die höheren Anschaffungskosten

amortisieren sich dann nach kurzer Zeit durch niedrigere laufende Kosten.

Die Luftfahrtindustrie steht dabei vor der Herausforderung, dass bekannte mechanische Lösungen - beispielsweise hydraulische Flugklappensteuerungen, Pumpen für die Kabinenbedruckung oder Klimakompressoren, die mit sog. bleed air (Zapfluft aus dem Triebwerk) angetrieben werden - einen hohen technischen Reifegrad besitzen. Quantensprünge hinsichtlich Wirkungsgrad, Gewicht und Zuverlässigkeit sind nicht mehr zu erwarten. Andererseits werden die Wartungsintervalle durch die begrenzte Zuverlässigkeit der mechanischen Komponenten bestimmt.

2 ELEKTRISCHE ANTRIEBE IN DER LUFTFAHRT

Seit ca. 5-6 Jahren setzt die Luftfahrtindustrie nun auf elektrische Antriebstechnik, welche den Anteil der hydraulischen und mechanischen Systeme noch weiter reduziert. Bei diesen Antrieben werden ausschließlich wartungsarme Drehfeldmaschinen, also Asynchronmotoren oder Permanentmagnet-Synchronmotoren eingesetzt. Sie müssen drehzahlverstellbar sein, weshalb sie nicht direkt ans elektrische Bordnetz angeschlossen werden können, sondern über Frequenzumrichter betrieben werden müssen.

3 FREQUENZUMRICHTER

In der industriellen Automatisierungstechnik finden drehzahlveränderbare elektrische Antriebe breite Anwendung. Im Leistungsbereich ab einigen Hundert Watt werden auch hier überwiegend Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren (ASM) oder Permanentmagnet-Synchronmotoren (PMSM) eingesetzt. Zur Drehzahlverstellung werden sie über Frequenzumrichter



ABB. 1: STANDARD - FREQUENZUMRICHTER (LINKS) UND DREHSTROMMOTOR (RECHTS)

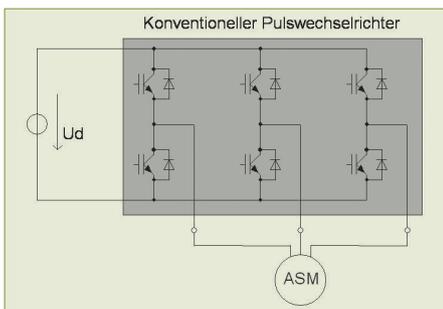


ABB. 2: PRINZIPSCHALTBIOD EINES KONVENTIONELLEN PULSWECHSELRICHTERS; U_d : ZWISCHENKREISGLEICHSPANNUNG; ASM: ASYNCHRONMOTOR

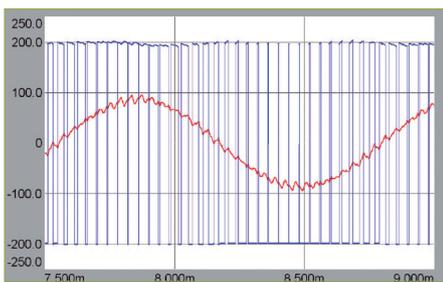


ABB. 3: GEPULSTE AUSGANGSSPANNUNG (BLAU) EINES PWR UND ZUGEHÖRIGER MOTORSTROM (ROT)

mit Gleichspannungszwischenkreis, so genannte U-Umrichter, gespeist.

Diese Geräte erzeugen aus dem speisenden Netz, z.B. dem Drehstromnetz, zunächst eine sogenannte Zwischenkreisgleichspannung U_d , die als näherungsweise konstant betrachtet werden kann. Aus dieser Gleichspannung wird dann mittels eines so genannten Pulswechselrichters (PWR) wieder

ein neues, synthetisches Drehstromsystem erzeugt, bei dem jetzt aber Amplitude und Frequenz der erzeugten Spannungen verstellbar sind. Ein häufiger Sonderfall sind sinusförmige Stromverläufe mit frei einstellbarer Frequenz und Amplitude. Über die Frequenz ist die Drehzahl der Motoren verstellbar. Bei hochwertig geregelten Antrieben können zusätzlich mittels Regelkreisen die Zeitverläufe der Motorströme beliebig vorgegeben werden.

Abb. 1 zeigt ein solches Antriebssystem, bestehend aus einem Standard-Frequenzumrichter und einem Drehstrommotor, Abb. 2 das Prinzipschaltbild des Pulswechselrichters. In der konventionellen Ausführung besteht dieser aus sechs Leistungstransistoren mit antiparallelen Dioden. Als Leistungstransistoren werden häufig die so genannten IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor) eingesetzt. Sie dienen als elektronische Schalter. Diese werden mit Schaltfrequenzen von meist 4 bis 8 kHz (bei Geräten kleiner Leistung bis 16 kHz) derart ein- und ausgeschaltet, dass am Ausgang des PWR ein gepulstes Spannungssystem entsteht und in der Ständerwicklung des Drehstrommotors Ströme mit einem weitgehend sinusförmigen Zeitverlauf fließen (Abb. 3).

Dabei treten in den Transistoren und Dioden jedoch die so genannten Schaltverluste auf. Diese entstehen dadurch, dass während des Ein- bzw. Ausschaltvorgangs gleichzeitig hohe Spannungen anliegen und große Ströme fließen [1]. Zwar ist die Zeitdauer dafür nur kurz - ca. 0,1 bis 1 Mikrosekunde -, der Momentanwert der Verlustleistung (Strom mal Spannung) erreicht jedoch extreme Werte. Man spricht von „hartem“ Schalten (engl. Hard Switching).

Abb. 4 zeigt dies beispielhaft für einen Einschaltvorgang eines Laststroms von 75 A. Mit dem Wechsel der Steuerspannung (CH4: grün) von -10 V auf ca. +12 V wird der IGBT eingeschaltet. Der Strom (CH3: blau)

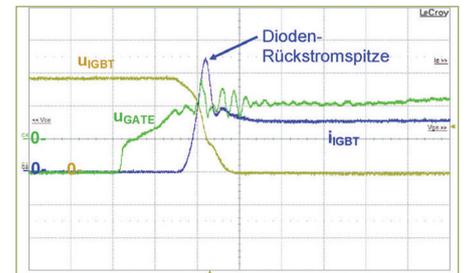


ABB. 4: ZEITVERLÄUFE VON STEUERSPANNUNG U_{GATE} (GRÜN; 10 V/DIV.), KOLLEKTOR-EMITTERSPANNUNG U_{IGBT} (GELB-GRÜN; 200 V/DIV.) UND KOLLEKTORSTROM I_{IGBT} (BLAU; 50 A/DIV.) BEIM „HARTEN“ EINSCHALTEN EINES LEISTUNGSTRANSISTORS. ZEITBASIS: 200 ns/DIV.

beginnt anzusteigen, zeigt eine deutliche Überstromspitze und nimmt dann den Wert des Laststroms 75 A an. Die Spannung am IGBT (CH1: gelbgrün) nimmt von ca. 550 V auf rund Null ab. Für eine Zeitdauer von ca. 200 ns weisen Spannung und Strom gleichzeitig hohe Werte auf. Der Spitzenwert der entstehenden Verlustleistung liegt bei ca. 40 Kilowatt. Bei jedem Schaltvorgang wird eine Energiemenge $E_{on} = 4,5 \text{ mJ}$ in Wärme umgesetzt. Multipliziert mit der Zahl der Schaltvorgänge je Sekunde ergeben sich daraus hohe Werte der mittleren Verlustleistung und damit der Erwärmung. Bei einer Schaltfrequenz von beispielsweise 25 kHz wären dies allein für die Einschaltverluste bereits 113 W. Hinzu kommen die Ausschaltverluste in vergleichbarer Größe.

Durch diese Schaltverluste werden die erreichbaren Leistungsdaten des Frequenzumrichters ganz erheblich begrenzt, insbesondere wenn hohe Werte der Schaltfrequenz gefordert sind.

4 SPEZIELLE ANFORDERUNGEN AN LUFTFAHRTAPPLIKATIONEN

Die aus der Industrie bekannten Konzepte und Lösungen sind nicht direkt für Luftfahrtanwendungen adaptierbar, da sich die Bedingungen teilweise signifikant un-

terscheiden [2], [3]. Beispiele wie erhöhte Anforderungen an den Temperaturbereich (bei zivilen Flugzeugen -55°C bis 85°C Umgebungstemperatur), Höhenanforderungen (Flughöhe bis 55000 ft entsprechend 16764 m), Ausfallsicherheit (hohe Anforderungen an die MTBF (Mean Time Between Failure) von Einzelkomponenten, Redundanz, Einsatz dissimilarer Systeme, zusätzliche Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen) oder auch andersartige Versorgungsnetze (3-phasige Wechselspannungsnetze mit Nennspannung 115 V und variabler Netzfrequenz 360 - 800 Hz) seien hier genannt. Da wenig Erfahrung mit Leistungselektronik und elektrischer Antriebstechnik in der Luftfahrt vorliegt, sind ein erheblicher Entwicklungsaufwand und zum Teil Grundlagenforschung notwendig.

Generell angestrebt werden ein niedriges Gewicht, ein hoher Wirkungsgrad und damit geringe abzuführende Wärme sowie ein hohes Maß an Elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV). Im Folgenden wird auf diese drei Anforderungen besonders eingegangen.

1. Zur Minimierung des Motorgewichtes werden in Luftfahrtapplikationen hochdrehende Permanentmagnet-Synchronmaschinen (PMSM) eingesetzt (z.B. 80.000 rpm bei Klimakompressoren). Grund dafür ist, dass bei einer vorgegebenen Motorleistung das Drehmoment umgekehrt proportional zur Drehzahl ist, und das Motorgewicht nicht von der Leistung, sondern vom Drehmoment abhängt. Mit hochdrehenden Motoren verringert man also das Motorgewicht.

2. Diese hochdrehenden PMSM haben jedoch besonders kleine Statorinduktivitäten. Um den störenden Oberschwingungsanteil (die Stromwelligkeit; s. Abb. 3) in den Motorströmen in zulässigen Grenzen zu halten, sind daher Wechselrichterschaltfrequenzen von deutlich über 20 kHz erforderlich. Da industrielle Frequenzumrich-

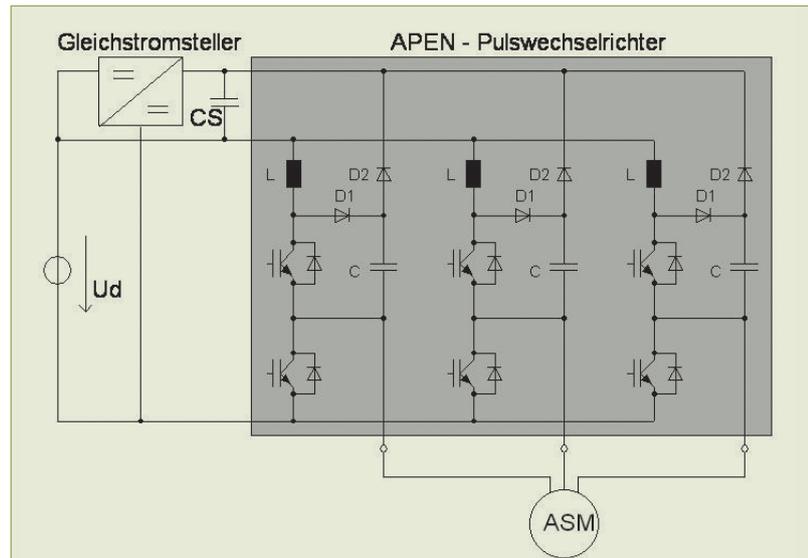


ABB. 5: PRINZIPSCHALTBIOD EINES PULSWECHSELRICHTERS MIT APEN (ASYMMETRISCHES PASSIVES ENTLASTUNGS- NETZWERK); UD, ASM: S. ABB. 2

ter im Regelfall mit Schaltfrequenzen von 4-8 kHz arbeiten, sind die am Markt erhältlichen IGBTs für Industrieapplikationen mit Schaltfrequenzen deutlich kleiner als 20 kHz optimiert, für hohe Werte der Schaltfrequenz also weniger geeignet.

Bei Schaltfrequenzen größer 20 kHz dominieren jedoch die Schaltverluste gegenüber den Durchlassverlusten. Der Wechselrichterwirkungsgrad sinkt von ca. 98% auf 96% und weniger, die Verlustleistung verdoppelt sich näherungsweise. In der Konsequenz müssen Mittel zur Wärmeabfuhr stärker ausgelegt werden, was wiederum mit einer unerwünschten Gewichtszunahme einhergeht.

3. Eine bekannte Maßnahme zur Verringerung der Schaltverluste besteht darin, die Leistungstristoren schneller zu schalten. Dies führt umgekehrt aber zu einem deutlichen Anstieg der hochfrequenten Oberschwingungen in den Motorströmen. Um diese dann wieder auf einen zulässigen Wert zu begrenzen, muss ein erheblicher Aufwand bei den EMV-Filtern am Ausgang des Wechselrichters betrieben werden. D.h. die Zielsetzungen Schaltverluste und EMV verhalten sich gegenläufig zueinander.

Bei Fa. Liebherr Elektronik wurde bereits seit einigen Jahren nach Lösungen für diese teilweise widersprüchlichen Anforderungen gesucht. Dabei kam eine Schaltungstopologie ins Gespräch, die bereits vor Jahren an der HTWG Konstanz entwickelt worden war.

5 DER APEN - FREQUENZUMRICHTER

5.1 DIE ENTWICKLUNG AN DER HTWG KONSTANZ

Bereits im Jahr 2000 wurde das Problem der Schaltverluste im Rahmen eines vom Land Baden-Württemberg geförderten Forschungsprojekts am Labor für Leistungselektronik der HTWG Konstanz (damals noch FH Konstanz) angegangen. Dazu wurden verschiedene Ansätze zunächst theoretisch und mit Hilfe der Schaltungssimulation untersucht [4] [5] [6]. Für eine Schaltung, die sich als besonders geeignet erwies, wurde die Bezeichnung „APEN-Pulswechselrichter“ kreiert. „APEN“ steht für „Asynchrones Passives Entlastungs-Netzwerk“. Es vermeidet die Schaltverluste fast vollständig, steigert dadurch die Leistungsdaten erheblich und verringert das Gewicht der Kühlmaßnahmen.

5.2 AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DES APEN - WECHSELRICHTERS

Abb. 5 zeigt das Prinzipschaltbild des APEN-Pulswechselrichters. Gegenüber der konventionellen Ausführung nach Abb. 2 sind in jeder Phase ein Kondensator C, eine Drossel L und zwei Dioden D1 und D2 hinzugekommen. Die komplexe Funktionsweise dieser Entlastungsschaltung im Detail zu beschreiben würde den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen. Deshalb soll hier lediglich eine qualitative Beschreibung gegeben werden.

Beim Einschalten eines der beiden Transistoren einer Phase des Pulswechselrichters kann der Transistorstrom, bedingt durch die Drossel L, nur vergleichsweise langsam ansteigen, während die Spannung am Transistor sehr schnell auf den geringen Wert der Durchlassspannung abfällt. Das gleichzeitige Auftreten hoher Werte von Strom und Spannung und deshalb großer Verlustleistung wird dadurch vermieden.

Beim Ausschalten eines der beiden Transistoren einer Phase kann die an ihm anliegende Spannung, bedingt durch den Kondensator C, nur vergleichsweise langsam ansteigen, während der Transistorstrom sehr schnell zu Null wird. Somit wird wiederum das gleichzeitige Auftreten hoher Werte von Strom und Spannung und deshalb großer Verlustleistung vermieden.

Solche Schaltvorgänge werden als „entlastet“ bezeichnet. Man spricht auch von „weichem“ Schalten (engl. Soft Switching).

Auch Dioden weisen Schaltverluste auf. Diese werden durch APEN ebenfalls weitgehend vermieden. Insbesondere werden die meist kritischen Rückstromspitzen drastisch verringert.

Eine detaillierte Erläuterung der komplexen Vorgänge beim Ein- und Ausschalten kann der Diplomarbeit von Robert Werner [7] entnommen werden.

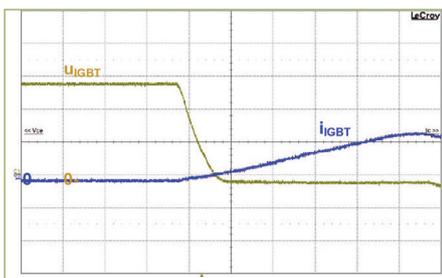


ABB. 6: ZEITVERLÄUFE VON KOLLEKTOR-EMITTERSPANNUNG U_{IGBT} (GELB-GRÜN; 200 V/DIV.) UND KOLLEKTORSTROM I_{IGBT} (BLAU; 50 A/DIV.) BEIM „WEICHEN“ EINSCHALTEN EINES LEISTUNGSTRANSISTORS. ZEITBASIS: 200 ns/DIV.

Abb. 6 zeigt die Wirkung des APEN-Entlastungsnetzwerks beispielhaft für den Einschaltvorgang eines Laststroms von wiederum 75 A. Vergleicht man dieses Oszillogramm mit Abb. 4, so erkennt man, dass das gleichzeitige Auftreten hoher Werte von Strom und Spannung weitgehend vermieden wird. Zusätzlich ist die in Abb. 4 deutlich erkennbare Rückstromspitze fast verschwunden. Die Einschaltverlustenergie ist von 4,5 mJ auf 0,1 mJ, also auf nur noch 2,2% gesunken.

Drossel L und Kondensator C bilden bei jedem Ein- und Ausschaltvorgang einen Schwingkreis. Dabei wird jeweils ein Energiebetrag in den für alle drei Phasen gemeinsamen Kondensator CS transportiert. Diese Energie wird über den Gleichstromsteller nutzbringend in die Zwischenkreisleistung U_d zurückgeführt. Der Gleichstromsteller ist sehr einfach aufgebaut – er besteht aus lediglich drei Hauptstromelementen – und muss nur für einen geringen Prozentsatz der Pulswechselrichterleistung (ca. 5%) ausgelegt werden.

Diese Schaltung wurde zunächst umfassend theoretisch und mit Hilfe der Schaltungssimulation untersucht. Danach wurde ein industriell gefertigter konventioneller Frequenzumrichter mit einer Leistung von 33 kVA um die APEN-Schaltungskomponenten ergänzt. Umfangreiche Messreihen bestätigten die Erwartungen vollständig. Vor allem zeigte sich, dass die Schaltung außerordentlich robust ist: Auch gelegentliche fehlerhafte Steuersignale für die Leistungstransistoren, wie sie im Experimentierbetrieb hin und wieder auftreten, führen weder zu einer Zerstörung der Bauteile noch zu einer Fehlfunktion der Schaltung.

5.3 VORTEILE DER APEN - SCHALTUNG

Die Gesamtverluste des Frequenzumrichters sind deutlich verringert, insbesondere bei hohen Werten der Ausgangsströme und der Schaltfrequenz. Gemäß Abb. 7

betragen sie bei Bemessungsstrom und einer Schaltfrequenz von 25 kHz nur noch ca. 50% gegenüber der konventionellen Schaltung. Sie sind bei der hohen Schaltfrequenz 25 kHz immer noch niedriger als in der Ursprungsschaltung, obwohl diese mit nur 8 kHz betrieben wurde. Bei Pulswechselrichtern auch großer Leistung können somit sehr hohe Werte der Schaltfrequenz erreicht werden, was mit der konventionellen Schaltung nur schwer möglich ist. Die bislang erforderliche Überdimensionierung der Leistungstransistoren kann deshalb reduziert werden, und die Kühlmittel (Kühlkörper, Lüfter, Wärmetauscher etc.) können deutlich kleiner ausfallen.

Damit ist die in Kapitel 4 unter Position 2 genannte Anforderung an PWR für Luftfahrtapplikationen, nämlich geringe Verluste auch bei hohen Werten der Schaltfrequenz zu gewährleisten, bereits im Jahre 2000 an der HTWG Konstanz gelöst worden. Für industrielle Standard-Applikationen war dies jedoch von geringem Interesse, da in diesem Bereich dem Wirkungsgrad bis heute wenig Beachtung geschenkt wird. Und der Bedarf der Luftfahrtindustrie war damals noch nicht gegeben.

6 DER NEUE APEN-DEMONSTRATOR

In der Abteilung Forschung und Vorentwicklung der Fa. Liebherr Elektronik GmbH, Lindau, wurden bereits vor einiger Zeit Überlegungen angestellt, wie die in Kap. 4 beschriebenen Probleme anzugehen wären. Dazu wurde eine Voruntersuchung beschlossen und im Rahmen einer Diplomarbeit ausgeschrieben. Das Ziel dieser Arbeit war zu untersuchen, ob und ggfs. mit welchen Maßnahmen die Parameter Schaltverluste und EMV zugleich optimiert werden können.

Im Laufe dieser Arbeit wurden zunächst verschiedene aus der Literatur bekannte Lösungsansätze, speziell sog. Entlastungs-

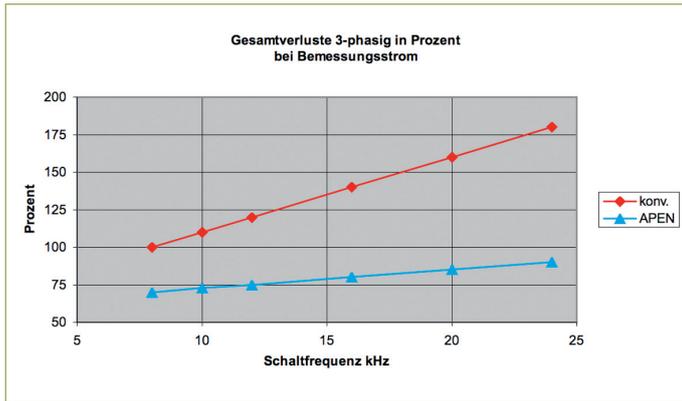


Abb. 7: DIE GESAMTVERLUSTE DES APEN - PULSWECHSELRICHTERS SIND INSGESAMT DEUTLICH GERINGER ALS BEIM KONVENTIONELLEN PULSWECHSELRICHTER.

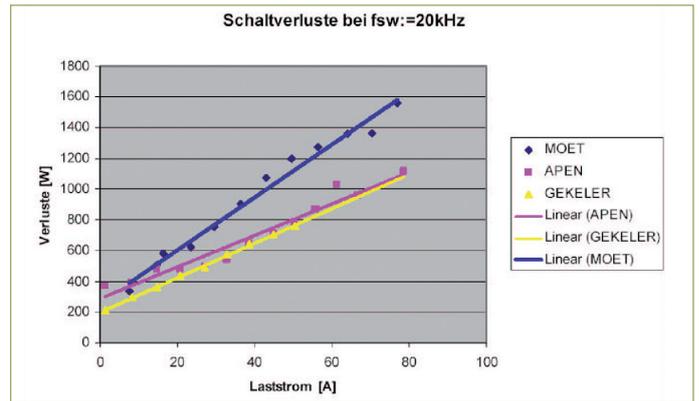


Abb. 8: VERGLEICH DER VERLUSTLEISTUNGEN ZWEIER PULSWECHSELRICHTER (PWR) NACH DEM APEN - PRINZIP (GEKELER, APEN) UND EINEM KONVENTIONELLEN LUFTFAHRT-TAUGLICHEN PWR (MOET)

netzwerke, darunter auch der APEN-Wechselrichter, zusammengetragen und vergleichend untersucht. Dies erfolgte sowohl rechnerisch als auch mit Hilfe der Schaltungssimulation. Es zeigte sich, dass der APEN-Wechselrichter das höchste Potential zur Erfüllung der Anforderungen aufweist. Deshalb fiel die Entscheidung, ein Labor-Funktionsmuster, den sog. Demonstrator, zu entwerfen, aufzubauen und zu testen.

6.1 DATEN DES APEN-DEMONSTRATORS

Mit Blick auf eine aktuelle Luftfahrt-Applikation wurde die Ausgangsleistung auf 35 kW festgesetzt. Bei einer Zwischenkreis-Gleichspannung von 550 V entspricht dies Ausgangsströmen von 75 A. Für die Schaltfrequenz wurde ein Wert von 25 kHz gewählt. Das gesamte System wurde dann mittels Simulation und Rechnung auf diese Daten hin optimiert.

Besonderes Augenmerk wurde der Elektromagnetischen Verträglichkeit gewidmet. Ein wichtiges Kriterium dafür ist die Spannungssteilheit du/dt der Wechselrichter-Ausgangsspannungen. Im Luftfahrtbereich werden derzeit Grenzwerte für du/dt diskutiert. Nach Abwägung verschiedener Aspekte wie EMV, Isolationsanforderungen und resultierende Bauteilvolumina wurde die Spannungssteilheit für den Demonstrator auf maximal 1500 V/ μ s festgelegt, um zu zeigen, dass es prinzipiell möglich ist, die Spannungsflanken zu begrenzen.

6.2 SCHALTVERLUSTE

Die APEN-Topologie vermeidet, wie bereits in Kapitel 5 erläutert, die Schaltverluste

weitestgehend. Dies konnte mit dem APEN-Demonstrator experimentell nachgewiesen werden. Abb. 8 zeigt einen Vergleich zwischen dem an der HTWG entwickelten APEN-Wechselrichter (GEKELER), dem neuen APEN-Demonstrator (APEN) und einem konventionellen luftfahrtgeeigneten Pulswechselrichter (MOET) am Beispiel einer Schaltfrequenz von 20 kHz. Man erkennt, dass die beiden nach dem APEN-Prinzip arbeitenden PWR deutlich geringere Verluste aufweisen als die konventionelle Lösung.

6.3 EMV-GERECHTE BEGRENZUNG DER SPANNUNGSFLANKEN

Die ursprüngliche APEN-Topologie kann lediglich die Steilheit der Spannungsflanken bei Ausschaltvorgängen begrenzen. Aus Abb. 6 ist zu erkennen, dass die Spannungssteilheit bei dem dargestellten weichen Einschaltvorgang einen unzulässig hohen Wert von ca. 6000 V/ μ s aufweist. Am Ausgang des Wechselrichters müssen jedoch sowohl die Einschalt- als auch die Ausschaltflanken in ihrem Anstieg reduziert werden. Hier musste also noch nach einem grundlegenden Durchbruch gesucht werden.

Es gibt prinzipiell die Möglichkeit, die Flanken beim Einschalten über die Treiberstufe, d.h. über die Ansteuerung in ihrem Anstieg zu reduzieren. Hierzu wird der Gatewiderstand R_G in seinem Wert verändert. Durch einen größeren Widerstand wird der Steueranschluss, das so genannte Gate, weniger schnell mit Ladungsträgern geflutet, und der IGBT benötigt mehr Zeit, um vom gesperrten in den leitenden Zustand überzugehen. Dies bedeutet, dass er langsamer

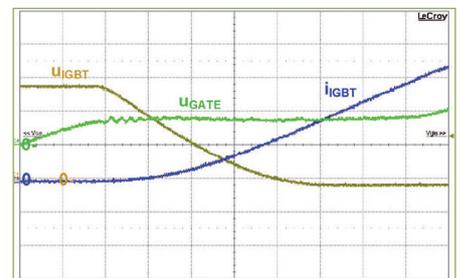


Abb. 9: ZEITVERLÄUFE VON STEUERSPANNUNG U_{GATE} (GRÜN; 10 V/DIV.), KOLLEKTOR-EMITTERSPANNUNG U_{IGBT} (GELB-GRÜN; 200 V/DIV.) UND KOLLEKTORSTROM I_{IGBT} (BLAU; 25 A/DIV.) BEIM EINSCHALTEN EINES LEISTUNGSTRANSISTORS BEIM APEN-PWR MIT du/dt -BEGRENZUNG. ZEITBASIS: 200 ns/DIV.

einschaltet und die Spannung über Kollektor und Emitter weniger steil abfällt. Man erhält damit die gewünschte Reduzierung der Spannungssteilheit du/dt über dem IGBT beim Einschalten.

Bei einem konventionellen Pulswechselrichter nach Bild 2 würde diese Reduzierung jedoch zu einem dramatischen Anstieg der Schaltverlustleistung führen und wäre deshalb nicht machbar. Anders jedoch beim APEN-Wechselrichter:

Hierzu wurden am firmeneigenen Charakterisierungsprüfstand Vorversuche mit verschiedenen Gatevorwiderständen R_G durchgeführt. Mit einem Widerstandswert von 16 Ω wird der Spannungsabfall von ca. 6000 V/ μ s auf ca. 1000 V/ μ s verlangsamt. Allerdings vergrößert sich dadurch die Spannungs-Stromfläche beim Schaltvorgang, die der Verlustenergie entspricht. Durch den Effekt der Entlastungsdrossel im APEN-Netzwerk wird jedoch der Stromanstieg von 750 A/ μ s um den Faktor 10 ver-

ringert, sodass die Verlustenergie in einem akzeptablen Rahmen bleibt (Abb. 9). Trotz der sehr langsam abfallenden Spannungsflanke und dank der Entlastungsdrossel ist die Verlustenergie um den Faktor 3 geringer (1,5 mJ) als beim hartschaltenden PWR gemäß Abb. 4. Für den APEN-Demonstrator wurde als günstiger Kompromiss ein Gatewiderstand $R_G = 10 \Omega$ eingesetzt, der zum einen die Spannungsflanke auf unter $1200 \text{ V}/\mu\text{s}$ begrenzt und zum anderen eine Schaltverlustenergie von lediglich 1 mJ verursacht.

Damit war der entscheidende Durchbruch erreicht: Der APEN-Pulswechselrichter mit du/dt -Begrenzung weist zum einen nicht nur niedrige Verlustleistungen auch bei hohen Werten der Schaltfrequenz auf, zum anderen ist er in der neu entwickelten Ausführung auch EMV-freundlich, da bei sämtlichen auftretenden Schaltvorgängen die Steilheiten der gepulsten Ausgangsspannung begrenzt sind.

6.4 AUFBAU

Beim Aufbau des APEN-Demonstrators wurde darauf geachtet, dass alle Baugruppen (Zwischenkreis, Entlastungselemente, IGBT's, etc.) übersichtlich und niederinduktiv angeordnet sind, um unerwünschte Spannungsspitzen, die durch schnelle Schaltvorgänge im System auftreten, zu vermeiden. Abb. 10 zeigt ein Foto des Versuchsaufbaus.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

An die in der Luftfahrt seit einigen Jahren vermehrt eingesetzten elektrischen Antriebe werden besondere Anforderungen hinsichtlich Wirkungsgrad und Elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) gestellt. Mit dem von Manfred Gekeler vorgeschlagenen APEN (Asynchrones Passives Entlastungs-Netzwerk)-Frequenzumrichter konnte nachgewiesen werden, dass

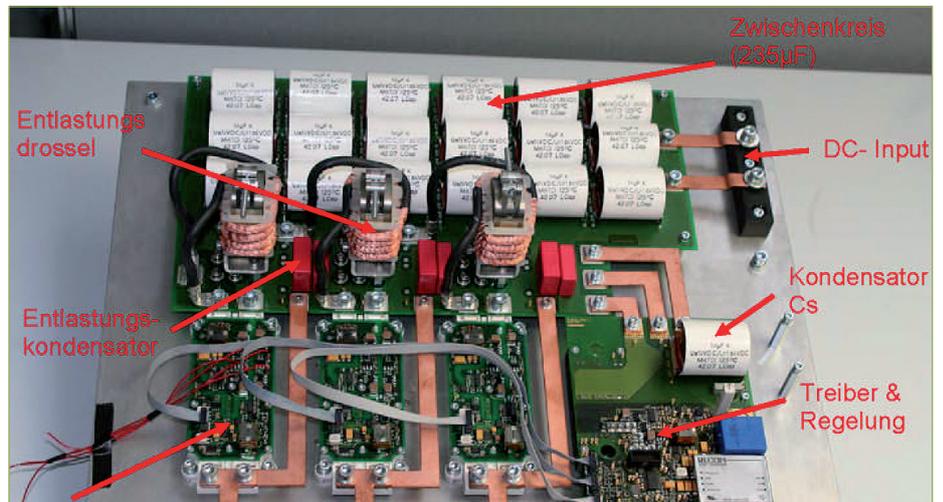


ABB. 10: AUFBAU DES APEN - DEMONSTRATORS



ABB. 11: PULSWECHSELRICHTER 7 kW ZUR STEUERUNG DES HÖHENRUDERS

es möglich ist, zugleich die Schaltverluste und die EMV zu optimieren. Die Diplomarbeit von Robert Werner hat gezeigt, dass die APEN-Topologie grundsätzlich geeignet ist, die Anforderungen der Luftfahrt zu erfüllen. Aufgrund der durchweg positiven Ergebnisse soll die Arbeit fortgeführt werden. Ein optimiertes Pulssteuerverfahren wird aktuell in einer weiteren Diplomarbeit implementiert und vermessen. Darüber hinaus laufen Untersuchungen zur weiteren Optimierung und Verkleinerung der Bauteile, speziell der Drossel im Entlastungsnetzwerk.

LITERATUR

- [1] Peter R. W. Martin (Hrsg.): Applikationshandbuch IGBTs- und MOSFET-Leistungsmodulare; Verlag ISLE und SEMIKRON International 1998
- [2] RTCA DO-160E Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment
- [3] ABD0100.1.8 Electrical and installation requirements; Airbus Werksnorm
- [4] Gekeler, Manfred: Frequenzumrichter ohne Schaltverluste, Netzrückspeisung mit aktivem Leistungsnetzfilter und Solarwechselrichter; Abschlussbericht zur Förderung von FuE-Projekten an den Fachhochschulen des Landes Baden-Württemberg, 2001
- [5] Gekeler, Manfred: Leistungselektronik in Lehre, Forschung und Beruf; FHK Journal 1/2000
- [6] Gekeler, Manfred: Power Electronics-Leistungselektronik für Elektrische Antriebe und Solarwechselrichter; fhk forum-Forschungsmagazin der Fachhochschule Konstanz-2001
- [7] Werner, Robert: Untersuchung von verschiedenen Wechselrichtertopologien basierend auf aktiven Entlastungsnetzwerken; Diplomarbeit Hochschule Ulm, Januar 2009



PROF. DR.-ING. HORST WERKLE war nach dem Studium des Bauingenieurwesens und der

anschließenden Promotion an der Universität Karlsruhe acht Jahre in der Bauindustrie im Bereich Tragwerksplanung tätig. Seit 1989 vertritt er das Lehrgebiet Baustatik an der Fakultät Bauingenieurwesen der HTWG Konstanz. Seine fachlichen Interessen liegen insbesondere bei der Anwendung der Finite-Element-Methode in der Baustatik und der Baudynamik. Dabei stehen Fragen der Modellbildung im Konstruktiven Ingenieurbau und der Erdbebensicherung von Gebäuden im Vordergrund. Er ist beteiligt beim Aufbau des Forschungsschwerpunkts „Erdbebensicheres Bauen und Baudynamik“ der Fakultät Bauingenieurwesen der HTWG Konstanz und Autor zahlreicher wissenschaftlicher Beiträge auf Tagungen und in Zeitschriften sowie mehrerer Bücher und Buchbeiträge.



WOLFRAM PÜSCHEL studierte Bauingenieurwesen an der HTWG Konstanz. Nach dem

Abschluss als Dipl.-Ing. (FH) folgte ein Masterstudium mit Vertiefung im Konstruktiven Ingenieurbau. Seine Masterthesis fertigte er über „Menscheninduzierte Schwingungen von Fußgängerbrücken aus Aluminium“ an. Herr Püschel ist heute in Radolfzell im Tragwerksplanungsbüro „büro für leichtbau, Tritthardt + Richter“ tätig. Dort beschäftigt er sich mit dem Entwurf und der Konstruktion von Leicht- und Membranbauten. Als Lehrbeauftragter der HTWG Konstanz hält er die Lehrveranstaltung Bauinformatik II (Finite-Element-Anwendungen) in der Fakultät Bauingenieurwesen.

1 EINLEITUNG

Baukonstruktionen, insbesondere solche aus Stahl und Holz, werden immer schlanker und filigraner. Dieser bereits seit einiger Zeit zu beobachtende Trend hat Gründe in der Material- und Rohstoffersparnis aber auch in den neueren numerischen Berechnungsverfahren der Strukturmechanik und den damit gewonnenen architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten. Dies gilt auch für Fußgängerbrücken. Mit der Schlankheit einer Konstruktion steigt aber auch deren Schwingungsanfälligkeit. Schwingungsuntersuchungen von Fußgängerbrücken gehörten lange Zeit nicht zu den in den Normen bei der Tragwerksplanung geforderten statischen Nachweisen. Erst in den letzten Jahren wird der Nachweis von Fußgängerbrücken für menschenerreichte Schwingungen in deutschen Normen behandelt. Dennoch ist auch heute das Regelwerk hier noch unzureichend. Somit kommt es, obwohl die Grundlagen der Schwingungsanregung durch Personen bereits seit den 1980-er Jahren bekannt sind, immer wieder zur Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit von Fußgängerbrücken durch menschenerreichte Schwingungen. Besonders spektakulär war der Fall der Millennium-Brücke in London (Abb. 1). Bei deren feierlicher Eröffnung im Juli 2000 strömten viele Menschen auf die Brücke und verursachten heftige Schwankungen der Brücke. Ein Video im Internet zeigt, wie sich die Menschen panikartig am Geländer festhalten und versuchen von der



ABB. 1: MILLENNIUM BRIDGE, LONDON, [2]

Brücke zu gelangen [1]. Die Brücke musste darauf hin für 1,5 Jahre gesperrt und saniert werden. In England wurde die Brücke mit dem futuristischen Design unter dem Namen „Wobbling Bridge“ bekannt.

Auch wenn Schwingungen von Fußgängerbrücken nicht unbedingt deren Standicherheit gefährden, so fühlt sich dies doch mitunter so an. Fußgängererregte Schwingungen sind fast immer ein Problem der Gebrauchstauglichkeit und nicht der Standsicherheit einer Brücke.

2 LASTMODELLE

Personen können ein Bauwerk durch unterschiedliche Bewegungsarten in Schwingung versetzen. Man unterscheidet Gehen, Laufen, Hüpfen und eine mutwillige Schwingungsanregung (Vandalismus). Deren Beschreibung durch komplexe biomechanische Modelle des Körpers, die die Bewegungsmechanismen und die bei der Bewegung entstehenden Massenträgheitskräfte umfassen, ist für die Betrachtung der Schwingungsanregung von Bauwerken jedoch nicht notwendig. Vielmehr kann man die Wechselwirkung zwischen Bauwerk und Anregung vernachlässigen und von vorab definierten Last-Zeit-Funktionen der Belastung ausgehen. Lediglich, wenn der so genannte „Lock-in“-Effekt auftritt, besteht eine Wechselwirkung zwischen der Belastung und der Schwingungsantwort des Bauwerks. Dabei passen

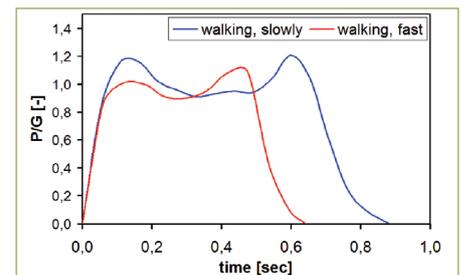


ABB. 2: LAST-ZEITFUNKTION FÜR EINEN EINZELSCHRITT (WHEELER, 1982)

die Fußgänger ihre Schrittfrequenz unwillkürlich der Eigenfrequenz der Brücke an. Dies führt zu angefachten Schwingungen. Das war auch bei der Millennium Brücke der Fall. Voraussetzung hierfür ist, dass das Tragwerk quer zur Brückenrichtung besonders weich ist und große Schwingungsamplituden aufweist.

Der Mensch erzeugt beim Gehen sowohl eine Anregung in vertikaler wie auch in horizontaler Richtung. Messungen der Last-Zeit-Funktionen zeigen, dass diese von einer Reihe von Parametern wie der Beschaffenheit des Untergrundes und der Art des Schuhwerks abhängen. Abb. 2 zeigt die schematisierte Last-Zeit-Funktion für den Auftritt mit einem einzelnen Fuß in vertikaler Richtung. Das erste Maximum des Zeitverlaufs entspricht dem Auftritt mit der Ferse, während das zweite, etwas niedrigere Maximum beim Abrollen mit dem Fußballen entsteht. Fasst man die Last-Zeit-Funktionen des rechten und linken Fußes zusammen, erhält man eine periodische Funktion. Diese lässt sich als Fourier-Reihe darstellen zu:

$$F(t) = G \cdot \left(1 + \sum_{j=1}^4 \alpha_j \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot j \cdot f_s \cdot t - \varphi_j) \right) \quad (1)$$

Hierin bedeuten G das Eigengewicht des Fußgängers, $\Delta G_j = \alpha_j \cdot G$ der j -te harmonische Anteil und φ_j der jeweilige Phasenwinkel. $F(t)$ ist die zeitabhängige vertikale Kraft infolge des Auftritts mit einem Fuß. Die Schrittfrequenz f_s (Schritte pro Sekunde), mit der sich der Fußgänger bewegt, hängt von der Schrittlänge sowie von der Fortbewegungsgeschwindigkeit ab. Die Schrittlänge kann bei einer Schrittfrequenz von 2,0 Hz zu 0,75 m angenommen werden. Die Schrittdauer beträgt damit

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad (2)$$

Die Schrittfrequenz wird beim Nachweis der Schwingungen von Fußgängerbrücken ungünstig in einer Eigenfrequenz der Brücke angenommen, sofern diese im

relevanten Frequenzbereich der Schrittfrequenz liegt. Die Fortbewegungsgeschwindigkeit des Fußgängers erhält man zu

$$c = f_s \cdot l_s \quad (3)$$

Für die Fourierterme α_j gibt es verschiedene Angaben. Die in Deutschland gebräuchlichen Modelle nach Bachmann (Bachmann 1988, 1997) und Seiler-Hüttner (Seiler u.a. 2004) sind in Tabelle 1 angegeben. Die sich daraus ergebenden Last-Zeit-Funktionen beider Modelle sind in Abb. 3 dargestellt.

Weitere Autoren insbesondere aus England, Kanada und Japan schlagen andere Fourierkoeffizienten, auch in Abhängigkeit von der Schrittfrequenz oder der Überschreitungswahrscheinlichkeit, vor (Rainer u.a. 1988, Young 2001). Entsprechende Werte gibt es auch für die horizontale Anregung sowie für die Bewegungsarten Laufen und Hüpfen (Werkle u.a., 2009).

Aufgrund der Abhängigkeit von verschiedenen Parametern weisen die von einzelnen Autoren angegebenen Werte eine gewisse Streuweite auf. So ist beispielsweise in Tabelle 1 bemerkenswert, dass der Fou-

rierterterm α_2 im Modell von Seiler-Hüttner 50% höher als im Modell von Bachmann ist. Die Lastannahmen haben unmittelbaren Einfluss auf die bei einer numerischen Simulation erhaltenen Antwortbeschleunigungen einer Brücke. Um hier zu realitätsnahen Ansätzen zu gelangen, wurden an einer Fußgängerbrücke aus Aluminium umfangreiche numerische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt.

3 VERSUCHE AN EINER ALUMINIUMBRÜCKE

Brücken aus Aluminium zeichnen sich durch ihr geringes Gewicht und ihre weitgehende Wartungsfreiheit aus. Aluminium eignet sich insbesondere gut zur Herstellung vorgefertigter Fußgängerbrücken. Diese lassen sich mit Spannweiten von 12 m bis zu 45 m im Werk herstellen und teilweise über Entfernungen von vielen 100 km noch wirtschaftlich an ihren Einsatzort transportieren. Der mit Stahl vergleichbaren Festigkeit von Aluminium steht aber eine geringere Steifigkeit gegenüber, da der Elastizitätsmodul von Aluminium nur ca. 1/3 desjenigen von Stahl beträgt. Daher stellt sich bei Fußgängerbrücken aus Aluminium die Frage nach der Schwingungs-

j		BACHMANN	SEILER-HÜTTNER
	f_s	1.5 - 2.5 [Hz] (MITTELWERT 2 Hz)	1.4 - 3.4 [Hz]
1	α_1	0.4 für $f_s \leq 2$ Hz 0.4 + 0.1 · (f _s - 2) / 0.4 für 2.0 Hz ≤ f _s ≤ 2.4 Hz 0.5 für f _s ≥ 2.4 Hz	0.4
	α_2	0.10	0.15
	α_3	0.10	0.10
4	α_4	0	0.05
1	φ_1	0	$\pi / 2$
	φ_2	$\pi / 2$	$-\pi \cdot 5 / 6$
	φ_3	$\pi / 2$	$\pi / 2$
	φ_4	0	$-\pi \cdot 5 / 6$

TABELLE 1: WERTE f_s , α_j UND π , FÜR DIE VERTIKALKRÄFTE BEIM „GEHEN“

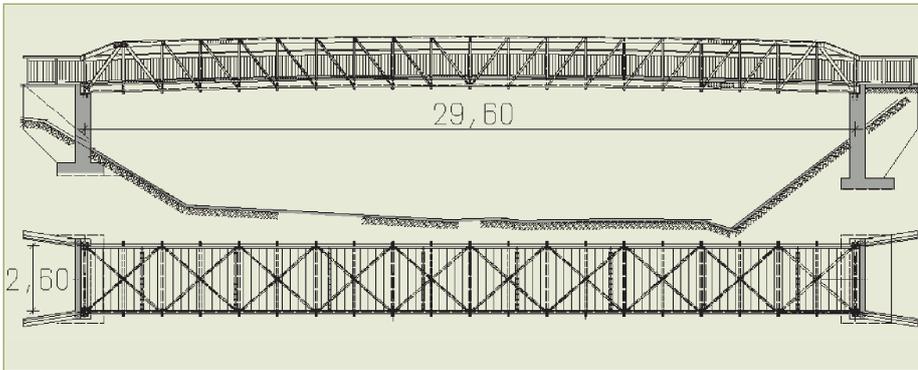


Abb. 3: ALUMINIUMBRÜCKE

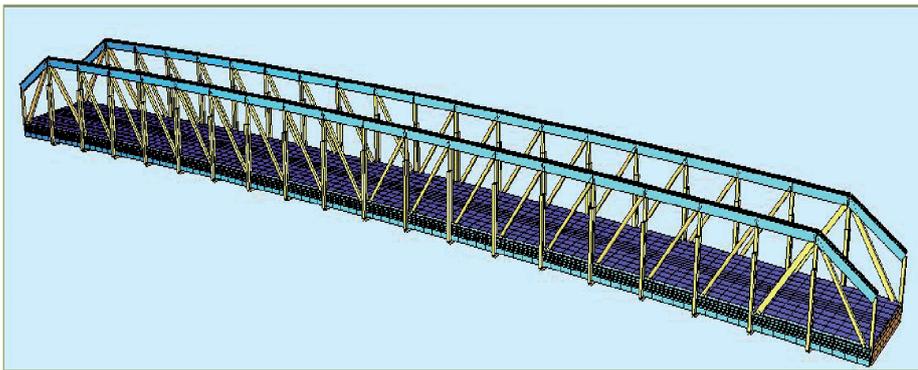
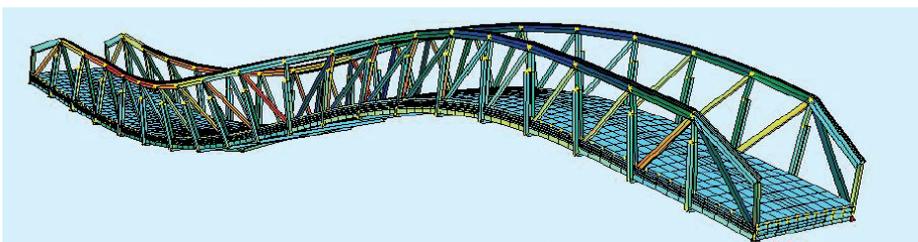


Abb. 4: FINITE-ELEMENT-MODELL



(a) $f_1 = 4.0$ Hz



(b) $f_2 = 13.0$ Hz

Abb. 5: EIGENFORMEN FÜR VERTIKALE SCHWINGUNGEN

erregung durch Passanten und die daraus sich möglicherweise ergebende Beeinträchtigung ihrer Gebrauchstauglichkeit. Bei dem untersuchten Brückenbauwerk handelt es sich um eine Fachwerkbrücke eines süddeutschen Herstellers mit einer Spannweite von ca. 30 m. Die Brücke wurde im Werk bei Singen untersucht und später in Leingarten bei Heilbronn eingebaut.

4 NUMERISCHE SIMULATION

Für die numerische Simulation wurde die Brücke in einem Finite-Element-Modell detailliert abgebildet, um eine möglichst große Realitätsnähe zu erreichen (Abb. 16). Das Modell besitzt 1750 Elemente und 2060 Knoten mit den jeweiligen Freiheitsgraden und wurde mit der Finite-Element-Software Sofistik rechnerisch untersucht (Püschel, 2006). Die erste Eigenfrequenz wurde hiermit zu $f_1=4.0$ Hz ermittelt. Die entsprechende Eigenform ist in Abb. 5a dargestellt. Alle anderen Eigenfrequenzen liegen über 5 Hz und sind damit für die Erregung durch Fußgänger nicht von Interesse.

In der mit der Finite-Element-Methode formulierten Bewegungsgleichung

$$\underline{K} \cdot \underline{u}(t) + \underline{C} \cdot \dot{\underline{u}}(t) + \underline{M} \cdot \ddot{\underline{u}}(t) = \underline{F}(t) \quad (4)$$

verändert sich die Lastfunktion mit der Zeit und dem Ort (Werkle, 2007).

Zur Simulation der Belastung durch Fußgänger wurden folgende Lastmodelle verwendet:

- Last-Zeit-Funktionen für diskrete Einzelschritte nach (Wheeler, 1982)
- Lastmodell nach Bachmann (Bachmann, 1988, 1997)
- Lastmodell nach Seiler-Hüttner (Seiler u.a., 2004)

Die Berechnung der Zeitverläufe erfolgte durch modale Analyse mit 25 Eigenformen

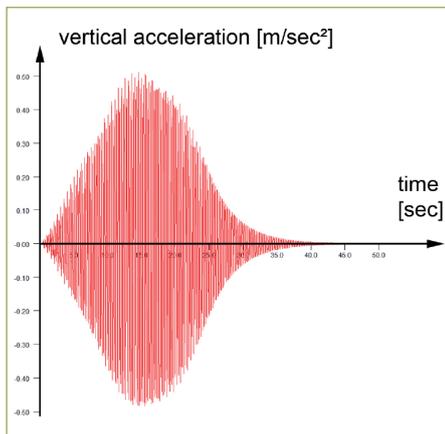


ABB. 6: ZEITVERLAUF DER VERTIKALEN BESCHLEUNIGUNG NACH DER FEM-SIMULATION, $f_s=2,0\text{Hz}$, $G=0,8\text{ kN}$

und den experimentell ermittelten modalen Dämpfungsmaßen von 1% in der ersten Eigenform und 0,5% in den höheren Eigenformen.

Abb. 6 zeigt den Zeitverlauf der Beschleunigungen in Brückenmitte bei einer Schrittfrequenz von 2,0 Hz, wenn die Last mit Einzelschritten aufgebracht wird. Die maximale Beschleunigung beträgt $0,5\text{ m/s}^2$.

Für die beiden Lastmodelle mit einer kontinuierlich propagierenden Einzellast sind die maximalen Beschleunigungen in Abhängigkeit von der Schrittfrequenz in Abb. 7 gegeben. Sie besitzen eine deutliche

Spitze im Bereich der halben ersten Eigenfrequenz der Brücke auf. Bei derselben Frequenz weist das Modell der diskreten Einzelschritte eine deutlich geringere maximale Beschleunigung auf.

5 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

Experimentelle Untersuchungen wurden sowohl im Werk wie auch in einer weiteren Versuchsreihe an der eingebauten Brücke durchgeführt.

Die Eigenfrequenzen der Brücke wurden sowohl aus dem FFT Spektrum der Antwortschwingung der Brücke infolge einer Impulsanregung wie auch aus ambienten Schwingungsmessungen ermittelt (Püschel 2006). Werte für die erste Eigenfrequenz sind in Tabelle 2 angegeben. Die rechnerisch ermittelte Eigenfrequenz stimmt gut mit der im Werk gemessenen Frequenz überein. Jedoch gibt es zwischen der im Werk und der nach dem Einbau gemessenen Eigenfrequenz einen signifikanten Unterschied. Ursache hierfür ist die unterschiedliche Lagerung im Werk und am Einbauort. Während im Werk die Brücke horizontal verschieblich gelagert war, wurde sie am Einbauort in horizontaler Richtung fixiert. Durch die leichte Überhöhung in Brückenmitte und die dadurch

entstehende Bogenwirkung erhöht sich die Eigenfrequenz spürbar.

Experimentelle Untersuchungen wurden mit einer Person, die die Brücke mit unterschiedlichen Schrittfolgen überquert, durchgeführt. Zur genauen Einhaltung der Schrittfolgen wurde ein Metronom verwendet. Abb. 8 zeigt einen typischen Zeitverlauf der vertikalen Beschleunigungen, wie er im Werk bei einer Schrittfrequenz von $f_s=2\text{ Hz}$ gemessen wurde. Die maximale Beschleunigung stimmt mit derjenigen des Lastmodells mit diskreten Schritten gut überein (Abb. 6).

In einer Versuchsreihe an der eingebauten Brücke wurden die Schrittfolgen variiert (Abb. 9). Abb. 10 zeigt, dass die maximale Beschleunigung in Brückenmitte, die beim Überqueren der Brücke auftritt, erheblich von der Schrittfolgen abhängt.

Die Verschiebung der Resonanzspitze in Abb. 10 gegenüber Abb. 7 hängt mit der Veränderung der Eigenfrequenz im eingebauten Zustand zusammen. Die maximalen Beschleunigungen sind deutlich höher als bei den Messungen im Werk, da die Schrittfolgen bei 2,25 Hz besser mit der halben Eigenfrequenz übereinstimmt. Bemerkenswert ist jedoch, dass die Resonanzspitze äußerst scharf ist. Der Unter-

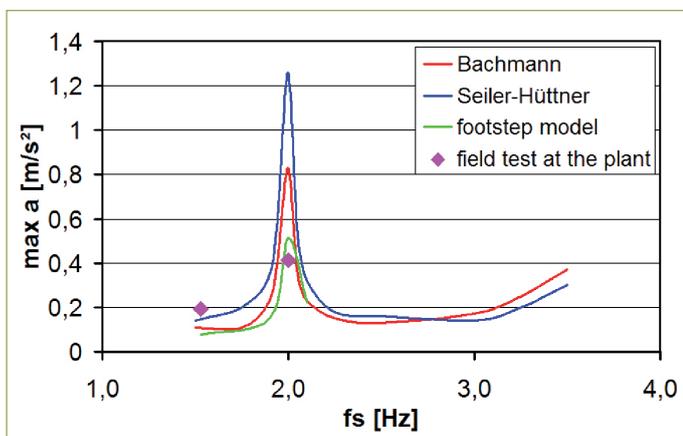


ABB. 7: MAXIMALE BESCHLEUNIGUNG VS. SCHRITTFREQUENZ, $G=0,80\text{ kN}$

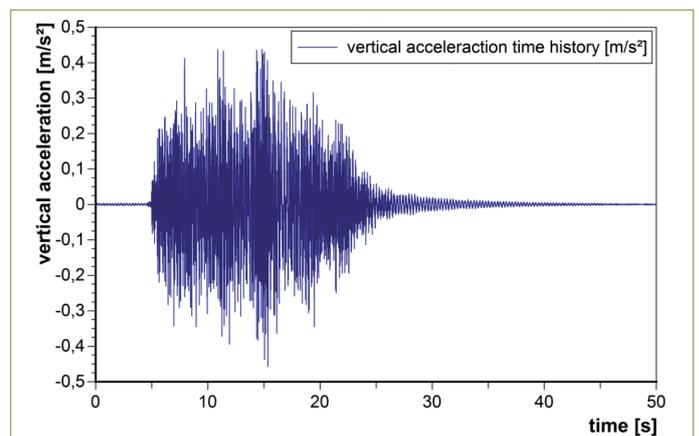


ABB. 8: GEMESSENER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUF, $f_s=2,0\text{Hz}$, $G=0,95\text{ kN}$

ERMITTLUNG f_1

FEM-Berechnung	3.98 Hz
Messung im Werk	3.85 Hz
Messung an der eingebauten Brücke	4.50 Hz

TABELLE 2: ERSTE EIGENFREQUENZ DER BRÜCKE



Abb. 9: VERSUCHE AN DER EINGEBAUTEN BRÜCKE

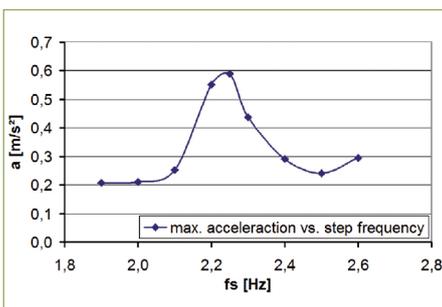


Abb. 10: MAXIMALE BESCHLEUNIGUNG BEI ÜBERQUEREN DER BRÜCKE VS. SCHRITTFREQUENZ, $G=0.80$ kN

schied zwischen zwei Schrittfolgen in Resonanznähe beträgt $2.25-2.00=0.05$ Hz, was einem Unterschied in der Schrittdauer von $0,01$ s entspricht. Bereits eine leichte Veränderung der Schrittdauer von z.B. $0,01$ s verringert die maximale Beschleunigung

um die Hälfte. Um den Maximalwert der Beschleunigung zu erhalten, muss die Brücke mit der exakten Schrittfolgen während der Dauer der Begehung überquert werden. Dies war bei den Versuchen nur mit speziellen Maßnahmen zu erreichen und ist bei einem natürlichen Gehverhalten sehr unwahrscheinlich. Unter Praxisbedingungen sind daher deutlich niedrigere Werte zu erwarten. Dies wird bei der derzeit üblichen Praxis, die Schrittfolgen in Resonanz mit der Brückeneigenfrequenz anzunehmen, nicht berücksichtigt.

6 ERGEBNISSE

Bei der hier untersuchten Brücke ist die erste Eigenfrequenz etwa doppelt so

hoch wie die typische Schrittfolgen von Fußgängern mit $f_s = 2.0$ Hz. Daher ist in Gl. (1) der zweite Fourierterm ($j=2$) für die Schwingungsantwort maßgebend. In Tabelle 3 sind die Fourierterme α_2 , die mit unterschiedlichen Methoden für Schrittfolgen von $f_s = 2.0 - 2.25$ Hz erhalten wurden, zusammengestellt.

Der Fourierterm variiert je nach Modell zwischen 0.06 und 0.15 . Die Versuchsergebnisse legen einen Wert von $\alpha_2 \approx 0.06 - 0.07$ nahe. Dieser Wert berücksichtigt die Tatsache, dass bei einem natürlichen Gehen die Wahrscheinlichkeit, mit der Schrittfolgen exakt die halbe Eigenfrequenz zu treffen, sehr gering ist, sofern der Lock-in-Effekt ausgeschlossen werden kann und die Dämpfung des Systems gering ist. Die Schärfe einer Resonanzspitze hängt nämlich auch mit der Dämpfung eines Systems zusammen. Hier werden kleine Dämpfungswerte, wie sie für Stahl- oder Aluminiumbauwerke typisch sind, vorausgesetzt.

Der Beitrag behandelt die Schwingungen einer Brücke bei Überquerung durch eine einzelne Person. Bei der Bemessung müssen hingegen in der Regel mehrere Personen berücksichtigt werden. Die dann auftretenden Beschleunigungen müssen bestimmte Grenzwerte einhalten. (Werkle et.al., 2009). Können diese Grenzwerte nicht eingehalten werden, sind Schwingungstilger geeignete Gegenmaßnahmen, um die auftretenden Schwingungen zu reduzieren. Auch die Millennium Bridge in London konnte durch den Einbau von Schwingungstilgern gegenüber fußgängererregten Schwingungen saniert werden.

NUMERISCHE SIMULATION	
- Bachmann, 1988, 1997	0.10
- Seiler u.a., 2004	0.15
- Young, 2001 / 50% exceed. prob.	0.064
- Young, 2001 / 25% exceed. prob.	0.082
- Rainer u.a., 1988	0.065
VERSUCHE:	
- Messung im Werk	0.06
- Messung am Einbauort	0.10

TABELLE 3: FOURIER TERM α_2 NACH GL. (1)

LITERATUR

Bachmann H., *Schwingungsprobleme bei Fußgängerbauwerken*, Bauingenieur 63, Springer, Berlin, 1988, S. 67-75

Bachmann H. u. a., *Vibration Problems in Structures*, Birkhäuser Verlag, Basel, 1997

Püschel W., *Menschenerrechte Schwingungen von Fußgängerbrücken aus Aluminium – Messungen und numerische Simulation*, Masterthesis, HTWG Konstanz, Konstanz, 2006

Rainer, J. H., Pernica, G. and Allen, D. E., *Dynamic loading and response of footbridges*. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol 15, 66-71, 1988

Seiler Ch., S. Hüttner, *Ein einheitliches Modell zur Beschreibung von Fußgängerlasten für verschiedene Bewegungsarten – Theorie, experimentelle Messungen und praktische Anwendung*, Bauingenieur 79, Springer, Berlin, 2004, S. 483-496

Werkle H., *Finite Elemente in der Baustatik*, 3. Auflage, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2007

Werkle H., W. Püschel, *Durch Menschen induzierte Schwingungen von Fußgängerbrücken aus Aluminium*, Bauingenieur, Springer, Berlin, 2009

Wheeler J.E., *Prediction and Control of Pedestrian Induced vibration in Footbridges*, J. Struct. Division, ASCE 108 (1982), ST9, 2045-2065

WEBSEITEN

[1] <http://video.google.de/videosearch?hl=de&q=millenium%20bridge&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=vv#>

[2] http://hhollick.com/v-web/b2/images/millenium_bridge.jpg



DIPL.-ING. RENÉ CARREÑO OLEJUA M.Sc. studierte Maschinenbau an der Industriellen Universität

Santander (UIS-Kolumbien) zum Dipl.-Ing. mit dem Schwerpunkt Automatisierungstechnik und Konstruktion. Danach absolvierte er an der Hochschule Konstanz das Master-Studium Mechatronik. Er ist Juniorprofessor an der Päpstlichen Boliviana Universität (UPB-Kolumbien) und arbeitet zurzeit als Wissenschaftler an der HTWG Konstanz und promoviert bei Herrn Prof. Dr. Oliver Hensel an der Universität Kassel im Bereich der Ökologie- und Agrarwissenschaften. Das Promotionsthema aus dem Bereich der Mechatronik und Agrartechnik wird von Prof. Dr.-Ing. Werner Hofacker betreut.



PROF. DR.-ING. WERNER HOFACKER studierte in Stuttgart Maschinenbau Schwerpunkt Thermische

und Chemische Verfahrenstechnik. Danach war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Hohenheim und promovierte über Nacherntetechnologie für Körnerfrüchte an der Universität Stuttgart. Er war in Westafrika als beratender Ingenieur im Bereich Erneuerbare Energien und Nachhaltige Entwicklung tätig. Er wechselte danach zur Deutschen Aerospace, wo er Projekte auf dem Gebiet der thermodynamischen und fluidodynamischen Simulation komplexer Systeme leitete. 1994 Berufung zum Professor für Thermodynamik an die Hochschule Brandenburg / Havel, deren Rektor er von 1998 bis 2001 war. Seit 2001 im Studiengang Verfahrens- und Umwelttechnik der Hochschule Konstanz im Gebiet der Thermischen Verfahrenstechnik.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EBLS) hat für die Bearbeitung von Lebensmitteln die Gesetze verschärft. Sie fordert eine Begleitung der produzierenden Firmen z. B. auch in den Drittweltländern, die in die EU landwirtschaftliche Produkte exportieren möchten, durch Partnerfirmen und/oder durch Partner im Zwischenhandel aus der EU (EBLS, 2000). Auf diese Weise soll gewährleistet werden, dass bei der Bearbeitung der landwirtschaftlichen Güter die Hygiene- und Qualitätsstandards eingehalten werden.

Für die Qualitäts- und Hygienesicherung ist das Verarbeitungsverfahren eine wesentliche Einflussgröße und bestimmt die Güte des Produktes. Die Qualitätsverluste sind größtenteils eine direkte Konsequenz der inadäquaten Bearbeitung. (Arpaia M., 2004), (Hoyos V., 1993).

Die Verarbeitungsschritte Schälen und Schneiden werden vorwiegend von Hand unter hygienisch nicht immer einwandfreien Bedingungen durchgeführt. Zur Produktion von qualitativ hochwertiger, hygienisch einwandfreier Ware muss ein Verfahren angewendet werden, das den direkten Kontakt zwischen Gut und Mensch minimiert.

Die Arbeitsumgebung beeinflusst die mikrobiologische Qualität des Prozesses (Merle, 1993), (Mc. Glynn, D.D. und Reilly 2003) entscheidend. Es wurde nachgewiesen (Allende, Tomás-Barberán, & Gil, 1997), dass das Ausmaß der physiologischen Beschädigung, der Veränderung der biochemischen Zusammensetzung und des Verlaufes des mikrobiologischen Abbaus direkt von der Art der Behandlung abhängen.

Da das in einem Schneidprozess kontinuierlich genutzte Schneidwerkzeug wegen der Infektion des Produktes mit Mikroorganismen die Qualität reduziert, wird ein Schnei-

deprozess ohne Werkzeug im herkömmlichen Sinn vorgeschlagen. (Merle, 1993) stellt die Hochdruckwasserstrahltechnik als Schneidmethode vor. Außerdem werden die Prozessparameter und eine Übersicht der in der Produktions- und Nahrungsmittelindustrie eingesetzten Wasserstrahlmethoden erläutert.

Hier wird eine an der HTWG Konstanz entwickelte Anlage vorgestellt, welche die Bildverarbeitungs-, Robotik- und Wasserstrahlschneidtechnik kombiniert. Mit dieser Technik wäre es möglich tropische Früchte anatomisch zu schneiden bzw. zu schälen. Durch die Anpassung des Schälverfahrens an der Anatomie der Frucht sollte der Abfall vermindert werden.

EINLEITUNG

Das Grundprinzip der Wasserstrahltechnik, die Erodierung, hat ihren Anfang im Bereich des Abbaus von Bodenschätzen. So zum Beispiel in der Bergbauindustrie, besonders in der Kohle- und Metallförderung und auch im Bereich des Bauingenieurwesens bei der Vorbereitung der Konstruktionen von Straßen und Tunneln.

Die Nutzung der Wasserstrahltechnik in der Fertigungstechnik für die Herstellung von Maschinen und Maschinenelementen wird ermöglicht durch neue Materialien, die für die Entwicklung der ölhydraulischen Systeme und die Handhabung des Hochdruckwassersystems eingesetzt worden sind. Dies sind beispielsweise Hochdrucköl- und Wasserdrosselventile, ölhydraulische Pumpen, Hochdruckwasserleitungen und dergleichen die den notwendigen Druck gestatten, um den Schneidprozess mit Wasserstrahl zu ermöglichen. In der Fertigungstechnik sind heute dank neuer Komponenten Drücke bis 6.000 bar und Schnittgeschwindigkeiten bis zu 1.000 m/s zu erreichen. Bei den Vorteilen, die der Hochdruckwasserstrahlschneidtechnik zugeschrieben werden, ist der relevanteste die geringe Erwärmung der

Schnittzone in dem zu schneidenden Teil. Damit wird bei Metallen eine hohe Schnittqualität erreicht.

Die Technik des Wasserstrahlschneidens wird bereits in den Bereichen der Fisch-, Fleisch- und Süßwarenverarbeitung eingesetzt. (Alitavoli und Mc. Geough 1998) beschreibt ein Vorhaben, Wasserstrahlschneider im Bereich der Soft-Materialien einzusetzen und bestimmt wichtige verfahrenstechnische Variablen wie z.B. Schneid- druck, Schneidgeschwindigkeit und Düsen- durchmesser für die Anwendung bei Schaf-, Rind-, und Hähnchenfleisch. Daneben gibt es auch bei (Becker und M. Gray 1992) eine Evaluation der Wasserstrahlschneidtechnik für Kartoffeln.

Im Bereich des vorliegenden Projektes, welches den Hochdruckwasserstrahl im Schneidprozess von Agrarprodukten und Lebensmitteln einsetzt, wird reines Wasser benötigt, das vorbehandelt und filtriert ist. Diese Anforderung ist um einiges höher als im Bereich der Fertigungstechnik.

Die Eigenschaften des Schnitts, hohe Geschwindigkeit und der Effekt eines „unendlichen Messers“ bringt in diesem Fall eine Erhöhung der Schnittqualität und der Haltbarkeit der Güter.

GRUNDLAGEN

Wasserstrahl- und abrasive Wasserstrahlbearbeitung werden als spanend- bzw. abtragend nach DIN 8580 zugeordnet (DIN 2003). Die zwei Arten mit einem Hochdruckwasserstrahl zu schneiden, nämlich „Reiner Hochdruckwasserstrahlschnitt“ und „Abrasier Hochdruckwasserstrahlschnitt“ unterscheiden sich dadurch, dass beim abrasiven Schnitt dem Wasser ein harter, abrasiver Hilfsstoff zugesetzt wird. Außerdem werden bei der abrasiven Wasserstrahlschneid- technologie zwei Strahlentstehungsarten unterschieden. Dies sind die Injektion und

Suspension. Hierbei wird der Wasserstrahl als Partikel-Beschleunigungsmitteln verwendet. Korund (AL₂O₃) und Siliziumkarbid (SiC) sind die häufigsten verwendeten Ab- rasivmittel. Abbildung 1 zeigt als Skizze das Prinzip dieser Wasserstrahltechniken.

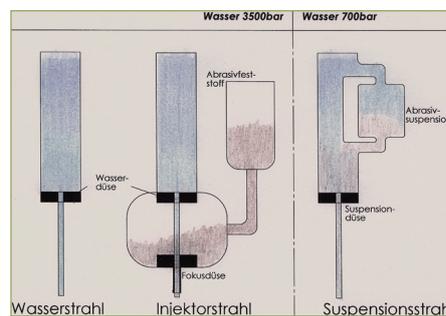


ABB. 1: UNTERSCHIEDLICHE ARBEITSWEISE EINES HOCHDRUCKWASSERSCHNEIDKOPFES

Beim Hochdruckwasserstrahlschneiden lassen sich die von dem Prozess abhängigen Variablen in vier Gruppen unterteilen.

- Hydraulische Parameter
 - › Druck (*p*)
 - › Durchmesser der Düse (*do*)
 - › Wassermenge (*mw*)
- Mischungs- und Beschleunigungs- parameter
 - › Fokussierdurchmesser (*df*)
 - › Fokussierlänge (*lo*)
- Schnittparameter
 - › Vorschubgeschwindigkeit (*v*)

- › Strahlabstand (*x*)
- › Schnittwinkel (ϕ)
- › Anzahl der Schnitte (*n*)
- Parameter (Eigenschaften) des abrasiven Stoffes
 - › Massenstrom des Abrasivstoffs (*ma*)
 - › Durchmesser der abrasiven Partikel (*da*)
 - › Härte der abrasiven Partikel (*Ha*)

Die zwei letztgenannten Aufzählungen treffen für den abrasiven Wasserstrahl- schnitt zu.

Neben Metallen können auch Marmor, Gra- phit, Fliesen, keramische Werkstoffe, Glas, Holz, Gummi und vieles mehr bis zu einer Dicke von 150 mm geschnitten werden. Die Schnittparameter und die Schnittkosten hängen hauptsächlich von dem zu schnei- denden Material bzw. von der Länge der Kontur ab. Die Tabelle 1 zeigt einige ermit- telte Werte beim Wasserstrahl- bzw. abra- sivem Wasserstrahlschneidverfahren.

Nach (Klocke und König 2007) sind Vorteile der Hochdruckwasserstrahlschneidtechnik im Vergleich zu klassischen Schneidverfah- ren unter anderem geringe mechanische Belastung des Werkstückes, keine ther- mische Beeinflussung der Randzone, kein oder geringe Bildung von Schneidstaub oder Gasen etc. Das Verfahren wird bevor- zugt beim Trennen von Verbundwerkstoffen eingesetzt. Da die Stoffe unterschiedliche

WASSERSTRAHLSCHNEIDEN			WASSERABRASIVSTRAHLSCHNEIDEN		
	Dicke [mm]	V _f [m/min]		Dicke [mm]	V _f [m/min]
GUMMI	25	3	STAHL	25	0,5
LEDER	5	3	TITAN	20	0,3
PAPIER/KARTON	0,25	20-500	ALUMINIUM	30	0,75
PVC	5	2,5	FVK	5	6,0
GFK	5	0,15	NATURSTEIN	50	0,075
CFK	5	0,1	KERAMIK	30	0,05
SPERRHOLZ	5	5	GLAS	35	0,04
DÄMMSTOFFE	100	8	BETON	50	0,075

TAB. 1: PARAMETER ZUM SCHNEIDEN UNTERSCHIEDLICHER WERKSTOFFE. QUELLE (KLOCKE UND KÖNIG 2007)

Eigenschaften der verschiedenen Verbundmaterialien beinhalten, lassen sich diese mit klassischen Verfahren sehr schwer verarbeiten.

Das Wasserstrahlverfahren wurde in der Landtechnik erfolgreich eingesetzt. Besonders in Deutschland haben (Linke und Liebers 1992) und (Ligocki 2005) Untersuchungen hinsichtlich der Qualität des mit Wasserstrahl geschnittenen Produktes am Beispiel von Zuckerrüben durchgeführt. Alternative Methoden werden im Bereich der Schneidtechnik in der Landwirtschaft bei (Brüser und Harms 2005), (Brüser und Harms, 2006) beschrieben. Außerdem werden hier moderne Schneidtechniken zusammengefasst, welche auch (Ligocki 2005) in seiner Dissertation erwähnt. Das Forschungsspektrum dieser Technologien ist umfangreich. Im Rahmen des Promotionsvorhabens „Bestimmung optimaler Parameter eines Früchteschälprozesses durch Hochdruckwasserstrahlschneidtechnik“ werden andere Aspekte als die vorgenannten dieser Technologie beim vorgeschlagenen Verfahren untersucht.

Im vorliegenden Projekt wird kein Abrasivstoff genutzt, so dass die Parameter die diese Stoffe kennzeichnen, hier nicht betrachtet werden. Die zu schneidenden Materialien im hier behandelten Projekt sind tropische Früchte z.B. Ananas, Mango und Papaya.

In dieser ersten Phase ist die Anlage mit o.g. Früchten getestet worden.



Abb. 2: PRÜFSTAND

EXPERIMENTELLE ARBEITEN

MONTAGE UND INBETRIEBNAHME DER VERSUCHSANLAGE

In Abbildungen 2 und 3 ist der montierte und in Betrieb genommene Prüfstand zu sehen. Es wurden zwei Systeme integriert, das Hochdruckwassersystem und die Steuerung des Schneidkopfes.

Die Hochdruckpumpe ist eine Zweikolbenpumpe, siehe Abbildung 3, die nach dem Prinzip des Druckübersetzers (1:20) arbeitet. Als Antrieb dient ein ölhydraulisches System. Die Hochdruckpumpe kann einen maximalen Druck von 4.000 bar erzeugen. Das Schneidesystem wird durch eine SPS gesteuert. Der Schneidkopf kann mit Saphirdüsen unterschiedlichen Durchmessers (0,08 mm bis 0,45 mm) betrieben werden, wodurch die Wasserstrahlgeometrie und der Druck beeinflusst und optimiert werden können.

Zur Bewegung des Schneidkopfes wird ein X, Y- Koordinatentisch eingesetzt, siehe Abbildung 2. Er hat einen Verfahrweg von jeweils 500 mm in X- und Y-Achsenrichtung. Die Z-Achse hat einen Verfahrweg von 400 mm und wird zur Einstellung der Höhenkoordinate der Düse verwendet. Die Steuerung der Halterung der Güter und des pneumatischen Ein- und Ausschaltventils des Schneidkopfes erfolgt über den Controller des X, Y- Koordinatentisches.

Die Erfassung der Messdaten wie Strahlab-



stand, Wasserdruck sowie Drehwinkel der Frucht wird durch einen Hochleistungs-PC realisiert.

Zur Bilderkennung wird ein CCD Sensor (FireWire Color Camera CCD, Progressive Scan 1280x960 Pixel) verwendet.

Auf Grundlage dieser Daten wird unter Zuhilfenahme von in Visual Studio (Visual .Net) programmierte Algorithmen die Geometrie der Frucht virtuell im PC nachgebildet.

Diese Algorithmen beruhen auf der Analyse des digitalen Bildes bezüglich identifizierter Kanten und Farbregionen (Carreño Olejua, 2004), (Wolf, 2002). Diese Informationen werden ausgewertet und zur Definition der notwendigen Schnittebenen benutzt. Letztendlich wird durch das Programm der Weg der Wasserstrahldüse so gesteuert, dass die gewünschten Schnittverläufe durch die Frucht erfolgen.

AUTOMATISIERUNG UND DATENERFASSUNG

Die Montage und die Installation der Sensoren und Aktoren soll die Automatisierung und Datenerfassung ermöglichen. Die Daten werden für die Druckregelung und die Steuerung verwendet.

Ein PC dient zur zentralen Steuerung und Regelung des Prozesses und zur Erfassung der Daten. Auf ihm sind die jeweiligen Komponenten, Treiber und Software für die Automatisierung und die Datenerfassung installiert.



Abb. 3: DRUCKÜBERSETZER DER HOCHDRUCKPUMPE

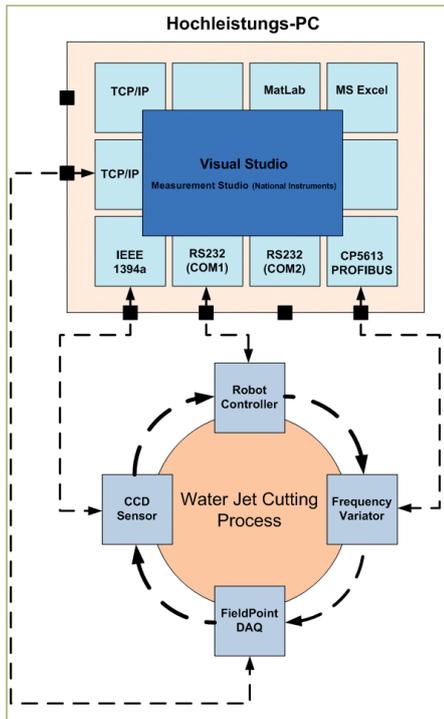


ABB. 4: AUTOMATISIERUNGS- UND KOMMUNIKATIONSSCHEMA DES HOCHDRUCKWASSERSTRAHLSYSTEMS

Abbildung 4 zeigt das Kommunikationsschema. Ein Hochleistungs-PC wird als Master eingesetzt. Der Controller des X,Y-Koordinatentisches kommuniziert mit dem PC durch eine RS-232-Schnittstelle. Die PCI-Karte, CP-5613 von Siemens, ermöglicht über das PROFIBUS-Protokoll die Kommunikation zwischen PC und Frequenzumrichter des ölhydraulischen Antriebs. Dieser dient als Akteur zur Regelung des Schneiddruckes. Wasserdruck und Strahlabstand werden mit Hilfe von Sensoren (Hochdrucksensor 8221 sowie potentiometrischer Wegsensors 8710,

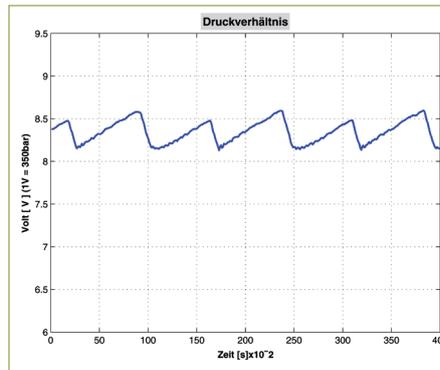


ABB. 5: DRUCKSIGNAL DES HOCHDRUCKWASSERSYSTEMS

jeweils von Burster) über das Fieldpoint System von National Instruments gemessen. Eine weitere PCI-Karte (PCI IEEE 1394) empfängt die Daten der CCD Kamera der Firma THEIMAGINGSOURCE.

Daneben wird die Steuerung der zusätzlichen Achsen der Schneidanlage (Z-Achse und Festhaltesystem) durch eine digitale, am Koordinatentischcontroller eingesteckte I/O Karte, realisiert.

ERSTE ERGEBNISSE

Die Anlage wurde in Betrieb genommen, wobei folgende Parameter eingestellt wurden oder sich durch die bauliche Situation ergaben: Die am ölhydraulischen System programmierten Druckgrenzen sind 400 bar Minimum und 3.200 bar Maximum bei einem Volumenstrom von 0,6 l/min. Die Länge der Hochdruckrohrleitung, welche von den baulichen Randbedingungen des installierten Systems abhängig sind, beträgt 17 m. Die verwendete Düse hat ein Durchmesser von 0,1 mm.

Unter diesen Bedingungen beträgt der durchschnittliche Druck des Wasserstrahles an der Düse 3080 – 2920 bar, wie in Abbildung 5 gezeigt. Mit diesen Einstellungen wurden erste Versuche mit Äpfeln, Zucchini, Melonen, Mangos und Ananas durchgeführt. Dabei musste die Vorschubgeschwindigkeit und -richtung sowie Schnittdicke und Winkelposition der Frucht vorgegeben werden. Die Befehle zur Steuerung der CNC-Anlage wurden durch ein PC-Programm in Visual.Net generiert und zum Controller des Koordinatentisches übertragen.

Abbildung 6 zeigt die Genauigkeit und Qualität eines Schnittes mit komplexen Konturen. Außerdem ist zu sehen, wie sich ein Schnitt mit Wasserstrahl im Gegensatz zum Schnitt mit einem Messer auf die Haltbarkeit der Frucht auswirkt (Carreño Olejua und Hofacker, 2008). Hier wird auch eines der Hauptziele des Projektes erwähnt, welches mit der Verminderung der Abfälle bei den Schneidprozessen zu tun hat. Der Wasserstrahlschälprozess sowie die entstehenden komplexen Formen sind von der HTWG Konstanz zum Patent angemeldet worden.

PERSPEKTIVEN

Ziel des Projektes ist die Anwendung des Hochdruckschneidverfahrens, um ein landwirtschaftliches Produkt entsprechend seiner individuellen Anatomie zu schneiden oder zu schälen bzw. von unerwünschten Inhaltsstoffen zu befreien.

Im weiteren Verlauf des Projektes sollen die Verfahrensparameter (Wasserdruck, Schnitt-



ABB. 6: SCHNITTBEISPIEL DES HOCHDRUCKWASSERSYSTEMS

geschwindigkeit, Schnitttiefe, Schnittqualität) für unterschiedliche Früchte und Fruchtmaterialien untersucht werden. Die Kenntnis des funktionalen Zusammenhanges dieser Parameter wird es erlauben, das Verfahren hinsichtlich der Steuerung zu optimieren und zu vereinfachen. Insbesondere soll untersucht werden, ob der Wasserdruck beim Schneiden von Früchten vermindert werden kann. Denn eine Reduktion dieses Parameters würde die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens und seine Nutzungsmöglichkeiten stark verbessern.

In der Schneidanlage wurden Aktoren und Sensoren installiert, welche erlauben die Schnittparameter zu untersuchen. Wie im Kommunikationsschema gezeigt, ist ein Frequenzumrichter am Antriebsmotor des ölhydraulischen Systems und entsprechende Sensoren in den Hochdruckrohrleitungen montiert. Die Frequenzeinstellung dient hier dazu das Studium des Verhältnisses zwischen Druck, Durchmesser der Düse und Druck als Funktion der Wassermengenförderung zu ermöglichen, da der Druck direkt mit der Frequenz zusammenhängt.

Dank des Automatisierungsgrades des Systems wurden die notwendigen Tests durchgeführt um eine Druckmappe des Verhältnisses der Maschine anzugeben, siehe Abbildung 7. Der untersuchte Bereich liegt zwischen 5 bis 50 Hz bei einer Reihe von Düsen zwischen 0,08 mm bis 0,35 mm Durchmesser, welche auch im Projekt benutzt werden. Die Druckmappe ist geradewegs proportional zu der Wassermenge und steht in Zusammenhang mit dem Bernoullischem Gesetz. Die Daten werden neben den Untersuchungen der optimalen Schneidparameter für die Bewertung eines Schneidqualitätskonzepts benutzt. In Rahmen dieses Themas wurden im Mai 2008 Voruntersuchungen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Produktionstechnik und Logistik der Universität Kassel durch Herrn Dr.-Ing. Cortes durchgeführt. Dort wurde für einen mit einem Edelmesserschneider geschnittenen Apfel die Oberfläche mit einem chromatischen Sensor gescannt und damit konnte es festgestellt werden, dass sich ein Konzept für die Qualität eines Schnittes ergeben könnte. Zwischen den geplanten Themen dieses Projektes entstehen als nächster Schritt

die Entwicklung eines Fruchtkonturerkennungsalgorithmus sowie der jeweilige in Visual .Net geschriebene CNC-Programmgenerator. Außerdem ist es möglich mit den erfassten Daten einen Fuzzy - Controller zu entwickeln und zu programmieren, um den Druck der Anlage für die zukünftigen Versuche konstant zu halten.

DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich beim IAF der Hochschule Konstanz, dem DAAD und der Päpstlichen Bolivariana Universität (UPB) sowie bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) für die finanzielle Unterstützung.

LITERATUR

- Alitavoli, M. und Mc. Geough, J.A. 1998. An Expert process planning system for meat cutting by high pressure water-jet. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 84. 1998, S. 130-135.
- Allende, A., Tomás-Barberán, F. und Gil, M. 1997. Minimal Processing for healthy traditional foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17. 1997, S. 513-519.
- Becker, R. und M. Gray, G. 1992. Evaluation of a Water Jet Cutting System for Slicing Potatoes. *Journal of Food Science*, Vol. 57,1. 1992, S. 132-137.
- Brüser, C. und Harms, H.H. 2005. Alternative Schneidtechniken zum Trennen organischer Güter. *Landtechnik*, Vol. 60, H. 5. 2005, S. 254-255.
- Brüser, C. und Harms, H.-H. 2006. Wasserstrahlschneiden von Zuckerrüben. *Landtechnik*, 61, H. 6. 2006, S. 380-381.
- Carreño Olejua, R. 2004. *Optische Trenntechnik und Qualitätssicherung getrockneter Früchte durch Bildbearbeitung*. Konstanz: HTWG Konstanz, 2004. Masterthesis.
- Carreño Olejua, R. und Hofacker, W. Dez. 2008. *Verminderung von Abfällen durch rechnergesteuerten Wasserstrahlschnitt*.

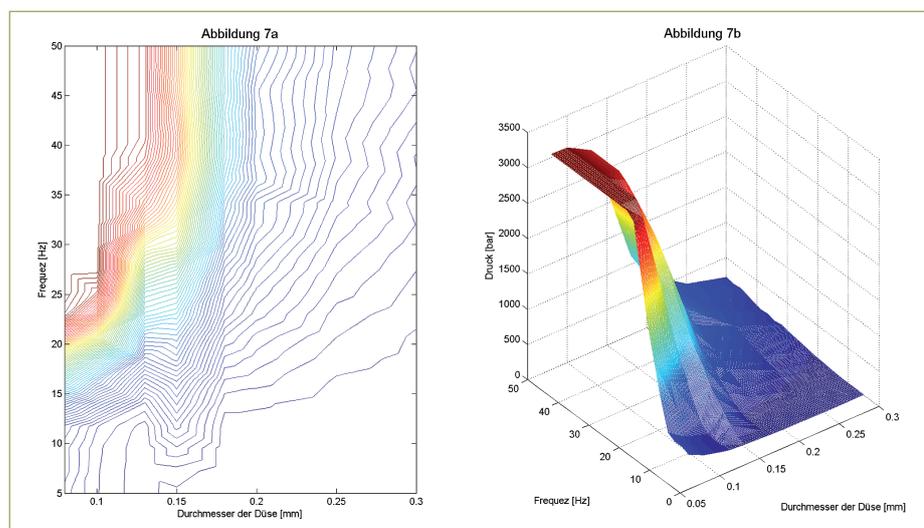


Abb. 11: DRUCKMAPPE DES HOCHDRUCKWASSERSTRAHLSCHNEIDSYSTEM DER HTWG KONSTANZ. MASCHINENBAU – VERFAHRENSTECHNIK. (7A) ZEIGT EINE LAGRANGE MAPPE DES DRUCKS, JEDE LINIE ENTSpricht EINEM WERT VON 50BAR UND INKREMENTIERT NACH OBEN LINKS. (7B) ZEIGT DIE DRUCKMAPPE IN 3D.

Konstanz: VDI- Mitteilungen des Bodensee-Bezirksvereins H. 45. S. 13, Dez. 2008. VDI Bericht.

DIN, 8580:2003. 2003. *Fertigungsverfahren: "Begriffe Einleitung"*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2003.

EBSL. 12 Januar 2000. *Weißbuch zur Lebensmittelsicherheit, kommission der europäischen Gemeinschaften*. Brüssel : EBSL, 12 Januar 2000.

Hoyos V., Gallos P. Bogotá (Colombia) 6D, 7Sc, 1993. Control de calidad y normalización de frutas y hortalizas para la exportación. *Centro Nacional de Investigaciones de Café, GTZ, FNC, FAO*. Bogotá (Colombia) 6D, 7Sc, 1993, S.127-140.

Klocke, F. und König, W. 2007. *Fertigungsverfahren 3, Abtragen, Generieren Lasermaterialbearbeitung*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2007.

Las Practicas culturales influyen sobre la calidad de la fruta en post cosecha. Arpaia M., Rooyen, Bower, Hofman, Wolf. 29.09-01.10 2004. Chile : s.n., 29.09-01.10 2004. 2. Seminario Internacional de Paltos.

Ligocki, A. 2005. *Schneiden Landwirtschaftlicher Güter mit Hochdruckwasserstrahl, Dissertation*. s.l. : ILF, TU-BS, ISBN 3-8322-3941-3., 2005.

Linke, L. und Liebers, H. 1992. Qualitätsanforderungen beim Schneiden von Obst und Gemüse. *Lebensmitteltechnik, Vol. 6*. 1992, S. 24-29.

Mc. Glynn, W.G., D.D., Bellmer und Reilly, S.S. 2003. Effect of precut sanitizing DIP and water jet cutting on quality and shelf-life of fresh-cut watermelon. *Journal of Food Quality, Vol. 26*. 2003, S. 489-498 .

Performances of HP fluid jet to cut food products. Merle, C. August 28-31, 1993. Seattle, Washington : s.n., August 28-31, 1993. 7th American Water Jet Conference, Paper 7.

Wolf, T. 2002. *Eine Anlage zum Sortieren von Partikeln nach komplexen Kriterien, z.B. der Farbe*. Konstanz : HTWG Konstanz, 2002. Masterthesis.

DIMENSIONAL CHARACTERIZATION OF HIGHLY-STABLE MATERIALS USING AN INTERFEROMETRY-BASED DILATOMETER

Jorge Cordero Machado, Steffen Weimer, Thomas Heinrich, Thilo Schuldt, Martin Gohlke, Dennis Weise, Ulrich Johann and Claus Braxmaier



DIPL.-ING. JORGE CORDERO MACHADO Study of Electric Engineering and Communication Techno-

logy at the Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla (Spain). In 2006 and 2007 he completed courses abroad at the HTWG Konstanz as an ERASMUS exchange student. He performed his diploma work at Astrium GmbH (Friedrichshafen) in the here described project under supervision by Prof. Dr. Claus Braxmaier from the HTWG Konstanz.



PROF. DR. CLAUS BRAXMAIER Study of precision engineering at the University of Applied Sciences Furtwangen, and physics at the University of Konstanz where he performed his Ph.D. thesis in the field of fundamental tests of physics based on high resolution optical metrology. Postdoc at the AG Quantum-metrology Prof. Achim Peters, Ph.D., University of Konstanz. 2001 - 2005 EADS Astrium, system responsible for scientific and earth observation missions for ESA and head of group „Mission Metrology“. Since 2005 professor for physics and control theory at the University of Applied Sciences Konstanz (HTWG). Member of „Institut für Angewandte Forschung“ and „Institut für Naturwissenschaften und Mathematik“ Konstanz, as well as the network „PhotonicsBW“ Baden-Württemberg. Since 2008 director of the „Institute for Optical Systems“ Konstanz. Two research labs: HTWG and Astrium GmbH Satellites (Friedrichshafen).

Applied Sciences Furtwangen, and physics at the University of Konstanz where he performed his Ph.D. thesis in the field of fundamental tests of physics based on high resolution optical metrology. Postdoc at the AG Quantum-metrology Prof. Achim Peters, Ph.D., University of Konstanz. 2001 - 2005 EADS Astrium, system responsible for scientific and earth observation missions for ESA and head of group „Mission Metrology“. Since 2005 professor for physics and control theory at the University of Applied Sciences Konstanz (HTWG). Member of „Institut für Angewandte Forschung“ and „Institut für Naturwissenschaften und Mathematik“ Konstanz, as well as the network „PhotonicsBW“ Baden-Württemberg. Since 2008 director of the „Institute for Optical Systems“ Konstanz. Two research labs: HTWG and Astrium GmbH Satellites (Friedrichshafen).

ABSTRACT

We present an advanced optical dilatometer for high accuracy and high resolution absolute measurement of the linear coefficient of thermal expansion (CTE_l). Based on a highly-symmetric differential heterodyne interferometer with two Michelson interferometer arms dimensional changes of a tubular shaped specimen under controlled thermal conditions can be characterized. Our measurement facility is located in vacuum and offers ppb (10^{-9}) sensitivity; the test specimen can be temperature controlled in a temperature range between 20°C and 60°C . A thermally stable support and two identical isostatic mirror clamps were specifically designed to fix a reference and a measurement mirror inside the sample tube enabling a non-tactile measurement where no load in the axial direction is applied to the device under test (DUT). We measured the linear CTE of two carbon-fiber reinforced plastic (CFRP) tubes with different predicted linear CTEs at room temperature: $-0.647 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ and $0 \pm 2.5 \cdot 10^{-9} \text{ K}^{-1}$, respectively. Currently, we are investigating the manufacture limitations of the CFRP and the limitations of our apparatus in terms of measurement accuracy. In a next step we will characterize a specifically manufactured zero-class Zerodur tube with a CTE value $< 10 \cdot 10^{-9} \text{ K}^{-1}$. Due to its high thermal stability and non-directional structural isotropy this material has been chosen for macroscopic calibration of the metrology system. The results of these measurements will thus provide the resolution limitations of our facility and can be taken as an absolute accuracy reference.

1 INTRODUCTION

Materials and solid state bodies change their geometrical dimensions with a change of the ambient temperature. The length stability of a solid material is characterized by the linear coefficient of thermal expansion (CTE_l), which is defined by

$$CTE_l = \alpha = \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad [\text{Equation 1}]$$

where $\Delta L/L$ represents a relative length variation when the material is exposed to a temperature variation ΔT . For volumetric dimensional changes, the cubic coefficient of thermal expansion is defined by

$$CTE_v = \beta = \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad [\text{Equation 2}]$$

For an isotropic material $\beta = 3\alpha$. This material specific property is in general temperature-dependent but for several materials it can be approximately constant over a wide temperature range.

The CTE varies over temperature depending on the kind of materials, either pure solids or composites. Pure solids follow the Debye model of heat capacity C_v as function of the temperature with a T^3 dependence, where exists a linear correlation between the volumetric CTE and the heat capacity for low temperatures: $CTE_v \propto C_v$.

For composite materials with a precise constituent's proportion and a well-studied manufacture process the CTE is tunable by design. Thus, a composite with a negative and a positive CTE constituent can be tuned to obtain a desired CTE. This can be even close to zero over a determined temperature range. Generally, the thermal properties of a solid material together with its stiffness and density (see table 1) determine its mechanical structural quality and therefore its possible applications.

A study of the CTE can provide information about quality defects in the structure caused during manufacturing or storage, manufacture errors, ageing or fatigue effects. In composites the CTE can even provide information about its composition, i.e. the relative quantity of each component. For this reason materials are usually thermally characterized by measuring the CTE. From now on we will refer to the linear CTE as CTE, since our apparatus is intended to measure dimensional changes in length and not in volume. For this purpose – for

a sample of known length L – two physical quantities have to be measured (ΔL and ΔT). The most common measurement techniques are thermomechanical analyzers and optical dilatometry, where the latter one offers higher accuracy since the change in length of the DUT is measured as a fraction of the source laser wavelength. There is a wide variety of materials with very low CTE (cf. table 1), but only some of them like for instance carbon-fiber reinforced plastic (CFRP) and Zerodur offer a tunable CTE. CFRP is made from pyrolysis treated carbon-fibers of polyacrylonitrile (PAN) and a polymeric matrix of epoxy resin. Isotropic materials, like polymers expand equally in all directions, but the fibers used to reinforce this polymer resin matrix, carbon fibers in case of CFRP, are not isotropic. The oriented fibers, which are stiffer than the matrix, produce a composite stiffness higher in the direction of the fiber orientation and in the transverse direction. Thus, the thermal deformation in the axial direction of a CFRP tube can be controlled by combining a fiber of appropriate axial stiffness and negative thermal expansion with a matrix of given stiffness and positive thermal expansion. With this premise and a well-controlled plies lay-up, a theoretical zero thermal expansion at a given temperature in the direction of interest can be designed. In practice, the CTE is limited by the manufacturing process. Highly stable but lightweight materials find its application in aeronautical and space structures, where the highest stability

requirements have to be met. Particular challenging requirements have to be fulfilled for the LISA space mission (Laser Interferometer Space Antenna, [1-3]), where the distance between primary and secondary mirror in the telescope must be stable to a few picometers. Only few materials offer sufficient thermal stability to provide such a performance. Candidates are for example Zerodur and carbon-fiber reinforced plastic (CFRP), where the latter is preferred in terms of mechanical stiffness (which is similar to metal) and robustness (cf. table 1). In case of the LISA telescope structure, the total ‘single link’ pathlength distortion caused by thermal expansion of the full telescope spacer material is

$$\Delta L = 2L_{spacer} \cdot CTE_{spacer} \cdot \Delta T \quad \text{[Equation 3]}$$

where L_{spacer} is the distance between the primary and secondary mirrors of the telescope (traveled twice before reaching the optical bench) and CTE_{spacer} is the coefficient of thermal expansion of the spacer material. Within the LISA Mission Formulation Study currently conducted by Astrium GmbH under ESA contract, the maximum geometrical pathlength changes due to telescope deformation are presently allocated to be

$$L_{spacer} \cdot CTE_{spacer} < 200 \text{ nm} / \text{K} \quad \text{[Equation 4]}$$

This implies a maximum CTE_{spacer} value of approximately $0.2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, where the in-operation telescope temperature ranges from $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ (external spacecraft area) to $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (optical bench).

To characterize thermally highly stable materials we have developed a high accuracy measurement facility based on heterodyne laser interferometry, which is able to measure dimensional changes with sub-nanometer sensitivity. So far the facility has been used to characterize tubes of carbon-fiber reinforced plastic.

2 MEASUREMENT METHOD

Our facility was designed for measuring the CTE of cylindrical tubes with a 20 mm internal diameter, a $\sim 2 \text{ mm}$ wall thickness and a maximum length of 120 mm. The device under test (DUT) is placed inside a radiation heating with Peltier elements used for temperature control. A temperature test function (such as a sine or square wave) is applied to the heating system and the resulting temperature variation ΔT of the tube is measured by high sensitivity temperature sensors. Two mirrors are fixed inside the tube by a distance L , its length variation ΔL when exposed to temperature changes is measured by use of a differential heterodyne interferometer, cf. figure 1. The interferometer is based on a highly symmetric design, where two Michelson interferometers are implemented to achieve differential length variation measurements

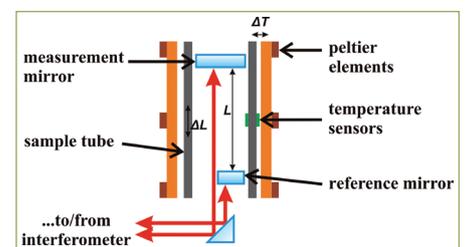


FIG. 1: BLOCK DIAGRAM SHOWING THE CTE METROLOGY PRINCIPLE. REFERENCE AND MEASUREMENT BEAMS HAVE THE SAME FREQUENCY AND POLARIZATION COMING FROM A SAME BEAM PREVIOUSLY SPLIT. THE OPTICAL PATHLENGTH DIFFERENCE L BETWEEN THE INTERFEROMETER ARMS IS DETERMINED BY THE SEPARATION DISTANCE OF THE REFLECTIVE SURFACES OF THE REFERENCE AND MEASUREMENT MIRRORS FIXED INSIDE THE DUT.

	COMPOSITION	STRENGTH [GPA]	DENSITY [KG/M ³]	CTE [PPM/K]
INVAR36	Fe(64)Ni(36)	~ 140	~ 8000	~ 1.6
DFRP	PAN fibers-epoxy	~ 220	~ 1700	~ -0.5
ZERODUR	Ceramic-glass	90	~ 2500	< 0.01
ULE	Titania silicate	67.6	2210	< 0.03
FUSED SILICA	SiO ₂	73	2200	0.4

TAB. 1: PROPERTIES OF THERMALLY HIGHLY STABLE MATERIALS.

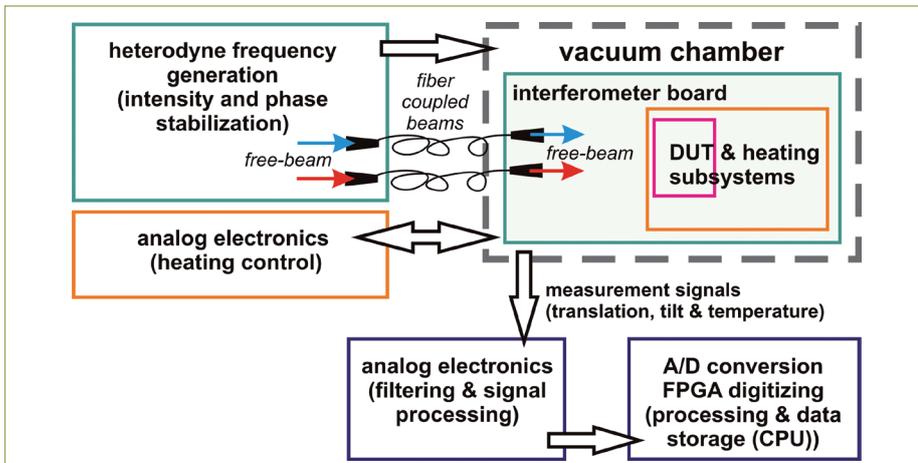


FIG. 2: OVERVIEW SKETCH SHOWING THE FUNCTIONAL SUBSYSTEMS OF OUR CTE MEASUREMENT FACILITY.

between a reference and a measurement arm [4-6]. The symmetry of the optical setup implies that reference and measurement beams of the interferometer have the same frequency and polarization, as well as similar optical pathlengths, except the distance L between the reference and measurement mirrors clamped inside the tube. Heterodyne interferometry provides high accuracy and easy implementation of an in-quadrature phase readout offering a dynamic range not limited to $\lambda/2$ in the optical path difference. From the point of view of material characterization or dimensional thermal analysis this means the ability to characterize materials with non-monotonic thermal expansion and also the exposure of the DUT to periodical thermal cycling.

The method of differential wavefront sensing [7,8] is utilized for measuring a tilt

of the mirrors in the tube. This allows the detection of irregular deformations or rotations of the device under test with sub-microradian resolution.

3 MEASUREMENT SET-UP

Our highly symmetric heterodyne interferometer was originally developed as a lab demonstrator for an optical readout of the LISA gravitational reference sensor, where translation and tilt of a free flying proof mass with respect to the optical bench must be measured. With this interferometer, noise levels below 10 pm/√Hz in translation measurement and below 10 nrad /√Hz in tilt measurement, both for frequencies above 10^{-2} Hz, are achieved.

An overview sketch of the adapted setup for high accuracy optical dilatometry is

shown in figure 2 depicting its functional subsystems and the corresponding optical and electric interfaces. The measurement facility, i.e. the interferometer and the DUT and heating subsystems, is placed inside a vacuum chamber operated at pressures below 10^{-4} mbar in order to avoid air turbulence and to provide a thermally stable environment.

A photograph of the optical setup inside the vacuum chamber is shown in figure 3, a schematic in figure 4. The laser light with frequency f_2 is split in two parallel beams and directed to the interior of the sample tube where one beam is reflected by the reference mirror and the other by the measurement mirror. Each of these mirrors represents the measurement end mirror of a classical heterodyne Michelson interferometer. The signals coming from the tube are superimposed at a non-polarizing beamsplitter with the laser light of frequency f_1 resulting in a reference and a measurement beam at the heterodyne frequency. They are both detected by a quadrant photodiode, where the sum signals are used for the translation measurement and the four halves (up, down, left, right) signals for tilt measurement. All signals are amplified, anti-aliasing filtered and transferred to a Field Programmable Gate Array (FPGA) computer board. The signals are digitized with a sample rate of 160 kHz. The phase measurement

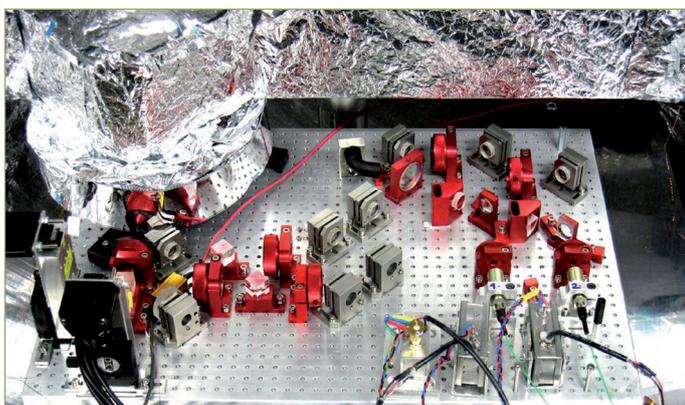


FIG. 3: MEASUREMENT FACILITY INSIDE THE VACUUM CHAMBER. THE HEATING SUBSYSTEM IS MOUNTED, COVERING THE SAMPLE TUBE SUPPORT.

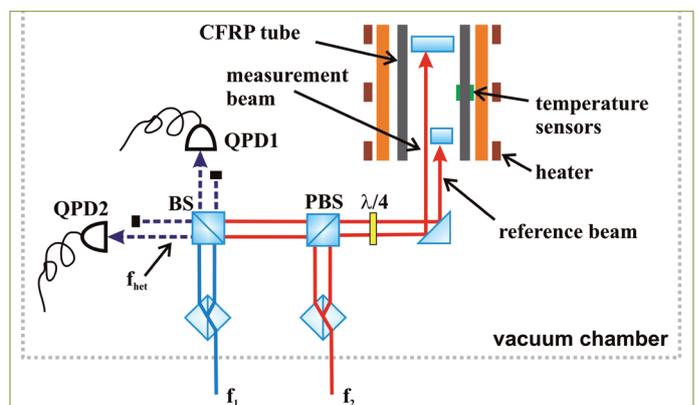


FIG. 4: SCHEMATIC OF THE MEASUREMENT FACILITY, I.E. INTERFEROMETER, DUT AND HEATING SUBSYSTEMS INSIDE THE VACUUM CHAMBER.

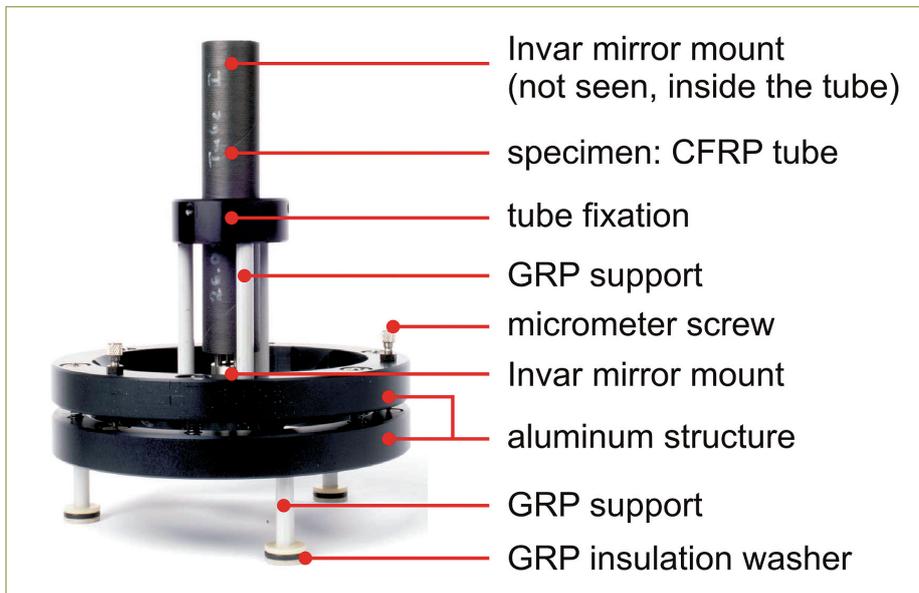


FIG. 5: CFRP TUBE MOUNTED IN THE SUPPORT, THE MIRROR CLAMPS ARE ALREADY FIXED AT THE TOP AND BOTTOM ENDS OF THE TUBE.



FIG. 6: MEASUREMENT MIRROR (LEFT) AND REFERENCE MIRROR (RIGHT) MOUNTED ON THE CLAMPS. THE REFERENCE MIRROR IS CUT IN ORDER TO ALLOW THE MEASUREMENT BEAM TO PASS TO THE MEASUREMENT MIRROR.

is proportional to the displacement between reference and measurement mirrors

$$\phi(t) = \frac{4\pi n}{\lambda} \Delta l(t) \quad [\text{Equation 5}]$$

DUT SUBSYSTEM

The sample tube support and the mirror clamps are two key components of our measurement facility. The tube is mounted on an anodized aluminum support which is thermally insulated against the cast aluminum interferometer board by use of thin-walled fiberglass tubes. The tube is vertically mounted and supported in the middle in order to compensate for gravity expansion of the lower half and compression of the upper half. Three fine thread screws placed

triangularly in the support encircling the sample tube are used for an angular adjustment of the tube in relation to the mirror on the interferometer board that directs reference and measurement beams perpendicular upwards inside the tube (cf. figure 5). Two identical mirror clamps were designed to fix both reference and measurement mirrors inside the tube (see figure 6) where Invar36, an iron-nickel alloy which offers a very low coefficient of thermal expansion (cf. table 1), was chosen as material. Each mirror clamp is made up of six legs of the same length. Three of them fix the clamp to the inner surface of the CFRP tube; the

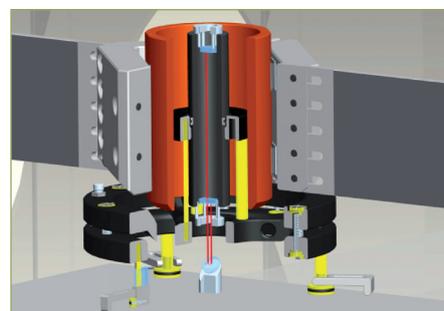


FIG. 7: CROSS-SECTIONED SCHEMATIC OF THE TEST FACILITY, SIMULATING A MEASUREMENT PROCESS.

THE MIRRORS ARE MOUNTED INSIDE THE SAMPLE TUBE WHICH IS SURROUNDED BY THE TEMPERATURE CONTROLLED COPPER CYLINDER. ALSO SHOWN IS THE ALUMINUM SUPPORT OF THE HEATING SUBSYSTEM MOUNTED TO THE VACUUM CHAMBER WALLS.

other three legs fix the mirror inside the clamp. The reflective mirror surface together with the six clamping points of the clamp legs define a thermally neutral plane, which in case of a thermal expansion of the clamp due to a temperature variation keeps the reflective mirror surface unmoved. The mirror clamps are fixed inside the tube with a 10% of the tube length separation distance to the tube ends in order to avoid edge effects of the CFRP tube.

HEATING SUBSYSTEM

The heating set-up works in vacuum where the heat is only transferred via radiation. No heat conductivity medium is present between the heating subsystem and the DUT subsystem. The heating set-up is made of a copper cylinder in contact with peltier elements which radially encloses the DUT and offers similar transfer functions for heating and cooling. The cooling and heating energy of the peltier elements are directed to the walls of the vacuum chamber. The whole set-up is covered with multi-layer insulation (MLI) to insulate the interferometer baseplate from the temperature variations (see figure 3). It also conducts the heat to the walls of the chamber without affecting the interferometer board (cf. figure 7).

Temperature changes are supplied in form of periodical changes as thermal cycling by actuating the peltier elements with a PID temperature controller driven by a function generator. A Pt100 temperature sensor is glued to the copper cylinder inner surface and provides the actual operating temperature of the heating subsystem to be controlled. Two additional temperature sensors are fixed to the middle of the sample tube (inner and outer surface) using a heat conductive epoxy. All sensors are connected in a four-wire system to low noise bifilar braided Manganin (copper-manganite-nickel alloy) wires with a low heat conduction capability.

4 FACILITY CHARACTERIZATION

In order to characterize our measurement facility we first measured the transfer function response of one single mirror under thermal cycling. The mirror was clamped at the top of the support acting as reference and measurement mirror, no test sample was mounted. A temperature sensor was fixed to the mirror for temperature monitoring. We calculated the power spectral density from the length variation

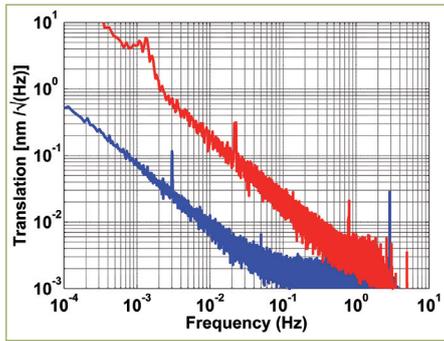


FIG. 8: NOISE LEVELS FOR EXPANSION MEASUREMENT. SHOWN ARE THE NOISE LEVELS BY THE INTERFEROMETER ITSELF, WHERE REFERENCE AND MEASUREMENT BEAM ARE REFLECTED BY THE SAME FIXED MIRROR. THE LOWER LINE REPRESENTS THE INTERFEROMETER NOISE LEVEL WHERE THE MIRROR IS MOUNTED ON THE INTERFEROMETER BOARD, THE UPPER LINE THE NOISE LEVEL WHERE THE MIRROR IS MOUNTED IN THE TUBE SUPPORT AND A SINE THERMAL CYCLING WITH $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ AND A 2 HOURS PERIOD IS APPLIED.

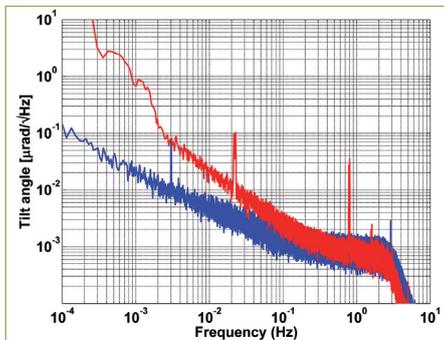


FIG. 9: NOISE LEVELS FOR TILT MEASUREMENT. THE LOWER LINE REPRESENTS THE NOISE OF THE INTERFEROMETER AND THE UPPER LINE THE NOISE WHEN THE TUBE SUPPORT IS IMPLEMENTED. MEASURED THE SAME WAY AS IN FIGURE 8.

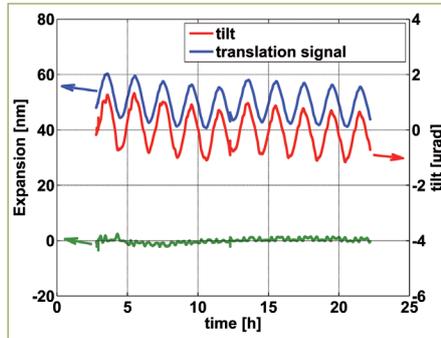


FIG. 10: A TILT OF ONE MIRROR LEADS TO A TRANSLATION MEASUREMENT. FOR A TILT ANGLE $\phi \ll 1$ THE INDUCED TRANSLATION FOLLOWS THE RELATION $\Delta L_{\text{INDUCED}} = 2\phi \cdot D$, BEING ϕ THE MEASURED ANGLE OF THE MIRROR IN THE AZIMUTHAL SENSE AND D THE DISTANCE BETWEEN REFERENCE AND MEASUREMENT BEAMS. THE LINE BELOW REPRESENTS THE RESIDUAL VALUE $\Delta L_{\text{MEASURED}} - \Delta L_{\text{INDUCED}}$, I.E. THE SYSTEM NOISE.

measurement data and obtained a noise level below $0.2 \text{ nm}/\sqrt{\text{Hz}}$ in translation (length variation) and below $20 \text{ nrad}/\sqrt{\text{Hz}}$ in tilt measurement, both for frequencies above 10^{-2} Hz (cf. figure 8 and figure 9). This measurement represents the behavior of the whole system without DUT, i.e. the maximum accuracy of our system. By applying a thermal cycling we measured a pathlength variation per Kelvin ($\Delta L/\Delta T$) of $\approx 4 \text{ nm/K}$. This pathlength variation is mainly caused by a tilt of the mirror in the support. The measured translation can therefore be corrected by subtracting the translation caused by the measured tilt (cf. figure 10), where a tilt of $1 \mu\text{rad}$ implies a length measurement of $\approx 8 \text{ nm}$.

The figures include the noise levels of the interferometer itself when operated with one fixed mirror representing measurement and reference mirror: well below $10 \text{ pm}/\sqrt{\text{Hz}}$ in translation and $10 \text{ nrad}/\sqrt{\text{Hz}}$ in tilt measurements, both for frequencies above 10^{-2} Hz [6].

5 MEASUREMENT AND RESULTS

With our facility we measured the CTE of two sample tubes of carbon-fiber reinforced plastic (CFRP). One of these tubes was specifically designed intended to fulfill the LISA telescope thermal stability requirements having a theoretical zero CTE.

SPECIMEN PREPARATION

The CFRP specimen was first subjected to a preceding drying in a thermal vacuum chamber. After mounting in the interferometer a thermal cycling for several days was applied, where the data was not taken for CTE calculation. Both activities improved the dimensional stability of the tube and reduced its moisture content near to zero.

MEASUREMENT PARAMETERS

It has been determined that the measurement facility works properly between 20°C and 60°C . Outside this range, the heating subsystem is not capable to conduct the heat energy to the outside of the vacuum chamber.

For CTE measurement a cycling period of at least one hour for a temperature range of $\pm 5^\circ\text{C}$ or $\pm 10^\circ\text{C}$ was chosen varying the temperature offset in the available range. Time and temperature parameters of the thermal cycling are chosen depending on the heating function type. When applying a square function for thermocycling a period of one hour or longer allows the sample tube to reach the desired value before the cooling starts. For a sine function cycling a one hour period for a $\pm 5^\circ\text{C}$ temperature range and a two hours period for a $\pm 10^\circ\text{C}$ temperature range showed the right performance of the sample tube.

A normal measurement process takes place during night, when the environmental disturbances are smaller. For very long measurements of over a week a cycling

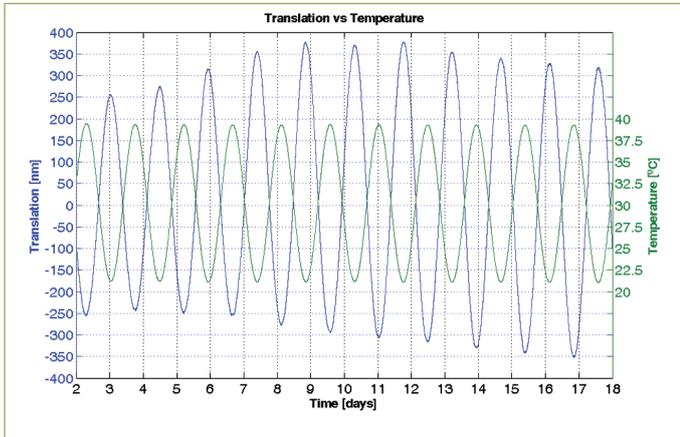


FIG. 11: MATERIAL BEHAVIOR WITH A 17 HOUR TIME HEATING PERIOD. SHOWN IS THE CFRP TEMPERATURE (GREEN LINE) AND THE RESULTING EXPANSION OF THE TUBE (BLUE LINE).

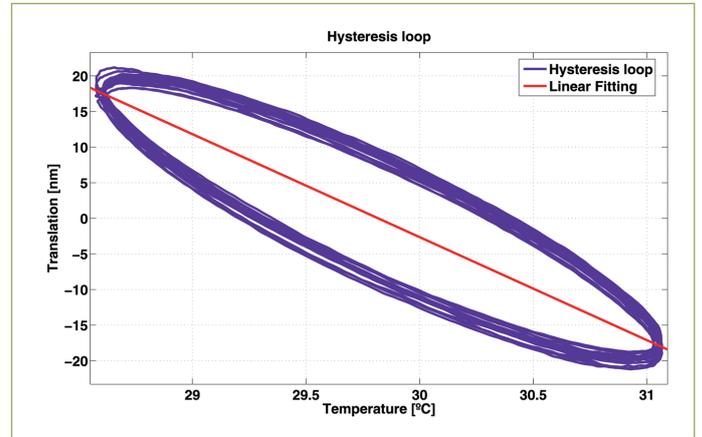


FIG. 12: MEASURED HYSTERESIS LOOP. THE STRAIGHT LINE CORRESPONDS TO A LINEAR FITTING WHOSE SLOPE IS TAKEN FOR THE CTE CALCULATION.

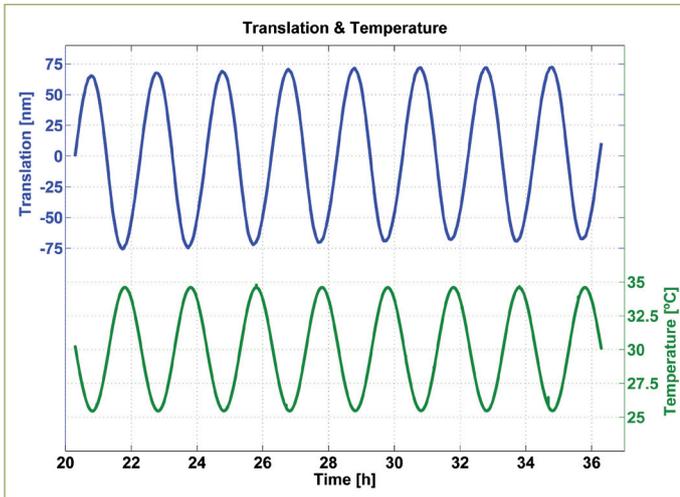


FIG. 13: MEASURED TRANSLATION VS. TEMPERATURE. NOTE THAT THE TRANSLATION IS PHASE SHIFTED BY AT LEAST 180° WITH RESPECT TO THE TEMPERATURE, CONSISTENT WITH A NEGATIVE CTE.

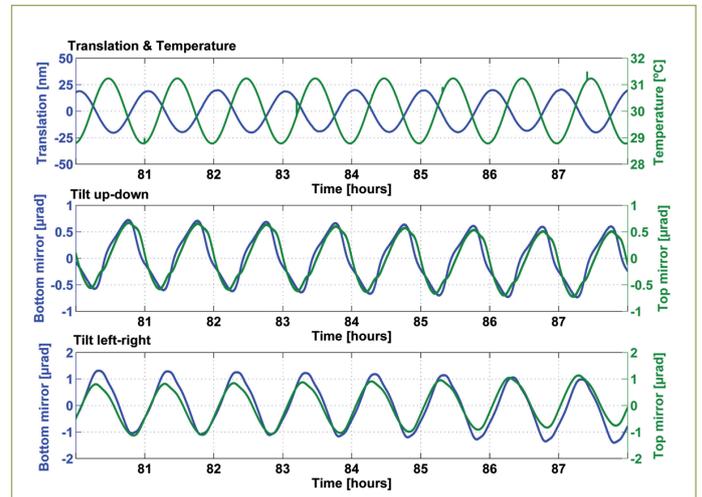


FIG. 14: MEASURED TRANSLATION VS. TEMPERATURE AND TILT ANGLES IN THE CENITAL AND AZIMUTHAL DIRECTION OF THE REFERENCE (QPD1) AND MEASUREMENT (QPD2) MIRRORS.

period of up to twenty hours can be chosen. For a long time measurement of approximately twenty days we observed the translation of the CFRP tube got stable after eight days with a heating period of seventeen hours (see figure 11). Compared to a square thermal cycling a sine cycling offers a more linear behavior of the CFRP, and is therefore preferred.

EVALUATION METHODS

The time series ΔL and ΔT as raw data stored from the measurements are used for CTE calculation where first a Least Square Fitting (LSF) process (applicable to both sine and square responses) or computational data filtering (only applicable when a sine function

is applied) is performed. For CTE calculation, three main methods can be applied:

1. hysteresis evaluation,
 2. frequency analysis (PSD),
 3. periodic segmentation analysis.
- (1) By periodical thermal cycling the thermal expansion of the CFRP tube follows a hysteresis loop (cf. figure 12) as a result of a delay in the length variation of the sample in response to the temperature change. The CTE can be calculated after linearizing the hysteresis curve,

$$CTE = m / L \quad [\text{Equation 6}]$$

where m is the slope of the linear regression line and L is the distance between reference

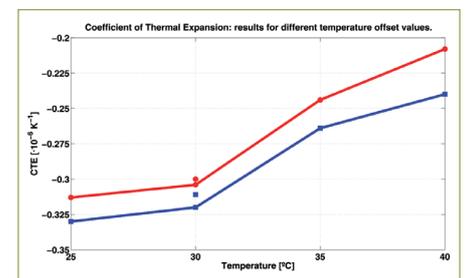


FIG. 15: MEASURED CTE FOR DIFFERENT OFFSET TEMPERATURES WHERE THE TEMPERATURE RANGE IN ALL MEASUREMENTS IS $\pm 5^\circ\text{C}$. THE LOWER CURVE REPRESENTS THE CTE WITHOUT, THE UPPER CURVE WITH TILT COMPENSATION (CF. TEXT). THE SINGLE POINTS AT AN OFFSET TEMPERATURE OF 30°C REPRESENT THE MEASUREMENTS WITH A HALF LENGTH TUBE.



FIG. 16: ZERODUR AND CARBON-FIBER REINFORCED PLASTIC TUBES.

and measurement mirrors. The resulting CTE values were more reliable for a sine cycling due to the linearity of the response.

(2) The second evaluation method, power spectral density analysis is only applicable for a sine thermal cycling. Once a significant number of heating periods is included in the PSD calculation, this method offers reliable results.

(3) This method is applied to long data series (several cycling periods, cf. figure 13) where each period is subjected to the same measurement conditions. The measured time series $\Delta L(t)$ and $\Delta T(t)$ are segmented into single periods, each one is fitted separately and a CTE value corresponding to each period is worked out for a known distance L between the mirrors. The resulting CTE is then calculated as the mean value of the single period CTE values.

RESULTS

The first measurements were made for a CFRP tube with a theoretical manufacture CTE value of $-0.647 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. With the set-up described before, we measured a CTE of $(-0.6 \pm 0.1) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ at room temperature, confirming the theoretical predicted value. The error is the result of the fitting process including a conservative assumption of systematic effects.

For this first CFRP tube, we applied the different evaluation methods as given in the previous section showing a deviation of 1.5% in the obtained CTE results.

The second test specimen (theoretical zero-CTE CFRP) manufactured by Xperion Aerospace GmbH to meet the LISA telescope thermal stability requirements ($\text{CTE} < 0.2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), was subjected to a sine thermocycling. Different parameters were varied to find a correlation with the obtained CTE value:

- CFRP tube length,
- heating period,
- temperature offset,
- temperature range.

We measured two tubes extracted of the same original CFRP tube, one with a length of 120 mm and one with half the length. For the 120 mm tube we obtained a CTE value of $(-0.38 \pm 0.1) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ while the CTE for the second tube (60 mm long) was $(-0.34 \pm 0.1) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ for the same temperature range – verifying the precision of the measurement facility.

By measuring the tilt of both mirrors inside the tube under thermal cycling (cf. figure 14 and section 4) we are able to characterize the thermomechanical behaviour of the tube and correct the introduced length variation error. Comparing the tilt measured by the reference and measurement mirror we observed that the CFRP tube behaves homogeneously in the axial direction.

A variation of the heating period for the same temperature range modifies the temperature variation rate ($\Delta T/t$). This temperature variation rate has a slight influence in the obtained CTE, due to the radial inhomogeneity of the tube, resulting in a higher CTE for a higher temperature variation rate. The CFRP tubes have shown a more homogeneous axial expansion when they are heated or cooled slowly.

In a temperature range from 25°C to 45°C measurements were carried out at different offset temperatures with the same

temperature range of $\pm 5^\circ\text{C}$. The measurements are shown in figure 15, a clear temperature dependency can be observed.

6 DISCUSSION AND OUTLOOK

The measured CTE of $(0.31 \pm 0.1) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ for the theoretical zero-CTE CFRP at room temperature does not agree with the theoretical value of $(0 \pm 2.5) \cdot 10^{-9} \text{ K}^{-1}$. This theoretical value is based on a well-established database for CFRP material. Our tube is made of six layers shaping the tube where the manufacture tolerances are $\pm 0.5^\circ$ in the plies angle lay-up with a CTE variation of $5 \cdot 10^{-9} \text{ K}^{-1}$ per degree. But still, the measured CTE of the theoretical zero-CTE CFRP tube is below the CTE values documented in the specialized literature for high modulus PAN carbon fibers CFRP composites (cf. table 1). Our measurement results can either be interpreted as limitations (i) of our measurement facility, or (ii) in the manufacture process of the CFRP tube.

(i) The limitations of our measurement facility, especially concerning systematic errors, are currently under investigation. During measurement preparation, we observed the mirror clamps slightly scratched the inner surface of the CFRP tube while trying to place and adjust them. These scratches could result in a movement degree of freedom of the mirrors. This point was contradicted by the tilt measurement where both mirrors showed almost the same performance (figure 13). We have also demonstrated that we are able to measure and compensate for errors introduced due to a tilt of the tube.

(ii) Due to its manufacture process where fiber and resin plies are alternately laid on top of each other, CFRP is inhomogeneous and anisotropic. The manufacturing includes several error contributions to the obtained CTE value such as the fiber-resin percentage, the weight of the fibers and the resin or the angle of the fiber layers with respect to the tube axis.

For ongoing studies – and as we rely on our measurement facility – we are in close contact with the CFRP tube manufacturer in order to improve the model for CTE simulation which is used for CFRP production.

OUTLOOK

New mirror clamps are being designed which should avoid any alteration on the tube inner surface and can also be implemented in a Zerodur tube (figure 16), which is slightly brittle. We will perform a measurement with a specifically manufactured Zerodur tube with a known CTE. Zerodur has a non-directional isotropic structure, and offers a homogeneous radial thermal behavior. We will use the measurement as macroscopic calibration of our measurement facility in order to investigate systematic errors of our facility.

We also plan to further improve the interferometer to achieve a reduction of the thermomechanical noise limiting the measurement accuracy. We will realize a new interferometer set-up where the cast aluminum baseplate is replaced by a Zerodur baseplate. The optical components will be fixed to the baseplate by use of hydroxide-catalysis bonding, offering a quasi-monolithic set-up with improved thermal and dimensional stability.

7 SUMMARY

We have presented a high-sensitivity interferometric facility for the measurement of the linear coefficient of thermal expansion of highly-stable materials in the temperature range 20°C to 60°C. Our highly-symmetric heterodyne interferometer implements a double detection system for differential measurements, which offers a picometer resolution performance. The sample tube support and heating subsystem implementation reduces the accuracy to nanometers, theoretically enabling the characterization of ultra-stable materials

with a CTE $> 10^{-9} \text{ K}^{-1}$. The systematic errors which limit our measurement accuracy to the 10^{-7} K^{-1} level are currently under investigation. In our measurement facility rather than using the end surfaces of the tube to locate the reference and measurement mirrors of the interferometer we implement two thermally isostatic mirror clamps to fix the mirrors inside the tube in this way avoiding edge effects.

The implementation of differential wavefront sensing for tilt measurements enables the measurement of the error introduced by a tilt of the sample. This method supposes not only a simplification in optical components compared to double-pass interferometers, where the sensitivity to the tilt of the sample is very low, but also an improvement since the characterization of the material provides more information about its thermal behavior.

8 ACKNOWLEDGMENTS

This work is supported by the German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR) within the program “LISA Performance Engineering” (DLR contract number: 500Q0701). The authors also thank Günther Kling and Dietmar Scheulen from Astrium Friedrichshafen for the theoretical design of the zero-CTE CFRP tube. Further acknowledged are the support and enlightening discussions with Hans-Reiner Schulte from Astrium Friedrichshafen and Klaus Palis from the Humboldt-University Berlin.

9 REFERENCES

- [1] K. Danzmann, A. Rüdiger: “LISA technology – concept, status, prospects”, *Class. Quantum Grav.* 20:51-59, 2003
- [2] www.sci.esa.int/lisa
- [3] www.lisa.nasa.gov
- [4] C. M. Wu, S. T. Lin, J. Fu: „Heterodyne interferometer with two spatial-separated

polarization beams for nanometrology“, *Opt. Quantum Electron.*, 34(12):1267-1276, 2002

[5] T. Schuldt, M. Gohlke, D. Weise, U. Johann, A. Peters, C. Braxmaier: “Compact Laser Interferometer for Translation and Tilt Metrology”, *Int. J. Optomechatronics* 1, 168 (2007)

[6] T. Schuldt, M. Gohlke, D. Weise, U. Johann, A. Peters, C. Braxmaier: “Picometer and nanoradian optical heterodyne interferometry for translation and tilt metrology of the LISA gravitational reference sensor“, *Class. Quantum Grav.*, vol. 26, p. 085008, 2009

[7] E. Morrison, B. J. Meers, D. I. Robertson, H. Ward: „Automatic alignment of optical interferometers“, *Appl. Opt.*, 33(22):5041-5049, 1994

[8] E. Morrison, B. J. Meers, D. I. Robertson, H. Ward: „Experimental demonstration of an automatic alignment system for optical interferometers“, *Appl. Opt.*, 33(22):5037-5040, 1994



ING. SIMON RESSEL, B. ENG.
Study of mechanical engineering at RWTH Aachen and HTWG

Konstanz. Bachelor degree in mechanical engineering at HTWG Konstanz in 2009. He performed his bachelor thesis in the here described project at EADS Astrium (Friedrichshafen) under supervision of Prof. Dr. Claus Braxmaier from HTWG. Since summer term 2009 he is master student at the Hamburg University of Applied Sciences (HAW).



PROF. DR. CLAUS BRAXMAIER
Diploma in precision engineering at University

of Applied Sciences Furtwangen. Diploma in physics and doctoral degree at the University of Konstanz in the field of fundamental tests of physics. Post-Doc at University of Konstanz. At EADS Astrium GmbH, system responsible for scientific and earth observation missions for ESA and head of group 'Mission Metrology'. Since 2005 professor for physics and control theory at the University of Applied Sciences Konstanz. Member of 'Institut für Angewandte Forschung' and 'Institut für Naturwissenschaften und Mathematik' Konstanz. Since 2008 director of the 'Institut für Optische Systeme' Konstanz. Head of optical metrology research labs at HTWG and EADS Astrium GmbH. Main research: high resolution optical metrology for industrial and space applications.

ABSTRACT

In this article we present the current status of our investigations on dimensionally highly stable integration technologies used for optical systems operated aboard satellites. Beside stringent performance requirements, these opto-mechanical systems must also fulfill requirements concerning space environment, such as temperature gradients and accelerations. Temperature variations of 40°C and peak accelerations up to 40 g during launch have to be resisted without any loss of performance and functionality. We set up an optical test-board using a baseplate made of Zerodur, a thermally and mechanically highly stable glass ceramic. The optical components are made of fused silica and connected to the baseplate using the well-established integration technology 'hydroxide-catalysis bonding'. Further we compared this method with fixing the components by use of space qualified two-component adhesive. Trade-off criteria are alignment possibility, mechanical strength and dimensional stability. First results are presented and show the suitability of both methods. Adhesive bonding could be a promising alternative to hydroxide-catalysis bonding. Its main advantages are higher flexibility concerning alignment and its tooling, combined with a shorter curing time.

1 INTRODUCTION

The design of optical instruments, such as high-sensitivity interferometric systems, is strongly driven by available assembly and integration technologies. Goal is to obtain a reliable technology to realize compact and dimensionally highly stable optical systems for space applications.

In connection with the design of a high resolution heterodyne interferometer at the laboratory at EADS Astrium (Friedrichshafen), different technologies for the integration of optical components are inves-

tigated. The interferometer will consist of a baseplate made of Zerodur, a thermally highly stable glass ceramic with a coefficient of thermal expansion (CTE) of $1 \cdot 10^{-8} \text{ K}^{-1}$. The optical components are either made of fused silica (for transmissive optics) or Zerodur (for reflective optics). Hydroxide-catalysis bonding is an established method to affix optical components e.g. made of fused silica, to low expansion baseplates made of Zerodur [1]. It has been invented at Stanford University for the bonding of optical components of the telescope for the Gravity Probe B mission [2]. The flight-model optical setup for pm-interferometry aboard the LISA Pathfinder satellite is currently integrated using hydroxide-catalysis bonding technology [3,4]. The corresponding prototype setup – the so-called engineering model – is shown in figure 1.

In terms of an easier integration process, bonding by use of two-component adhesive shows a great promise for an integration of optical components. The characterization of adhesive bonding with respect to hydroxide-catalysis bonding is subject of our investigations. For this purpose, we designed a Zerodur testboard where mirrors are fixed to, using the two integration technologies. Several tests are carried out with this testboard: (i) determining the long term characteristics of bonded joints; (ii) evaluating the feasibility of a precise alignment of the optical componen-



FIG. 1: ENGINEERING MODEL OF THE OPTICAL SETUP FOR LISA PATHFINDER. THE INTERFEROMETER IS REALIZED USING HYDROXIDE-CATALYSIS BONDING TECHNOLOGY.

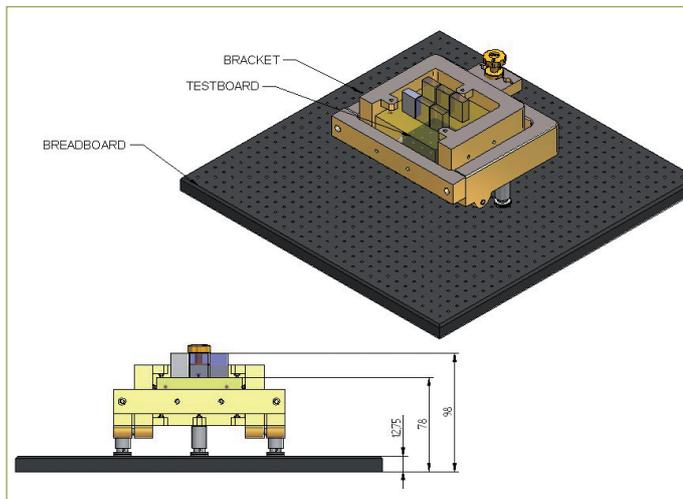


FIG. 2: ISOMETRIC AND FRONT VIEW OF THE BRACKET WITH THE ASSEMBLED TESTBOARD.

ts; (iii) performing vibration tests in order to characterize the strength of the joints; (iv) performing thermal cycling in order to characterize the thermal behaviour of the joints.

2 SETUP OF THE TESTBOARD

The testboard shall enable the comparison of adhesive bonds and hydroxide-catalysis bonds using our existing heterodyne interferometer setup. The interferometer uses a reference beam and a measurement beam, which run parallel with a distance of 4 mm. Each beam is reflected by a mirror and the dimensional stability between the two mirrors is measured with pm-sensitivity [5]. The interferometer requires a parallelism better ± 0.5 mrad of the two reflective surfaces of the mirrors.

On the testboard, three plane mirrors are aligned parallel to each other. Two of the mirrors are connected to the baseplate by use of hydroxide-catalysis bonding, one mirror is fixed to the baseplate using a space qualified two-component adhesive (Henkel *Hysol/EA 9313*). One measurement is carried out between a mirror connected by adhesive bonding and a mirror connected by hydroxide-catalysis bonding. Another measurement is carried out between two mirrors, both connected to the baseplate by hydroxide-catalysis bonding. The obtained measuring data gives information on the mechanical and stability properties

of the adhesive bonding. The feasibility of an interferometer bonded with *Hysol EA 9313* can thus be determined.

The testboard is integrated into the setup of the heterodyne interferometer, which is built on an aluminum breadboard with a threaded bore template. For better handling and adjustability the testboard is mounted into a specifically designed bracket, shown in figure 2. The mounting of the testboard into the bracket requires three areas of the baseplate on the top and bottom surface which are covered by the bracket. Two rows of three parallel planar mirrors are fixed to the baseplate. The reflective surfaces of the mirrors are located in the center of rotation of the bracket. Figure 2 shows a model of the setup of the testboard mounted in the bracket.

3 ALIGNMENT SETUP

A real-time readout of the positions of the mirrors is required in order to guarantee the precise parallel alignment of the mirrors. Therefore an optical setup is designed, which displays the tilt of two mirrors and quantifies the deviation of their parallelism. In figure 3 the beam path of the setup is illustrated.

The laser light is sent through an optical isolator which prevents back reflections of the laser light. A half-wave retarder ($\lambda/2$) in combination with a polarizing beamsplitter (PBS) is used for intensity adjustment.

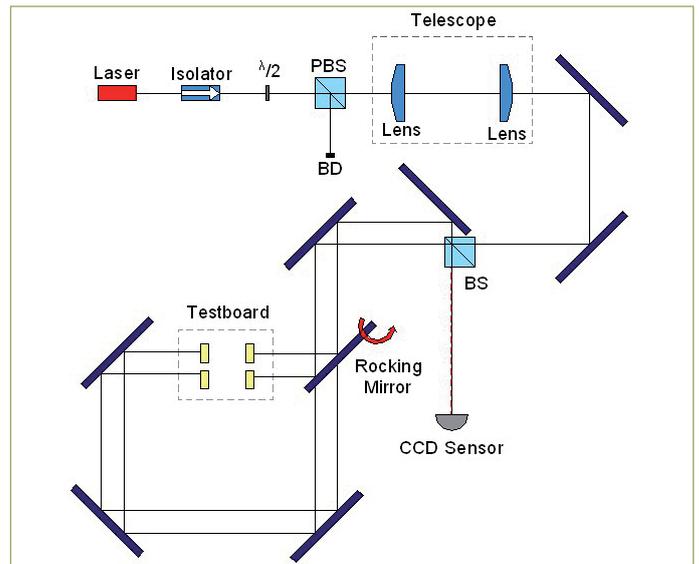


FIG. 3: BEAM PATH OF THE ALIGNMENT SETUP.

Most of the laser light is sent to a beam dump (BD); only few mW of optical power is used in the alignment setup. The laser light is collimated to a diameter of about 1.5 mm using a telescope consisting of two planar-convex lenses. Two parallel beams with a distance of about 4 mm and nearly identical intensities are generated by a (non-polarizing) beam splitter (BS) in combination with a pick-up mirror. The two beams are aimed on two adjacent mirrors on the testboard. The mirrors reflect the laser beams back through the same optical path. At the beamsplitter the two reflected beams are sent to a CCD sensor. In case, the two beams are exactly parallel, both beams will hit the CCD at the same point. Any deviation in parallelism will result in a displacement between the two beams measured on the CCD. Knowing the optical pathlength, the measured displacement can be converted to a relative tilt between the mirrors on the testboard (in two tilt directions). A displacement of 1 mm on the CCD corresponds to an angular misalignment of 1.1 mrad. With our setup, an accuracy of about ± 250 μ rad is achieved. A flip mount mirror (rocking mirror) is used for directing the laser beams to the second row of mirrors on the testboard.

4 RESULTS

Hydroxide-catalysis bonding takes place in three steps: hydration and etching, po-

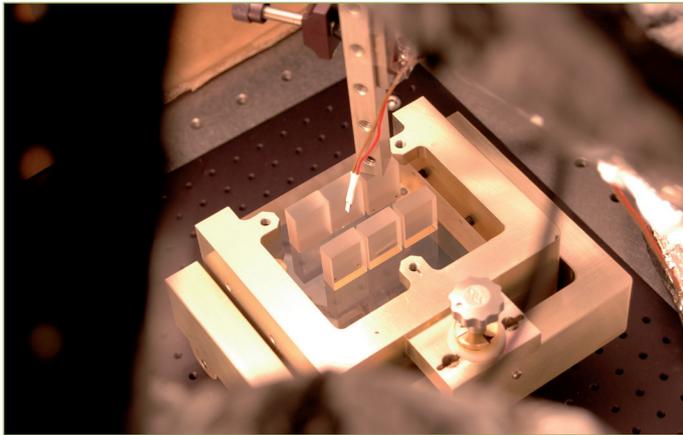


FIG. 4: TESTBOARD DURING ADHESIVE BONDING PROCESS WITH SUPPORT TOOL AND HEAT APPLICATION.

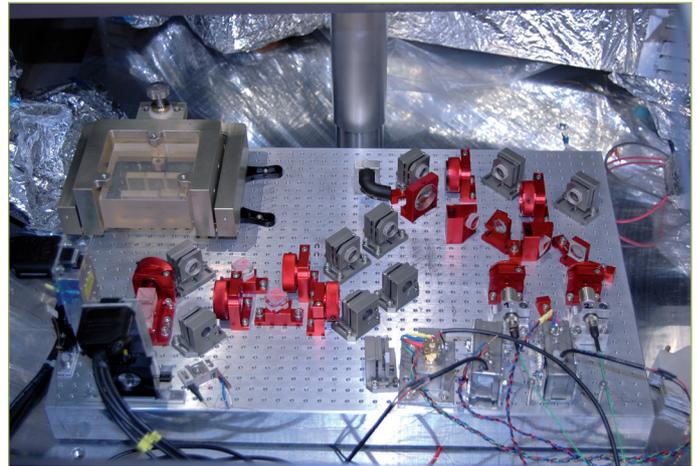


FIG. 5: TESTBOARD MOUNTED IN THE INTERFEROMETER SETUP FOR STABILITY MEASUREMENTS.

lymerization and dehydration. Bonding requires an alkaline solution such as sodium silicate to be applied in between the two surfaces to be bonded. For a successful bond the surfaces to be bonded have to be free of particles. Hence the bonding of the optical components was carried out in a cleanroom environment at Furtwangen University.

The hydroxide-catalysis bonding procedure allows only a short settling time of typically 1 - 2 min, where the components can be aligned [6]. In addition to the alignment setup mentioned above, alignment templates are designed and used to ensure an alignment within the settling time. Measurements of the parallelism of mirrors integrated using the technology of hydroxide-catalysis bonding are showing that an alignment with a required parallelism of ± 0.5 mrad can not be achieved in a repeatable manner. However, one row of mirrors necessary for a comparison measurement was bonded successfully.

The adhesive bonding is carried out with a space qualified two-component adhesive, which is also used for various space applications. Prior to the integration of the optical components on the testboard the thickness of the adhesive layer is determined to be $1 \mu\text{m}$ to $7 \mu\text{m}$. Measurements of the mirrors integrated with adhesive bonding

show a negligible tilt of the mirror caused by a disproportionate adhesive layer. Unlike hydroxide-catalysis bonding, adhesive bonding using Hysol EA 9313 permits a settling time up to several hours. The alignment of the mirrors can thus be carried out within a relatively long time.

Measurements of the parallelism of mirrors integrated with adhesive bonding without using a supporting tool show a drift of the glued component. This drift is due to the long settling time of the adhesive. Further

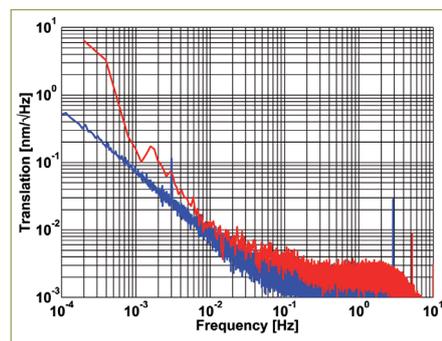


FIG. 6: POWER-SPECTRAL DENSITY OF A LONG TERM MEASUREMENT. THE RED CURVE CORRESPONDS TO THE MEASUREMENT WHERE THE MEASUREMENT BEAM IS REFLECTED BY A HYDROXIDE-CATALYSIS BONDED MIRROR AND THE REFERENCE BEAM BY AN ADHESIVE BONDED MIRROR. THE BLUE CURVE CORRESPONDS TO AN INTERFEROMETER SETUP WHERE MEASUREMENT AND REFERENCE BEAM ARE BOTH REFLECTED BY THE SAME FIXED MIRROR.

adhesive bonded mirrors hold in position with a punctual downforce can be aligned with a repeatable accuracy fulfilling the requirements. Additional application of heat can furthermore reduce the setting time to approximately 75 min.

To verify the long term stability of mirrors integrated with adhesive bonding, the testboard is mounted into the setup of our high resolution interferometer, cf. the photograph shown in figure 5. The reference beam is aimed on a hydroxide-catalysis bonded mirror and the measurement beam is aimed on an adhesive bonded mirror. The power spectral density (PSD) of the measurement is shown in figure 6. For comparison, the PSD of a measurement where both, measurement and reference beam, are reflected by the same fixed mirror, is included. Both integration technologies do not lead to a loss in performance.

We also performed vibration and shock tests for characterizing the mechanical stability of the bonds. These tests were carried out at the vibration test facility at EADS Astrium (Friedrichshafen). In a first test the testboard is mounted to a shaker and a sine stimulation in a frequency range from 5 Hz to 61 Hz with a maximum displacement of 5 mm is applied. This cor-

responds to a maximum acceleration of 74.9 g. In a second test a random stimulation in a frequency range from 20 Hz to 2000 Hz is applied. The rms acceleration is set to 25.6 g.

For the shock tests an acceleration of 40 g is applied at a frequency of 100 Hz. For the frequency range up to 1000 Hz, the load is increased by 0.4 g/Hz. For frequencies from 1000 Hz to 5000 Hz, the acceleration is held at 400 g.

All tests were carried out without any damage of the optical testboard and its components. The alignment of the mirrors was measured before and after the tests. The vibration and shock tests did not lead to a displacement or tilt of the mirrors.

5 CONCLUSIONS

In terms of stability both integration technology meet the requirements. Beside the technology of hydroxide-catalysis bonding, adhesive bonding has proven to be an enabling technology for the integration of optical components in earth-based high resolution interferometers.

Concerning the process of the integration technologies several remarks can be made:

- For successful hydroxide-catalysis bonding, an environment free of particles is crucial. Therefore a greater complexity concerning the level of cleanliness of the used devices is needed than for adhesive bonding.
- The short settling time of the hydroxide-catalysis bonding process might limit the level of alignment accuracy that can be reached. Additional devices and positioning mechanisms are unavoidable to achieve high alignment accuracy.
- The structure of the hydroxide-catalysis bonding, however, provides excellent properties due to its quasi-monolithic characteristic.
- Before hydroxide-catalysis bonded components achieve their full strength, a

curing time of four weeks (might be reduced by heat application) is needed. The process is therefore more time intensive than adhesive bonding.

- Adhesive bonding provides an integration technology, which requires less preparation of the components to be glued and can be performed in an ordinary laboratory environment. The alignment of the components can be done without using specific alignment tools. Anyhow, a supporting tool has to be used to apply a downforce to keep the components in place while the adhesive hardens. Applying heat on the components to be bonded has proven to fasten the hardening process of the adhesive and should be considered to avoid a drift. Primary concerns of a tilt of the mirrors due to a disproportionate adhesive layer could not be observed.

It can be stated, that adhesive bonding can be considered as a promising alternative to hydroxide-catalysis bonding. No difference in performance could be observed – at least not to the sensitivity level of our measurement facilities.

6 OUTLOOK

For applications where a precise alignment is required, but only simple alignment tools can be used, adhesive bonding provides a relatively easy to use integration technology. The integration of optical components for earth-based applications can be done with adhesive bonding. For the design of the new high precision interferometer made up of fused silica and Zerodur, adhesive bonding might be considered. Tensile shear tests and thermal cycling are currently under way. A final decision will be made after these tests have been performed.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank W. Kronast and U. Mescheder from the Furtwangen University of Applied Sciences for support and fruitful discussions. Financial support by the Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg within its program 'Zentrum für angewandte Forschung an Fachhochschulen: ZAFH Photon' is highly appreciated.

[1] for more information on Zerodur, cf.: www.schott.com

[2] E. J. Elliffe, J. Bogenstahl, A. Geshpande, J. Hough, C. Killow, S. Reid, D. Robertson, S. Rowan, H. Ward, and G. Cagnoli: Hydroxide-catalysis bonding for stable optical systems for space. *Class. Quantum Grav.* (22) S257-S267, 2005.

[3] G. Heinzel et al: Successful testing of the LISA technology package (LTP) interferometer engineering model. *Class. Quantum Grav.* (22) 1 - 6, 2005

[4] G. Heinzel et al: The LTP interferometer and phasemeter. *Class. Quantum Grav.* (21) 581 - 587, 2004

[5] T. Schuldt, M. Gohlke, D. Weise, U. Johann, A. Peters, and C. Braxmaier: Picometer and nanoradian optical heterodyne interferometry for translation and tilt metrology of the LISA gravitational reference sensor. *Class. Quantum Grav.* (26) 085008, 2009

[6] S. Reid, G. Cagnoli, E. Elliffe, J. Hough, I. Martin, and S. Rowan: Influence of temperature and hydroxide concentration on the settling time of hydroxy-catalysis bonds. *Phys. Lett. A* (363), No 5-6, pp. 341-345, 2007.

ENTWICKLUNG UND VERIFIKATION EINES MEHRKOMPONENTEN-SPRITZGIESSWERKZEUGES FÜR EINE SERIENFERTIGUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG MARKETINGSPEZIFISCHER ASPEKTE AM BEISPIEL DES HOCHSCHULLOGOS

Carsten Manz, Heymon Ihln, Heiko Philipp, Samuel Schmid und Thomas Zink



PROF. DR. CARSTEN MANZ
ist seit 2006 Dekan der
Fakultät Maschinenbau
und leitet das Labor für
Kunststofftechnik.

In der Fakultät Maschinenbau wird verstärkt Wert auf einen ganzheitlichen Ansatz in der Profilbildung der zukünftigen Ingenieure gelegt. Der vorliegende Bericht zeichnet ein Beispiel für den gezielt verfolgten Ansatz zur Realisierung echter Innovationen mit dem Anspruch einer erfolgreichen Produktplatzierung. Hier handelt es sich konkret um die Entwicklung eines Produktes unter Berücksichtigung verschiedenster marktspezifischer Einzelaspekte unter Nutzung bestehender Infrastruktur.

1 EINFÜHRUNG

Die urformende Verarbeitung mittels Spritzgießen ist eine der wichtigsten und vielseitigsten Technologien der Kunststoffverarbeitung. Dementsprechend stark wachsen die Anwendungen, gerade im Bereich der Sonderverfahren. Um diesem Fortschritt auch in der Lehre gerecht zu werden, wurde ein Werkzeug für das Labor für Kunststofftechnik entwickelt, welches einige Sonderverfahren anschaulich abbilden kann.

Im Rahmen von Projektarbeiten in den Studiengängen des Maschinenbaus galt es die vollständige Entwicklung und Konstruktion eines Mehrkomponenten-Spritzgießwerkzeugs für den Einsatz in der Lehre bis zur Serienreife, einschließlich Parameteroptimierung, zu realisieren. Das Projekt konnte in zwei Stufen realisiert werden: 1. Werkzeugentwicklung (Heymon Ihln, MKE) und 2. Umsetzung/ Einrichtung und Serienvorbereitung (Heiko Philipp, Samuel Schmid und Thomas Zink (MBP))

Die Wahl des zu fertigenden Produktes ergab sich aus der Überlegung, ein Produkt zur weiteren Steigerung des Bekanntheitsgrades der Hochschule zu finden. Aufgrund der neuen Corporate Identity der Hochschule fiel die Wahl auf ein Werkzeug zur Herstellung eines mehrkomponentigen Werbeproduktes. Konkret handelt es sich um einen Schlüsselanhänger unter

Wahrung des Bildlogos der Hochschule Konstanz. Nach dem Design des Schlüsselanhängers erfolgte die kunststoff- und fertigungsgerechte Anpassung nach allgemeinen Konstruktionsregeln und mittels geeigneter Simulationssoftware. Für das fertige Bauteil konnte die Auslegung und vollständige Konstruktion eines modularen Spritzgießwerkzeugs, welches sowohl auf einer Einkomponentenmaschine mittels Einlegeverfahren als auch auf einer Mehrkomponentenmaschine betrieben werden kann, umgesetzt werden. Die Arbeit findet ihren Abschluss in der Optimierung des Fertigungsprozesses und einem repräsentativem Produkt (s. Abb. 1)

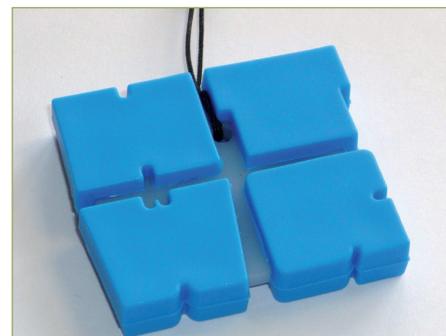


ABB. 1: SCHLÜSSELANHÄNGER

2 STAND DER TECHNIK 2-KOMPONENTEN-SPRITZGIESSVERFAHREN

Das Spritzgießverfahren gehört zu den Urformverfahren, welches hauptsächlich in der Kunststoffverarbeitung eingesetzt wird. Von dem traditionellen Spritzgießen wurden verschiedene Verfahren weiterentwickelt, die für ihren Einsatz besondere Vorteile bieten.

Die Aufgabenstellung des hier vorgestellten Projektes beinhaltet die Konstruktion eines Werkzeuges zur Erstellung eines Spritzlings mit zwei Komponenten.

Die 2-Komponententechnik umfasst ein Formteil aus zwei Komponenten, das in einem Arbeitsgang hergestellt wird. Dabei ist es möglich das Formteil aus zwei

	ABS	PC+ABS	PC	HIPS	PMMA	PA	PBT	POM	PPO	PP	TPU
ABS	gut	gut	gut	schlecht	gut	schlecht	gut	schlecht	schlecht	schlecht	gut
PC+ABS	gut	gut	gut	schlecht	mäßig	schlecht	gut	schlecht	schlecht	schlecht	gut
PC	keine Werte	gut	gut	schlecht	mäßig	schlecht	gut	schlecht	schlecht	schlecht	gut
HIPS	keine Werte	keine Werte	gut	gut	schlecht	schlecht	schlecht	keine Werte	gut	schlecht	mäßig
PMMA	keine Werte	keine Werte	keine Werte	gut	gut	keine Werte	keine Werte	keine Werte	keine Werte	mäßig	gut
PA	keine Werte	keine Werte	keine Werte	keine Werte	gut	gut	keine Werte	keine Werte	keine Werte	mäßig	gut
PBT	keine Werte	gut	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	gut				
POM	keine Werte	gut	schlecht	mäßig	schlecht	keine Werte					
PPO	keine Werte	gut	schlecht	schlecht	schlecht						
PP	keine Werte	gut	schlecht	schlecht							
TPU	keine Werte	gut	schlecht								

ABB. 2: FORMSCHLÜSSIGE WERKSTOFFKOMBINATIONEN [BAYER AG]

verschiedenen Kunststoffen herzustellen. Meistens werden jedoch thermoplastische Kunststoffe oder Elastomere verwendet. Die Verbindung der unterschiedlichen Materialien wird durch mehrere Theorien beschrieben. Bei der physikalischen Verankerung werden an den Grenzschichten van-der-Waals-Kräfte erzeugt. Eine andere Theorie ist die mechanische Adhäsion. Die Diffusionstheorie beschreibt den Vorgang der Durchdringung der Makromoleküle, innerhalb der Grenzschicht. Die Haftung der Komponenten ist abhängig von Temperatur, Zeit und Druck. Diese Größen sind Prozessparameter und durch die Art des Prozesses einstellbar. Bei der 2-Komponententechnik kommt es nur zu einer Vermischung der beiden Komponenten in der Grenzschicht. Ein oder mehrere Komponenten können vorgefertigt sein und dann mit der anderen Komponentenschmelze zusammengebracht werden. Das 2-Komponentenverfahren kann auf allen Standardspritzgießmaschinen angewendet werden. Je nach Vorgehensweise werden eine zweite Spritzeinheit und z.B. eine Dreheinheit benötigt. Die Abbildung 2 zeigt eine Auswahl geeigneter und ungeeigneter Kunststoffpaarungen.

Die Vorteile der 2-Komponententechnik sind die Variationsmöglichkeiten von unterschiedlichen Werkstoffen, ebenfalls unterschiedlicher Farben. Es ist somit mög-

lich, eine transparente Komponente mit einer halbtransparenten Komponente zu kombinieren. Durch die Funktionsintegration ist ein Wegfall zusätzlicher Montageschritte als Kostenersparnis vorteilhaft.

Es gibt mehrere Verfahrensabläufe, sodass es möglich ist, ein 2-K-Werkzeug mit nur einer Einspritzeinheit zu betreiben. Diese Verfahrensart ist nicht wirtschaftlich und somit nicht für große Stückzahlen zu empfehlen. Nachfolgend wird das Verfahren mit zwei Einspritzeinheiten beschrieben. Das 2-Komponentenverfahren wird in zwei Phasen unterteilt. Die mechanische Verbindung dieser zwei Phasen wird in diesem Beispiel mit einer Dreheinheit realisiert. Alternativen sind Greifer oder vergleichbare Apparaturen. Bei einem automatisch laufenden 2-Komponenten-Spritzgießwerkzeug mit Drehteller wird das Formteil in einer Station vor- und in der anderen Station fertig gespritzt. Zuerst wird in einer Kavität ein Vorspritzling mit der ersten Komponente hergestellt. Nach der entsprechenden Abkühlzeit wird das Werkzeug geöffnet und über eine Drehbewegung um 180° in die zweite Arbeitsposition umgelegt. Der erste Vorspritzling wird in der zweiten Kavität mit der zweiten Komponente fertig gespritzt, während gleichzeitig in der ersten Kavität der nächste Vorspritzling hergestellt wird (Abb. 3a). Beim nächsten Öffnen wird das

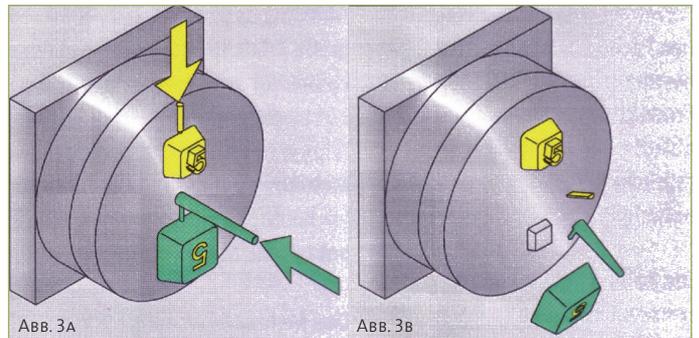


ABB. 3A: EINSPRITZEN BEIDER KOMPONENTEN [FA. ARBURG]

ABB. 3B: ENTFORMEN DES FERTIG GESPRITZTEN FORMTEILS [FA. ARBURG]

Formteil aus der zweiten Kavität entformt (Abb. 3b) und das Werkzeug durch eine alternierende Drehbewegung zurückgedreht.

3 PRODUKTDESIGN

Bei der Konzeption des Designs wurde nur die Vorgabe gemacht, dass das Endprodukt zur Hochschule Konstanz passt. Die nachfolgenden Unterpunkte sind selbst gesetzte Richtlinien.

ANFORDERUNGEN

Die Hochschule Konstanz wird in Briefen, auf Plakaten und im Internet durch das Logo repräsentiert. Der Begriff Logo ist umgangssprachlich und zu ungenau. Ein Logo kann aus einer Bildmarke und bzw. oder einer Wortmarke bestehen. Die Hochschule Konstanz hat eine Bild- und Wortmarke. Als Wiedererkennungsmerkmal ist die Bildmarke besser geeignet als die Wortmarke, da die Wortmarke eine Sans-Type ist, wie sie oft in leicht unterschiedlicher Form von Unternehmen eingesetzt wird.

Im Mittelpunkt des Designkonzepts steht folglich die Bildmarke der HTWG. Der Schlüsselanhänger soll ein Botschafter der Hochschule Konstanz sein. Wird jemand auf den Schlüsselanhänger aufmerksam, und ihm ist die Hochschule

Konstanz nicht bekannt, wird das erste Bild der Hochschule von diesem Schlüsselanhänger bestimmt. Die Möglichkeiten einen Schlüsselanhänger zu erstellen sind durch die CD und damit CI-Richtlinien stark begrenzt, jedoch bleibt genügend Freiraum, um die Bildmarke in Szene zu setzten.

Als Repräsentant der HTWG sollte der Schlüsselanhänger auch die Werte der Hochschule Konstanz kommunizieren. Die allgemeinen Werte der HTWG werden mit den Adjektiven innovativ; modern, jedoch ebenso konservativ beschrieben. Daraus resultierend werden die Eigenschaften für den Schlüsselanhänger abgeleitet. Stabil, handlich, universell, innovativ, genial, um nur einige Adjektive zu nennen.

ENTWURF

Durch die aufgeführten Anforderungen erfolgte die Eingrenzung der Modellkonzepte, da eine Kommunikation der genannten Werte nicht für alle Konzepte gegeben war. Unter Berücksichtigung aller Vorgaben und Anforderungen erfolgte die Auswahl des endgültigen Konzeptes (s. Abb. 4). Dieses Konzept eröffnet die Möglichkeit, Derivate von sich erstellen zu lassen. So ist es beispielsweise möglich, dass man zu einem besonderen Anlass (Geburtstag, Jubiläum, ...) eine „Special Edition“ von dem Schlüsselanhänger erstellen kann. Die Farbwahl gilt als variabel. So sind zum

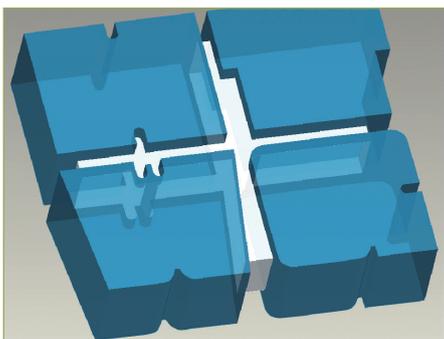


Abb. 4: DESIGNKONZEPT

Beispiel ein transparenter Kern oder eine fakultätsspezifische Farbwahl denkbar.

HERAUSFORDERUNGEN

Die Geometrie der Bildmarke birgt einige Herausforderungen. Ein Schlüsselanhänger ist nur dann ein Schlüsselanhänger, wenn er auch an einem Schlüssel befestigt werden kann. Die häufigste Art der Verbindung zwischen Schlüssel und Schlüsselanhänger ist ein Schlüsselring. Die geforderten Geometriemaße des Schlüsselrings bewegen sich in sehr engen Toleranzräumen, wenn man eine geeignete Position für den Schlüsselring an dem Schlüsselanhänger sucht. Die Positionierung des Schlüsselringlochs in Abhängigkeit vom Schwerpunkt ist ausschlaggebend für die Kombination Schlüssel-Schlüsselanhänger.

Aus kommunikativen Gründen schließen sich viele Möglichkeiten aus. Eine Bildmarke, die regulär waagrecht „steht“, darf als Schlüsselanhänger nicht schief „stehen“, da sonst andere Werte kommuniziert werden. Das Durchlöchern eines Buchstabens ist ebenfalls zu vermeiden. Ist ein Buchstabe nicht komplett, wird er visuell als „geschwächt“ wahrgenommen. Die Vollkommenheit der Bildmarke ist somit nicht mehr gegeben.

Einzige Position des Lochs für den Schlüsselring ist, unter Berücksichtigung aller vorher genannten Kriterien der Zwischenraum zwischen dem „H“ und dem „T“. Im oberen Bereich, wo noch der waagrechte Strich vom „T“ präsent ist, ist die engste Stelle der Zwischenräume zwischen den Buchstaben in der gesamten Bildmarke.

Die Idee ist bei der Herstellung zwei verschiedene Kunststoffe zu verwenden. Der Kern, welcher als Träger der Buchstaben dient, besteht aus einem harten PP (Polypropylen) bzw. PA6 (Polyamid 6) und die Buchstaben selbst aus einem weichen TPU (Thermoplastischer Polyurethan Elastomere). Durch die Verwendung des TPU's wird eine angenehme weiche Oberfläche der

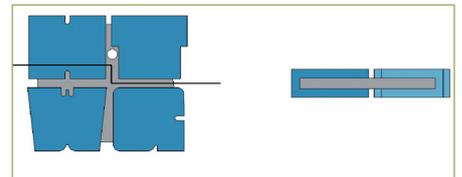


Abb. 5: KONSTRUKTIVARIANTE (DIE SCHWARZE LINIE IN DER DRAUFSICHT KENNZEICHNET DIE SCHNITTLINIE DES IN DER ANSICHT GESCHNITTENEN KÖRPERS)

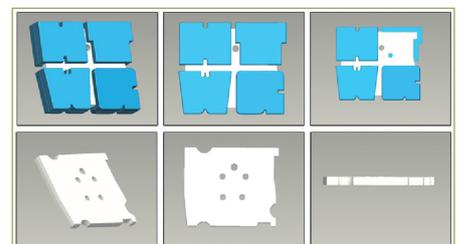


Abb. 6: DESIGN DES SCHLÜSSELANHÄNGERS

Buchstaben erzielt wobei die Gesamtstruktur durch den Kern fest und stabil ist. Um die Haftung der beiden Kunststoffe sicherzustellen sind vier mechanische Verankerung im Kern integriert. Zudem befindet sich im Kern eine Bohrung für die Befestigung des Schlüsselanhängers durch eine Schlaufe oder eines Ringes.

Die vorliegende Gestaltung ermöglicht eine wirtschaftliche Herstellung, da die Reinmaterialhöhe von 8mm durch den durchgehenden Kern aufgeteilt wird. So werden nur Materialwandstärken von 3mm bzw. 2,5mm erreicht, die den Anforderungen an die Funktion als Schlüsselanhänger gerecht werden (s. Abb 6).

4 WERKZEUGAUSLEGUNG

Die Ausführung des entwickelten Werkzeuges ist in Abb. 7 zu sehen. Wesentliche Auslegungsaspekte in der Werkzeugentwicklung sind hier: Maschinenparameter, Geometrie des „Spritzlings“, Werkzeugplattendurchbiegung, Schwindung, Oberflächenbeschaffenheit, Anguss und Temperierung.

Die Orientierung der weiteren Werkzeugentwicklung erfolgte anhand der vorgegebenen Infrastruktur des Labors für Kunststofftechnik. Die Auslegung des Werkzeuges ist gekoppelt an den Einsatz in einer Maschine des Typs Arburg Allrounder 270c 500-100. Da ein kleineres Werkzeug bis zu einer gewissen Größe auch auf einer größeren Maschine betrieben werden kann, ist ferner die Möglichkeit eines Einsatzes auf einer 2-K-Maschine gegeben. Die Spritzgussmaschine im Kunststofflabor der Hochschule verfügt nur über die Möglichkeit eine Komponente zu spritzen wodurch das manuelle Einlegen des Kernes nötig ist. Diese Gegebenheit ermöglicht eine Weiterführung des Projektes in Form einer Automatisierung.

Bei der Konstruktion des Werkzeuges ist auf die Schwindung des Kernmaterials (hier PP bzw. PA) beim Auskühlen zu achten. Wird der Kern in die zweite Kavität eingelegt, ist ein dichtes Abschließen mit dem Werkzeug zwingend erforderlich. Nur so kann der Kunststoffaustritt beim Einspritzen der zweiten Komponente verhindert werden. Die Oberfläche der zweiten Kavität besitzt eine leicht angeraute Struktur wodurch eine griffige, matte und robuste Oberfläche der Buchstaben und somit eine angenehme Handhabung erzielt wird.

Eine Absicherung der Werkzeugauslegung konnte in Kooperation mit der Firma Veeseer Plastic durch die Simulation mittels Simu-

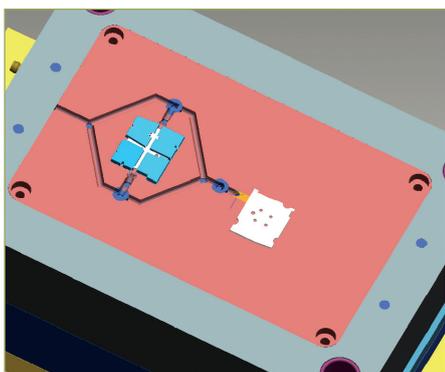


ABB. 7: FORMPLATTE UND FORMEINSATZ UNTERSEITE

lationssoftware der Firma simcon durchgeführt werden. Exemplarisch ist in Abb. 7 ein füllstandbezogenes Simulationsbild für einen Teil der zweiten Komponente zu sehen.

5 PRODUKTUMSETZUNG IM SPRITZGUSSPROZESS

Der Spritzgussprozess bedarf einer angemessenen Vorbereitung verbunden mit der Aufbereitung der Granulate. Das Thermoplastische Polyurethan Elastomer Granulat erfordert eine Vortrocknung um den Feuchtigkeitsgehalt auf 0,1% zu senken. Dadurch erhöht sich die Spritzbarkeit und ein gleich bleibender blauer Farbton der Buchstaben wird sichergestellt. Das Polyamid 6 Granulat erfordert aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften ebenfalls eine Vortrocknung. Das verwendete Polyamid 6 ist standardmäßig in der zu verwendenden Farbe Weiß vorhanden. Das TPU allerdings ist gemäß den Designvorschriften für die Verwendung des HTWG-Logos auf das exakte Blau abzumischen.

Für die Prozessparametereinstellung erfolgt die Ermittlung des Schmelzindex nach DIN EN ISO 1133.

EINRICHTPROZESS

Der Einrichtprozess orientiert sich zunächst an Richtwerten aus der Literatur. Die empfohlenen Bereiche stellen eine gute Basis für die weiteren Optimierungen dar. Die Studierenden bekommen über die direkte Ergebnisdarstellung am gespritzten Formteil ein Gefühl für die Zusammenhänge der Parameter Zeit, Druck und Temperatur für die einzelnen Kunststoffe.

PROBLEME

Nachdem alle Grundeinstellungen getroffen sind, wird mit dem Spritzgießen begonnen. Probleme die während des Einrichtvorgangs auftreten sind z.B. Rissbil-

dung an Bindenähten und eine dadurch entstehende Wellenbildung. Außerdem wurden Einfallstellen aufgrund einer ungünstigen Schwindung erkannt. Diese Fehler verursachen eine Undichtigkeit der zweiten Kavität und somit das „Verlaufen“ der TPU-Komponente.

OPTIMIERUNG

In der zweiten Kavität des Spritzgusswerkzeuges findet das Umspritzen des Kernes statt. Dazu ist die Dichtigkeit in der zweiten Kavität ausschlaggebend für die Qualität des gesamten Schlüsselanhängers. Grundvoraussetzung für das dichte Abschließen des Werkzeuges ist eine gute Oberfläche des Kernes mit geringer Rauigkeit und ohne Unebenheiten.

Um ein dichtes Abschließen des Werkzeuges zu erreichen und somit ein Austreten des Kunststoffes zu vermeiden, bestehen verschiedene Lösungsansätze, die es systematisch zu verfolgen gilt. Diesbezüglich bieten sich verschiedene Optionen durch das Verändern der Temperatur des Kunststoffes und der Werkzeughälften, die Drücke und Geschwindigkeiten des Einspritzvorgangs sowie des Nachdrucks, um die Dichtigkeit zu erreichen an.

Bei einer Undichtigkeit können z.B. die Temperaturen der Heizzonen in der Schnecke verringert werden. Somit erhöht sich die Viskosität des Kunststoffes und dieser tritt weniger bzw. nicht aus. Aufgrund der höheren Viskosität müssen jedoch die Parameter wie Geschwindigkeit und Druck angepasst werden. Nur so kann die vollständige Füllung der Form und ein Spritzling ohne Einfallstellen gewährleistet werden.

An diesem Beispiel lässt sich gut erkennen, dass die Prozessparameter stark voneinander abhängig sind und sehr genau aufeinander abgestimmt werden müssen. Zudem ist eine Veränderung der Parameter nicht direkt am Spritzling ersichtlich. Um die Folgen der Änderung zu erkennen müssen ca. 8-10 Teile gespritzt werden (s.

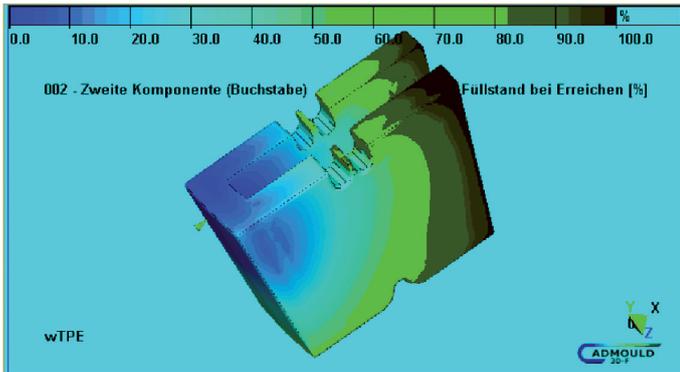


Abb. 8: SIMULATION DER FORMFÜLLUNG AM BEISPIEL DES BUCHSTABENS W

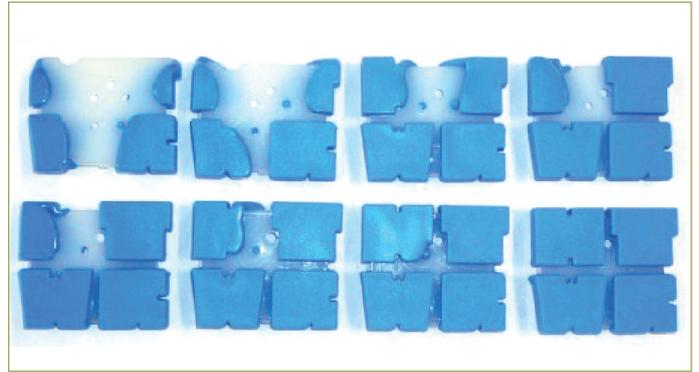


Abb. 9: ITERATIONSPROZESS

auch Abb. 8). Die Problematik der Schwindung konnte durch eine gezielte Temperierung der Werkzeughälften gelöst werden. Nach der systematischen Optimierung der Prozessparameter zu Gewährleistung der geforderten Produktqualität konnten Optimierungen zur Beeinflussung der Wirtschaftlichkeit durchgeführt werden. Konkret handelt es sich hierbei um eine Verkürzung der Zykluszeit. Ansatzpunkte sind die Verringerung der Restkühlzeit, die Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit, die Verminderung der Auswurfintervalle beim Rütteln und vor allem das schnellere Zu- und Auseinanderfahren der Werkzeughälften.

So konnte die Restkühlzeit von 20 auf letztendlich 13 Sekunden ohne Qualitätseinbußen reduziert werden. Hochgerechnet auf ein Produktionsvolumen von 10000 Schlüsselanhängern verkürzt sich die Gesamtproduktionszeit allein durch diesen Schritt um ca. 19 Stunden. Anschließend wurden die Auswurfintervalle beim Rütteln von drei auf einen Zyklus verringert. Ein einmaliges Aus- und Einfahren und eine anschließende Wiederholung reichten aus um den fertig umspritzten Kern restlos auszuwerfen.

6 PROJEKTFAZIT

Das Ziel einer Produktentwicklung mit anschließender Umsetzung gemessen an klar

definierten Anforderungen aus Technik, Wirtschaft und Marketing konnte durch die Fertigung eines Schlüsselanhängers im Zwei-Komponenten-Spritzgießverfahren auf der Spritzgussmaschine Arburg 270C realisiert werden.

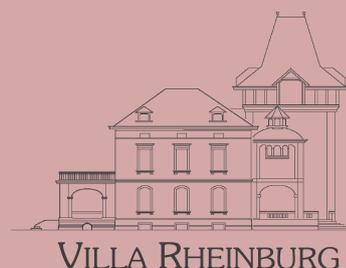
Durch die Integration von studentischen Projektarbeiten und der Unterstützung von industriellen Partnern ist ein vorzeigbares Produkt entstanden und die Umsetzung im Sinne von Forschung und Lehre eine große Bereicherung für alle Beteiligten. Durch die Herstellung des Anhängers erhält die Hochschule einen weiteren hochwertigen Marketingartikel, der sowohl als Geschenk als auch als Verkaufsartikel dienen kann und den hohen Stellenwert der Hochschule widerspiegelt. Gutes Feedback und Anfragen für Ausführungen in anderen Farben bestätigen die gute Resonanz. Mit dem Schlüsselanhänger in Form des HTWG Logos kann sich die Hochschule auf eine moderne und innovative Weise präsentieren. Das Produktkonzept einer eindeutigen Identifizierung mit der HTWG ist gelungen.

Zusätzlich zum bisherigen Laboraufbau, ist nun die Möglichkeit gegeben, ein komplexes Bauteil im Rahmen des Laborbetriebes herzustellen. Mögliche Fehler am Bauteil und deren Behebung ermöglichen den Studierenden eine schnelle und effektive Aufnahme des Vorlesungsinhaltes an Hand eines praktischen Beispiels und der selbständigen Arbeit an der Spritzgussmaschine.

Mehr Informationen zum Kunststofflabor: www.kst.ma.htwg-konstanz.de

LITERATUR

- [1] Arburg GmbH&Co., „*Mehrkomponenten-Spritzgießen*“, Lossburg, 01/2004
- [2] Arburg GmbH&Co., „*Kunststoff-Technologie-Kurs KT-4 – Technologie Spritzgießteil und Spritzgießwerkzeug*“, Lossburg
- [3] Johannaber, J., Michaeli, W., „*Handbuch Spritzgießen*“, München, 2002
- [4] Menges, G. / Mohren, P., „*Spritzgießwerkzeuge – Anleitung zum Bau von Spritzgießwerkzeugen*“, 5. Auflage, München, 1999
- [5] Franz Beitzl, „*1000 Tipps zum Spritzgießen*“, Band 2, Heidelberg, 2005
- [6] Bayer AG, „*ATI 1147 d Verfahrenstechnische Alternativen und Verfahrensauswahl*“, Leverkusen, 06/2002



VILLA RHEINBURG

Die Villa am See

Konzentrierte Arbeitsatmosphäre in traumhafter Umgebung direkt am Ufer des Bodensees:
Diese einzigartige Kombination bietet das Seminar- und Tagungszentrum „Villa Rhein-
burg“ in Konstanz.

Fünf Argumente, die für das Seminar- und Tagungszentrum „Villa Rheinburg“ sprechen:

- Einmaliges historisches Ambiente
- Moderne Infrastruktur
- Attraktive Incentives und Outdoorprogramme als Ergänzung zu Ihrer Veranstaltung
- Professionelle Beratung durch erfahrenes Team
- Konstanz - die reizvolle Landschaft an Bodensee und Rhein - im Dreiländereck
Deutschland, Österreich und Schweiz

Sie sind herzlich eingeladen, sich selbst ein Bild von der besonderen Atmosphäre unseres
Seminar- und Tagungszentrums zu machen. Nach einem Rundgang durch Haus und
Garten können wir bei einer Tasse „Rheinburger Kaffee“ Ihre Wünsche und Vorstellungen
besprechen und konkret ein Angebot für Ihre Veranstaltung ausarbeiten.

in traumhafter Umgebung

Das Seminar- und Tagungszentrum „Villa Rheinburg“ vereint unter seinem Dach die beiden
Institute für wissenschaftliche Weiterbildung an der HTWG Konstanz – Hochschule für
Technik, Wirtschaft und Gestaltung: die TAK – Technische Akademie Konstanz gGmbH
und die LCBS – Lake Constance Business School GmbH.



Seminar- und Tagungszentrum
„Villa Rheinburg“
Reichenauer Strasse 1
78467 Konstanz
www.villa-rheinburg.de

Leiterin Seminar- und Tagungszentrum „Villa Rheinburg“
Susanne Krebs MBA
Tel. +49 (0)7531 / 206 144
Fax +49 (0)7531 / 206 87 144
susanne.krebs@htwg-konstanz.de

PRAXIS-STUDIE SAP ERP KOSTEN UND NUTZEN IM MITTELSTAND: BETRIEBE VERSCHENKEN BETRÄCHTLICHEN ERP-NUTZEN!

Reiner Martin



PROF. DR. REINER MARTIN

Studium des Wirtschafts-
ingenieurwesens an der
Universität Karlsruhe. Von

1983 bis 1993 Tätigkeit bei der Hewlett
Packard GmbH u. a. Leiter der Materialdis-
position, Berater und Projektleiter für
unternehmensweite Systemführungen,
daneben Promotion an der Universität
Karlsruhe. Seit 1993 Professor für IT-
Projektmanagement und Produktions-
planung und -steuerung an der HWTG
Konstanz. Seit 2002 Programmleiter
Master Business Information Technology.
Mitgründer und Aufsichtsratsvorsitzender
der MQ Result Consulting AG in Tübingen.

So mancher IT-Manager ist seitens seiner Geschäftsführung massiven Vorwürfen ausgesetzt, das SAP-System verursache hohe Kosten denen kein adäquater Nutzen gegenüber stehe. Bei genauerer Betrachtung dieser Diskussionen besitzt die Geschäftsführung meist die besseren Argumente. Alle externen Kosten lassen sich leicht belegen, schließlich flattern laufend Rechnungen über Wartung, Beratungs- und Anpassungsdienstleistungen und Zusatzsoftware ins Haus denen das IT-Management kaum monetär ebenso verlässlich bewertbaren Zusatznutzen gegenüber anführen kann. Das IT-Management befindet sich demnach in einer permanenten Rechtfertigungshaltung mit wenig griffigen Nutzen-Argumenten auf seiner Seite. Nicht selten entsteht aufgrund dieser Situation in der Geschäftsführung ein stark kostenzentrierter Maßstab an die eigene IT, dadurch beherrschen Themen der Verschlinkung und der Auslagerung des IT-Betriebes die Vorgaben an das IT-Management. „Wir sehen dass uns der SAP-Betrieb eine Menge Geld kostet einen adäquaten Nutzen können wir aber nicht erkennen.“ IT wird zur Commodity wie uns populäre Wirtschaftsjournalisten jenseits des großen Teiches einzutrichtern versuchen. Fällt darunter wirklich auch der SAP-Betrieb? Darüber lässt sich trefflich streiten.

Ziel ist es, dieser wichtigen Diskussion nicht neue Meinungen beizusteuern, sondern Fakten aus der Praxis zu liefern und die richtigen Schlüsse aus diesen Fakten zu ziehen. Aus diesem Grund wurden die Erhebungsdaten der Studie zu Kosten und Nutzen von SAP ERP in der mittelständischen Industrie einer vertieften Analyse unterzogen. In der Studie wurde in 49 Unternehmen der mittelständischen Fertigungsindustrie die SAP ERP umfassend eingeführt hatten (d. h. die Kernmodule MM, PP, SD, FI und CO) genaueren Kosten und vor allem Nutzenbetrachtungen unterzogen. Bei den Kosten wurden die geplanten und tatsächlichen Einführungskosten und die Kosten für den

laufenden Betrieb abgefragt. Zur weit-
aus schwierigeren Ermittlung des durch
den Einsatz des SAP-Systems realisierten
Nutzens wurde ein bewährtes Nutzen-
messkonzept angewendet das unter der
Regie des Autors entwickelt wurde (veröf-
fentlicht in Wirtschaftsinformatik 2/2002).
Mit diesem Messkonzept wurde bereits
viele Unternehmen untersucht, erstmals
wurde es bei einer Untersuchung im Jahr
2000 eingesetzt. Inzwischen wurde bei
weit über 500 Unternehmen nach diesem
Konzept der Nutzen des ERP-Einsatzes be-
wertet. Bei dieser Nutzenmessung wird die
Veränderung des Nutzens gegenüber der
Situation vor der ERP-Einführung für insge-
samt 36 Nutzenaspekte erhoben. Diese 36
Einzelaspekte werden zu 9 Nutzenkatego-
rien verdichtet.

Zur genaueren Betrachtung der aktuellen
Untersuchungsergebnisse bei den SAP-
Anwendern im Mittelstand wurden die
teilnehmenden Unternehmen anhand Ih-
res bislang tatsächlich erzielten Nutzens
in drei Gruppen aufgeteilt. Das erste Drit-
tel bilden die Unternehmen (16 Top-User)
mit überdurchschnittlichem Nutzen, das
mittlere Drittel diejenigen (17) mit durch-
schnittlichen Nutzen und das letzte Drittel
die Unternehmen (16 Poor-User) mit unter-
durchschnittlichem Nutzen.

Diese Einteilung ermöglicht eine stark nut-
zenfokussierte Sicht auf den SAP-Einsatz
und hilft damit auch interessante Erkennt-
nisse bei den Kosten zu Tage zu fördern.
Bevor die Untersuchungsergebnisse zum
Nutzen eingehend beleuchtet werden,
wird zunächst der Frage nachgegangen
mit welchen Aufwendungen sich die Un-
ternehmen überdurchschnittlichen Nut-
zen erkaufen mussten (siehe Tabelle).
Zunächst fällt bei den in der Tabelle ange-
führten Untersuchungsbefunden auf, dass
die Top-User in dieser Untersuchung im
Schnitt etwas größer sind, gemessen an
der Anzahl Mitarbeiter, als der Befragungs-
durchschnitt, dies gilt es bei der weiteren
Bewertung der Untersuchungsergebnisse
zu berücksichtigen. Daneben legt dieser

Befund nahe: je kleiner die Unternehmen sind desto schwieriger wird es mit SAP ERP einen hohen Nutzen zu erzielen.

Als erstes Leistungsergebnis sind die Unterschiede beim Anteil der SAP-User an der Gesamtmitarbeiterzahl aufschlussreich. Bei den Top-Usern arbeiten mit 45,2 % deutlich mehr Beschäftigte mit dem SAP-System als bei den Poor-Usern (38,3 %), die Erfolgreichen zeichnen sich demnach durch eine substantiell höhere Anwender-Durchdringung aus. Folglich sollten die Unternehmen eine hohe Anwender-Durchdringung anstreben um ihren ERP-Nutzen zu erhöhen, das leuchtet ein, ERP ist das Medium zur Abwicklung der Geschäftsprozesse in einem Unternehmen, je konsequenter es angewendet wird desto höher ist der Nutzen.

Dabei wird die Frage der Kosten immer spannender, ein höherer Anwenderanteil beutet also mehr Nutzen aber in welchem Maße bedeuten mehr Anwender auch mehr Kosten in der Einführung und dem laufenden Betrieb?

Der erste große Brocken sind die Einführungskosten: Bezogen auf die Lizenzkosten je User weisen die Top-User geringere Kos-

ten auf als die restlichen Unternehmen. Da die Unternehmen der Gruppe Top-User größer sind und eine höhere Anwender-Durchdringung aufweisen, kommen die Top-User auf eine höhere Anzahl Gesamtnutzer die sich aufgrund der Stückkostendegression bei den Softwarelizenzkosten in geringeren Lizenzkosten je User niederschlagen. Doch ist davon auszugehen, dass der Degressionseffekt im betrachteten Userintervall allein die deutliche Differenz nicht erklärt. Die deutlich geringeren Lizenzkosten je User sind teilweise auch auf die besseren Ergebnisse, die die Top-User in den Vertragsverhandlungen mit dem Anbieter erzielen zurück zu führen. Diese Vertragsverhandlungen werden auf Seiten der Anbieter von darauf spezialisierten Mitarbeitern geführt – die machen nichts anderes. Dem stehen auf Anwenderseite zwar ebenfalls versierte Manager gegenüber, die allerdings nicht täglich Verträge für ERP-Software, Einführungsdienstleistungen und Wartung erarbeiten und abschließen. Wer in dieser Situation keine einschlägige externe Expertise zuholt wundert sich dann vielleicht erst Jahre später über seine hohen Lizenz- oder Wartungskosten. Es bedarf einer Menge Erfahrung, um zu wissen an welchen Stellschrauben wie stark „ge-

dreht“ werden kann, um einerseits markt-konforme Preise und andererseits ein noch für alle Beteiligten attraktives Geschäft zu formulieren, bei dem alle konstruktiv und langfristig zusammenarbeiten.

Die Einführungskosten, d. h. die Kosten für externe Berater (Einführung und Schulung) sind ebenfalls sehr aufschlussreich: Da es bei den Beratungskosten je User nicht den Effekt der Kostendegression wie bei den Softwarekosten je User gibt, erstaunt zunächst nicht, dass die Beratungskosten bei den Top-Usern etwas überdurchschnittlich ausfallen, schließlich haben diese Unternehmen auch einen überdurchschnittlichen Nutzen realisiert. Dieser Nutzen rührt daher, dass diese Unternehmen intern ein höheres Know-how in das Projekt einbringen können. Der höhere Nutzen muss aber immer noch hart erarbeitet werden und hierzu benötigen auch diese Unternehmen substantielle Unterstützung von externen Beratern. Schließlich findet eine ERP-Einführung nur alle sieben bis 15 Jahre statt, da kann das Unternehmen selbst nicht das gesamte Know-how vorhalten. Doch wie sieht es bei den Poor-Usern mit den externen Beratungskosten aus? Interessanterweise nehmen diese, obwohl sie weniger Nutzen erreichen, höhere externe

	MITTELWERT ALLE UNTERNEHMEN	MITTELWERT TOP-USER	MITTELWERT POOR-USER
Anzahl Mitarbeiter	534	730	513
Anteil SAP-User (%)	42,9	45,2	38,3
Einführungskosten			
Softwarelizenzkosten (Ist) pro User (€)	2.309	1.986	2.321
Einführungskosten (externe Berater, Ist) pro User (€)	2.871	3.159	3.609
Kostenüberschreitung - Software (%)	1,73	1,43	3,54
Kostenüberschreitung - Einführung (%)	14,82	13,2	26,23
Kosten laufender Betrieb			
Wartungskosten p. a. pro User (€)	580	440	624
Interner Betreuungsaufwand pro User (Manntage p. a.)	1,62	0,96	1,53

TABELLE: UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE ZU EINFÜHRUNG UND BETRIEB VON SAP ERP IM MITTELSTAND

Beratungsleistungen in Anspruch! Dies rührt zum einen daher, dass die Poor-User bei der Auswahl des am besten passenden Einführungspartners weniger häufig beim Richtigen landen. Eine weitere Ursache sind die bereits bei den Softwarekosten angeführten schlechteren Vertragsabschlüsse der Poor-User. Da jedoch die Verhandlungsspielräume bei der Software – schließlich ist es ein immaterielles Produkt – weit höher sind als bei der Beratung ist der Hauptgrund für die deutlich höheren Beratungskosten in den Defiziten bei der Einführung beim Anwenderunternehmen zu suchen. Die Poor-User versuchen diese Defizite durch vermehrte Inanspruchnahme externer Berater auszugleichen. Doch selbst die vermehrte Inanspruchnahme externer Berater vermag es nicht aus einem Ackergaul ein Rennpferd zu machen.

Wie gut schaffen es die Unternehmen ihr Projekt zu planen und ihr Projekt in der Realisierung im Griff zu halten? Bei den Softwarekosten ist dies sehr respektabel. An dieser Stelle sei allerdings angemerkt, dass wie bei allen Befragungen auch im vorliegenden Fall nur ca. die Hälfte der Unternehmen bereit waren Kostenangaben zu machen. Dabei ist davon aus zu gehen, dass dies eher Unternehmen mit guten Kostendaten waren, insofern sind die Kostenaussagen insgesamt eher als optimistisch zu beurteilen. Der Quercheck mit den vielen und äußerst detaillierten Kostendaten der MQ result zeigt jedoch, dass alle angeführten Kostenwerte der vorliegenden Untersuchung durchaus Realitätskonform sind. Kostenüberschreitungen bei der Software lassen sich durch eine detaillierte Anforderungsbeschreibung im Vorfeld der Einführung weitgehend vermeiden, wenn gleich auch hier wieder die Poor-User die ursprünglich geplanten, d.h. vertraglich vereinbarten Kosten um das Doppelte überschreiten. Weit schwieriger ist es die externen Beratungskosten im Griff zu halten, diese hängen von der Güte der externen Berater aber vor allem von der

von Projekt- bzw. Umsetzungskompetenz der internen Mitarbeiter ab. Diese Befunde zur Kostenüberschreitung bei externer Beratung sind ein weiterer deutlicher Beleg für die bereits angeführten Defizite der Poor-User.

Neben dem Block der bislang betrachteten Einmalkosten besitzen bei den langen Anwendungszyklen von ERP-Systemen die Kosten des laufenden Betriebes eine noch höhere Bedeutung. Allein, der Grundstein für diese Kosten wird im Wesentlichen zu Beginn im Auswahl- und Einführungsprojekt gelegt. Wann ist der beste Zeitpunkt die Wartungskosten zu verhandeln? Sicher nicht nach der Einführung, wenn das Unternehmen langsam merkt welche Leistungen des Anbieters den 17 oder jetzt 22 Prozent jährlichen Wartungsgebühren gegenüberstehen. Die Befunde zu den Wartungskosten sprechen eine deutliche Sprache: mit durchschnittlich 624 € fallen bei den Poor-Usern jährlich 41,8 % höhere Wartungskosten pro User an als bei den Top-Usern – demnach sind auch die War-

tungsgebühren nicht in Stein gemeißelt, nur muss darüber frühzeitig verhandelt werden.

Wie sieht es mit dem internen Betreuungsaufwand aus? Auch hier bestehen substantielle Unterschiede zwischen den Top-Usern und den Poor-Usern. Erstaunlicherweise erfordert der höhere Nutzen den die Top-User mit dem SAP-System erzielen keinen höheren internen Betreuungsaufwand – im Gegenteil. Die weniger optimal durch das SAP-System unterstützten Geschäftsprozesse der Poor-User erfordern einen deutlichen Betreuungsmehraufwand. Für den internen Betreuungsaufwand gilt allerdings ebenso wie für die im Folgenden genauer betrachteten Nutzeneffekte, dass selbst nach Jahren der Systemnutzung noch sehr umfassende Gestaltungsspielräume zur Nutzensteigerung vorhanden sind.

Die Unternehmen können die Kosten ihres SAP ERP Betriebes, ohne negative Auswirkungen auf den Nutzen, substantiell drücken. Bezogen auf die Kosten pro User

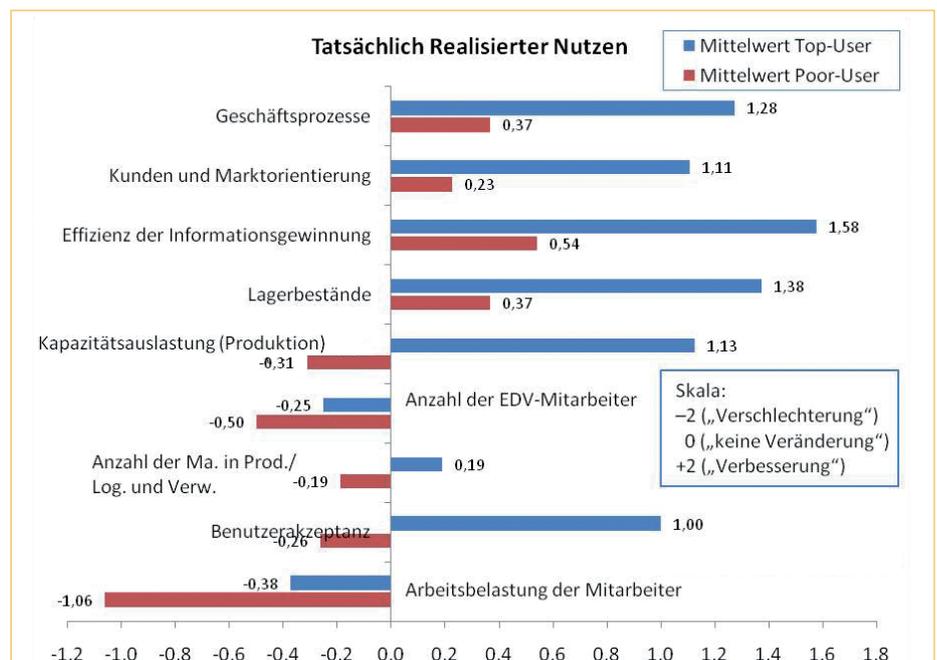


ABB. 1: REALISIERTER NUTZEN (STAND HEUTE)

weisen die Top-User sogar geringere Kostenwerte für SAP ERP-Einführung und den Betrieb auf als die Poor-User. Niedere Kosten und hoher Nutzen schließen sich demnach nicht aus – im Gegenteil.

Worin besteht der höhere Nutzen der Top-User? Zur genaueren Klärung dieser Frage erhob die MQ result consulting AG in ihrer SAP ERP-Studie Werte zu 36 Nutzenaspekten bei mittelständischen Fertigungsunternehmen die SAP ERP seit Jahren umfassend anwenden. Abbildung 1 zeigt die bis zum Erhebungszeitpunkt erreichten Nutzensteigerungen bzw. –Einbußen gegenüber dem Vorgängersystem. In der Darstellung wurden die 36 analysierten Nutzenaspekte zu 9 Nutzenkategorien verdichtet.

Abbildung 1 veranschaulicht deutliche Unterschiede beim bislang realisierten Nutzen zwischen den Top-Usern und den Poor-Usern. Steigerungen erzielten alle in den vier in Abb. 1 als erstes dargestellten Kategorien „Geschäftsprozesse“, „Kunden- und Marktorientierung“, „Effizienz der Informationsgewinnung“ und „Lagerbestände“. Diese Nutzensteigerungen lassen sich durch die Grundeigenschaften eines ERP Systems wie SAP ERP erklären, der hohen, integrierten Gesamtfunktionalität und der damit verbundenen einheitlichen Datenbasis von SAP ERP. So können aufgrund dieser Eigenschaften in der Kategorie „Geschäftsprozesse“ beispielsweise Verbesserungen bei der Auftragsdurchlaufzeit oder dem Lieferbereitschaftsgrad erzielt werden, da die gesamten Unternehmensprozesse durchgängig und konsistent abgebildet werden können. Nachvollziehbar ist deshalb auch, dass die Unternehmen bei der Prozesstransparenz über die größten Verbesserungen in der Kategorie „Geschäftsprozesse“ berichten. Ebenso kann durch die ERP-Grundeigenschaften bei der „Kunden- und Marktorientierung“ das IT-gestützte, koordinierte Auftreten gegenüber Kunden und Lieferanten verbessert

werden. Am meisten profitiert die Kategorie „Effizienz der Informationsgewinnung“ von der unternehmensweiten einheitlichen Datenbasis. Die Qualität und Geschwindigkeit mit der sich die Informationsgewinnung über Reports und Analysen mit SAP ERP unternehmensweit einheitlich realisieren lässt verbessert bei allen Unternehmen die unternehmensweite Planung und –Steuerung substantziell. Des Weiteren können die Unternehmen in der Kategorie „Lagerbestände“ Bestandsreduzierungen bei fertigen, unfertigen Erzeugnissen in der Produktion und bei Rohmaterialien mit Hilfe von SAP ERP erzielen.

Im Gegensatz zu diesen vier Kategorien, bei denen die Unternehmen recht sicher mit Nutzensteigerungen rechnen können, gibt es zwei Nutzenkategorien bei denen Nutzeneinbußen gegenüber den Vorgängersystemen eher die Regel sind. Bei der „Anzahl der EDV-Mitarbeiter“ berichten mehr Unternehmen über Anstiege als über Verringerungen, was sicherlich an der Systemkomplexität liegt. Noch eindeutiger

hat durch den Einsatz von SAP ERP die „Arbeitsbelastung der Mitarbeiter“ zugenommen. Gerade bei den SAP-Usern die Informationen generieren und damit intensiv mit der Eingabe und Pflege von Daten beschäftigt sind stieg die Arbeitsbelastung an – das ist der Tribut den die Anwender an die unternehmensweit einheitliche Datenbasis zollen müssen. Doch das ist nicht nur bei SAP so, frühere Untersuchungen des Autors zum ERP-Einsatz bei Infor COM, proALPHA und Microsoft Dynamics NAV Anwendern zeigen nicht grundsätzlich andere Nutzenprofile.

Viel deutlicher wie die Mittelwert-Unterschiede der Nutzenprofile verschiedener ERP-Systeme fällt der Unterschied zwischen den Top-Usern und den Poor-Usern, die dasselbe System einsetzen, aus! Wie Abb. 1 zeigt ist bei den Poor-Usern im Mittel eine Nutzeneinbuße bei der „Kapazitätsauslastung (Produktion)“ eingetreten, ganz im Gegensatz zu den Top-Usern, die eine Verbesserung der Kapazitätsauslastung erzielen konnten. Die Unterstützung

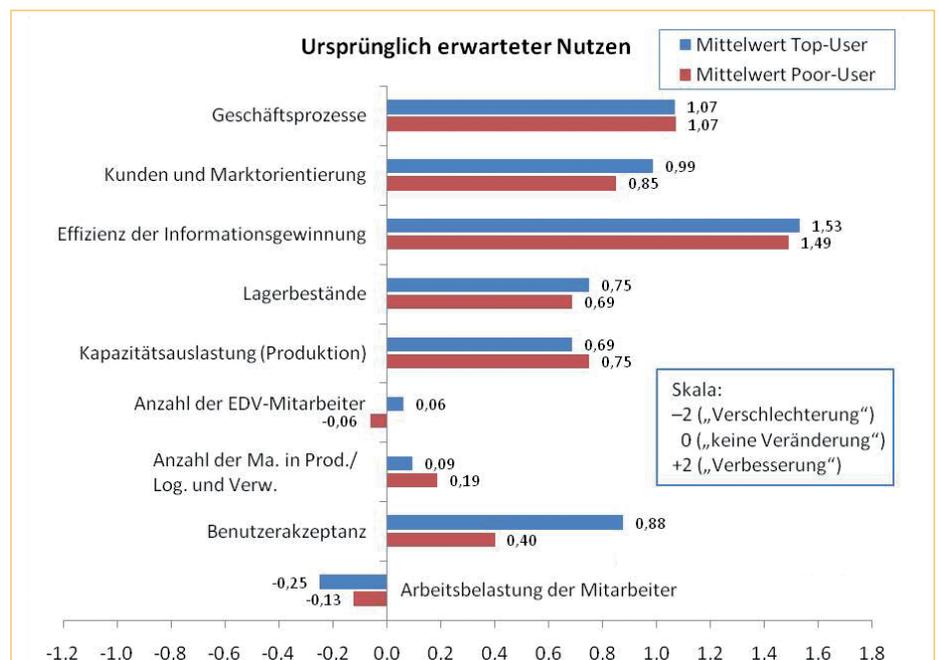


Abb. 2: Zu Einführungsbeginn erwarteter Nutzen

des ERP-Systems bei der Verbesserung der Kapazitätsauslastung stellt hohe Anforderungen an die datentechnische Abbildung der Fertigung. Neben Materialstämmen und Stücklisten sind aussagefähige Daten zu Arbeitsplätzen und Arbeitsplänen erforderlich. Da trennt sich die Spreu vom Weizen besonders deutlich. Eine weitere Nutzenkategorie mit besonders großen Nutzenunterschieden ist die „Benutzerakzeptanz“. In dieser Kategorie werden die Auswirkungen auf die Motivation, die Leistungsbereitschaft, den Systemumgang und die Arbeitsinhalte gemessen. Hierin wirkt sich wieder die stark unterschiedliche Implementierungskompetenz der Top-User gegenüber den Poor-Usern aus. Ein weniger gut eingeführtes SAP ERP führt nicht nur bei den Geschäftsprozessen und im Controlling zu weniger Nutzen sondern zunächst bei jedem einzelnen Mitarbeiter. Wenn wir der Frage weiter nachgehen wie es die Top-User schaffen einen signifikant höheren Nutzen zu erreichen sollten wir uns zunächst die Frage stellen mit welchen Erwartungen bzw. Zielen die Unternehmen in die SAP-Einführung und Nutzung eingestiegen sind. Die erstaunliche Antwort hierzu liefert uns Abbildung 2.

Die ursprünglichen Nutzenerwartungen der Poor-User sind, mit Ausnahme der Kategorie „Benutzerakzeptanz“, in allen Nutzenkategorien vergleichbar denen der Top-User. Es ist demnach nicht so, dass sich die Poor-User bereits am Start weniger vorgenommen hatten, sondern schlicht so, dass Sie von dem was sie sich vorgenommen hatten viel weniger erreicht haben als die Top-User.

Die Tatsache, dass sich die Poor-User in der einer einzigen Kategorie „Benutzerakzeptanz“ deutlich weniger vorgenommen hatten zeigt allerdings einen folgenschweren Mangel an Verständnis bzgl. der Erfolgsfaktoren einer ERP-Implementierung. Die User, deren Motivation, Systemakzeptanz und die Adaption des Systems an ihren

Arbeitsplatz sind ein Schlüsselement für den Erfolg. Das haben die Top-User erkannt und sich in diesem Bereiche deutlich mehr zu Beginn vorgenommen als die Poor-User. Vor allem aber haben die Top-User auch tatsächlich substanziellen Mehrnutzen in dieser Kategorie realisieren können, sogar etwas mehr als sie sich ursprünglich vorgenommen hatten! Das ist beileibe nicht einfach, bedenkt man, dass auch bei den Top-Usern mit der SAP-Einführung ein Anstieg der Arbeitsbelastung einherging. Ganz im Gegensatz hierzu steht die Situation bei den Poor-Usern, bei denen auf der Benutzerebene sogar Nutzeneinbußen entstanden sind. Durch die Mängel in der Arbeitsplatzadaption verzeichnen die Poor-User auch einen deutlich größeren Anstieg der Arbeitsbelastung der Mitarbeiter. Darüber hinaus legt die User-Akzeptanz auch den Grundstein für die Nutzeneffekte auf Geschäftsprozess- und Unternehmens-Ebene. Leidet die Akzeptanz der User, mündet dies in Mängeln bei den von ihnen generierten Daten und in einer weniger konsequenten Anwendung des Systems – mit fatalen Fol-

gen, wie die Ergebnisse in allen Kategorien beim realisierten Nutzen zeigen. Die Unternehmen benötigen motivierte, prozesssichere User, das ist nur über eine arbeitsplatzadäquate Systemadaption und über begleitende Schulungen zu erreichen.

In unserer Untersuchung erfassten wir nicht nur was sich die Unternehmen ursprünglich vorgenommen und was sie bis heute, nach im Schnitt ca. 5 Jahren Nutzung, tatsächlich erreicht haben. Wir erfassten zusätzlich noch, in wie weit die Betriebe ausgehend vom erreichten Nutzenstand noch weitere Potenziale sehen, diese Ergebnisse zeigt Abbildung 3.

Obwohl die Top-User bereits deutlich mehr erreicht haben als die Poor-User sind ihre Erwartungen an weitere Nutzensteigerungen, mit Ausnahme der Kategorie „Arbeitsbelastung der Mitarbeiter“, in allen Kategorien höher als bei den Poor-Usern. Waren die Erwartungen vor Einführung bei allen nahezu identisch trat inzwischen bei den Poor-Usern die große Ernüchterung

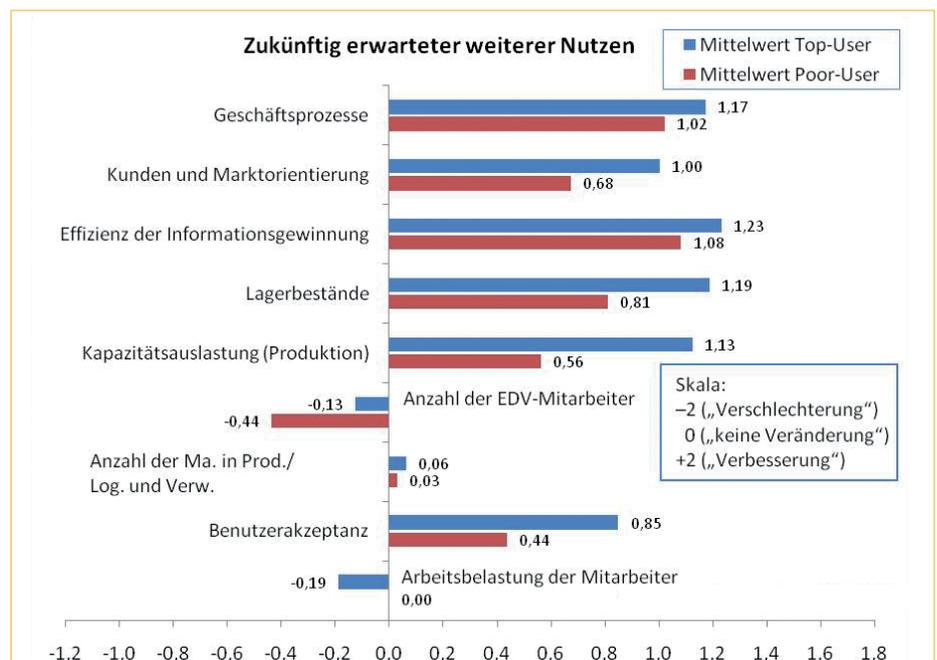


ABB.3: ZUKÜNFTIG ERWARTETER WEITERER NUTZEN (AUSGEHEND VOM BISHER ERREICHTEN)

ein. Dies ist sicher eine Erklärung dafür, dass die Poor-User, obwohl sie bisher weniger erreichten, geringere Steigerungen erwarten als die Top-User. Gerade in den Jahren nach der Einführung müssen die schlummernden Potenziale konsequent und aktiv erarbeitet werden. Den Poor-Usern fehlt hierfür die Systematik. Deshalb gehen sie diese bedeutenden Potenziale gar nicht oder zumindest nicht systematisch an. Doch, was schon für die Einführung gilt, gilt in besonderem Maße für die Nutzen-optimierung in der Anwendungsphase. Ohne konsequente Nutzenoptimierungs-Methodik laufen die Unternehmen Gefahr nur weitere Kosten zu produzieren — ohne nennenswerte Nutzeffekte.

Wer das Maximale aus seiner SAP-Anwendung rausholen will ist gut beraten zunächst systematisch alle Nutzenpotenziale zu identifizieren, nicht nur bezogen auf die IT-Funktionen und die Geschäftsprozesse, sondern auch unter Einbeziehung der User-Ebene und natürlich auch der Unternehmensleitung. Als Ergebnis kann ein Masterplan für die Nutzenoptimierung erstellt werden auf den alle Beteiligten „eingeschworen“ werden und den es dann abuarbeiten gilt. Gerade in wirtschaftlich schwierigen Zeiten sollten die Unternehmen diese Chancen ergreifen und maximalen Nutzen aus ihrer SAP ERP-Anwendung rausholen.

Dieser Artikel wurde ursprünglich in der in der Zeitschrift E-3, Ausgabe 02/2009, S. 72-73 und 03/2009, S.74-75 veröffentlicht.

Die Studie „SAP Kosten und Nutzen im Mittelstand“ wurde 2007 von der MQ result consulting AG durchgeführt. Wissenschaftlich wurde die Studie vom Autor begleitet, mit Unterstützung von Thomas Schoch, Absolvent des Masterstudiengangs Business Information Technology der HTWG Konstanz.



PROF. LENHARD SCHENK

Studium der Architektur und Stadtplanung an der Universität Stuttgart und

ETH Zürich. 1998 bis 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Karlsruhe (TH) Lehrstuhl für Wohnungsbau und Entwerfen, Prof. Dr. G. Uhlig. Seit 1992 selbständiger Stadtplaner und Architekt mit Bürositz in Stuttgart. Seit 2003 Professur für Städtebau und Entwerfen an der HTWG Konstanz, Fakultät Architektur und Gestaltung.



PROF. JO WICKERT

Studium an der Hochschule der bildenden Künste Saar zum Diplom-

Designer. Screendesigner und Art Director unter anderem bei Medialab München. Zuletzt viele Jahre Creative Director bei Pixelpark Berlin und als Design-Teamchef verantwortlich für zahlreiche große internationale Projekte wie adidas, MEXX oder SAP. Seit 2002 Professur für Interfacesdesign an der HTWG Konstanz. Seit 2006 Studiendekan des Studiengangs Kommunikationsdesign.



PROF. DR. JÜRGEN NEUSCHWANDER

Studium der Elektrotechnik (Informationsver-

arbeitung) an der TU Kaiserslautern. Promotion an der TU Karlsruhe/Kaiserslautern in Komplexitätstheorie. Danach 13 Jahre bei der EADS und Nortel Networks in verschiedenen Führungspositionen tätig. Seit 2001 Professor an der HTWG Konstanz mit den Schwerpunkten IT-Sicherheit und Rechnerarchitektur. Seit 2006 Prodekan der Fakultät Informatik mit Schwerpunkt Marketing.

NEUE WELTEN

Zunehmend schnell und zunehmend vielfältig durchdringen elektronische Medien weltweit den beruflichen und privaten Alltag. Die Frage wird nicht mehr sein, ob, sondern nur noch, wie wir via elektronische Medien zukünftig kommunizieren werden. Natürlich sind E-Mail und Internet etablierte E-Dienste, diese sind aber nicht für jede Art der Kommunikation geeignet. Die elektronischen Werkzeuge, die wir derzeit einsetzen, bedienen sich historisch gewachsener Kanäle. Neue Interfaces, die sich eher an den Bedürfnissen und der Intuition der Menschen ausrichten, werden entscheidend zur Weiterentwicklung elektronischer Medien beitragen.

Wer Meetings, Konferenzen oder Verhandlungen über elektronische Wege betreiben will, wird sich auf Dauer nicht mit einem Texteingabefenster oder einer einfachen Videokonferenz zufrieden geben. Es liegt nahe, für diese Art der Kommunikation eine allen bekannte Metapher zu benutzen: Die Welt, sei sie real oder virtuell. In einer virtuellen Welt können wir uns, wie in der realen Welt, neben der verbalen Kommunikation nun mit Gesten und Bewegungen der non-verbalen bedienen. In der virtuellen Welt spielen Umfeld, Aussehen, Mimik und Verhalten genauso eine Rolle wie sie es in der realen Welt auch tun. Natürlich sind die technischen Möglichkeiten noch sehr eingeschränkt, aber die ersten Versuche in diese Richtung sind erstaunlich erfolgreich, wobei eine der erfolgreichsten Second Life ist. Jeder, der sich in der echten Welt bewegen kann, wird dies auch in der virtuellen Welt tun können. Jede Figur in der virtuellen Welt Second Life entspricht einem echten Menschen, jedes Bauwerk kann betreten werden – lädt ein, umherzugehen, sich dort zu treffen oder etwas zu veranstalten. Vieles wird durch die Nachempfindung selbst erklärend: Ein Tisch ist ein Tisch und auf einen Stuhl wird man sich wohl setzen können...

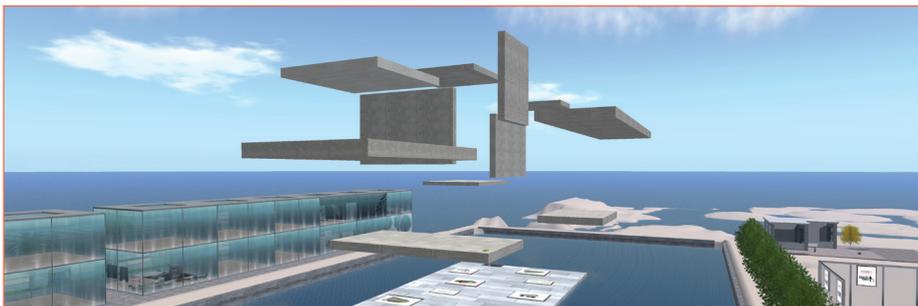
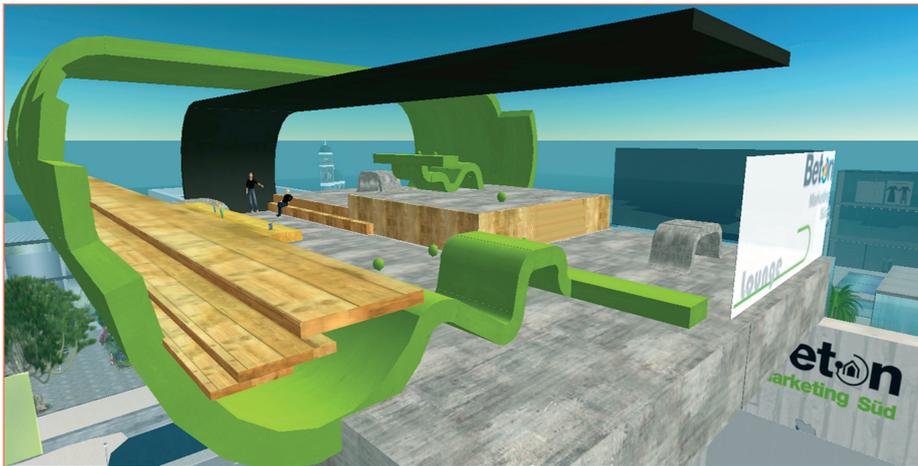
AUFGABE

Im Wintersemester 07/08 bat die Beton Marketing Süd GmbH die Studierenden der Studiengänge Kommunikationsdesign, Architektur und Informatik, einen Vorschlag für einen Auftritt in der virtuellen Welt Second Life zum Zweck der positiven Darstellung des Baustoffs Beton zu gestalten. Die Beton Marketing Süd GmbH erhoffte sich von dem Projekt neue Impulse für ihre Marketingarbeit gegenüber Fachleuten. Besonderes Augenmerk galt der Definition der Zielgruppe, der Botschaften und der eingesetzten Instrumente.

ABLAUF

Das Projekt war von Anfang an interdisziplinär angelegt. So stand den Studierenden der Studiengänge Informatik, Kommunikationsdesign und Architektur ein Team von drei Professoren aus den beteiligten Fakultäten zur Verfügung. In gemeinsamen, wöchentlichen Seminarveranstaltungen wurden die Studierenden betreut. Inhaltlich war das Projekt in drei Teile gegliedert:

1. Grundlagenermittlung: was ist Second Life, wie funktioniert Second Life, welche Potentiale bietet Second Life für Unternehmen?
2. Konzeption: Entwicklung einer „Main Idea“ für den Auftritt der BetonMarketing in Form eines internen Ideenwettbewerbs der Studierenden.
3. Ausarbeitung und Realisierung: Bildung einer übergeordneten Lenkungsgruppe zur Koordination des Gesamtauftritts sowie von mehreren Projektgruppen zur Erarbeitung der Einzelbausteine. Die aus drei bis vier Studierenden bestehenden Projektgruppen waren - wie das Gesamtprojekt – jeweils interdisziplinär aufgestellt. Zusätzlich wurde das Projekt von einem erfahrenen Second Life-Spezialisten begleitet. In wöchentlichen Tutorials wurde darüber hinaus das technische Fachwissen vermittelt.



ERGEBNIS

Mit dem Second Life-Projekt wurde ein innovatives, interaktives Marketinginstrument für die BetonMarketing Süd geschaffen, das sowohl Laien als auch Fachleute anspricht.

Die zugrunde liegende Konzeptidee war, dass die Informationsvermittlung interaktiv und spielerisch erfolgen sollte. Durch das Bedienen von interaktiven, überdimensionalen Tasten auf der so genannten Mainplattform (eine große begehbare Platte als Interface und Kernstück des Auftritts) konnte der Besucher sich zu schwebenden Plattformen oberhalb der Mainplattform transportieren lassen, die jeweils andere Aspekte des Baustoffs Beton aufgriffen. Bei der Ankunft auf der jeweiligen Platte wurde die Umgebung aktiviert und die spezifischen Inhalte wurden sichtbar, abruf- und erlebbar.

ERFAHRUNGEN

Dem Beruf des Gestalters, seien es Architekten, Kommunikationsdesigner oder Software-Architekten, haftet wie kaum einem anderen das Schlüsselwort „Kreativität“ an. Vom Gestalter wird Kreativität geradezu eingefordert, und scheinbar mühelos spuckt der Gestalter pfiffige Ideen am laufenden Band aus. Dabei ist so eine Leistung im Dauermodus alles andere als einfach. Um hier dauerhaft zu bestehen, müssen Werkzeuge in praxisnahen Projekten von den Studierenden erlernt und erprobt werden.

Ein Projekt wie dieses stellt besondere Anforderungen an die Studierenden: Es galt die Aufgabe zu lösen, für die Vertretung der süddeutschen Betonindustrie eine adäquate Repräsentanz in der virtuellen Welt Second Life zu konzipieren und zu gestalten.

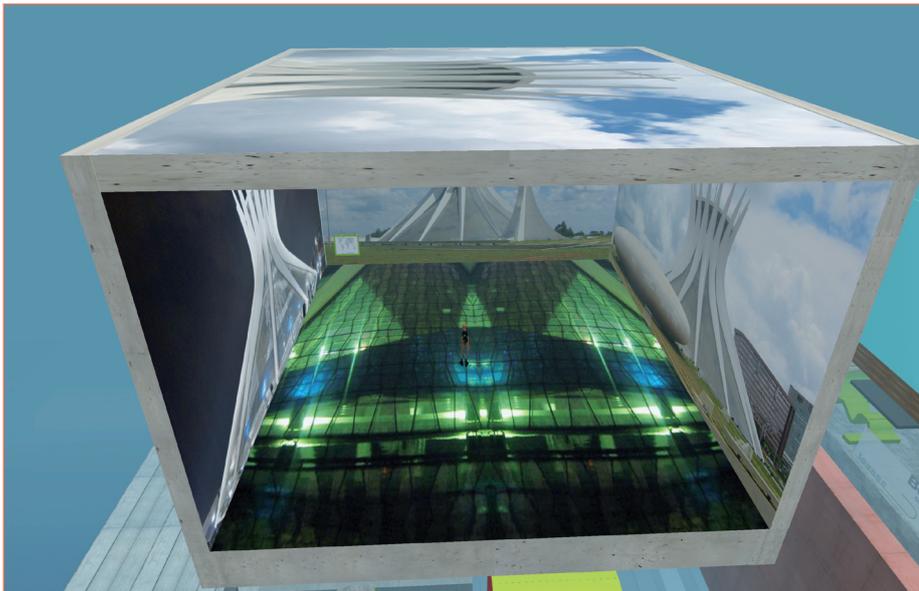
Die Gestalter von morgen werden viel intensiver als heute die Aufgabe haben, virtuelle Welten zu bauen und zu gestalten. Sicher werden sich die technischen Möglichkeiten verbessern und die grafische Leistungsfähigkeit solcher Systeme wird zunehmen. Im Prinzip wird aber auf die künftigen Architekten und Designer nicht nur eine neue Welt, sondern auch eine neue Aufgabenwelt zukommen. Schon heute gibt es einige wenige, die mit virtuellen Gütern ihr Geld verdienen. Zukünftig werden Ausbildung und Job möglicherweise auch über eine solche virtuelle Welt abgewickelt werden, IBM macht es bei dem Recruitment neuer Mitarbeiter mit Second Life schon heute vor. Dafür gilt es sich intellektuell und praktisch vorzubereiten. Mit diesem Projekt sind wir ein Stück Weg in diese Richtung gegangen.

UNBEKANNTES TERRAIN

Im Projekt konnten die Studierenden die einzelnen Parameter für kreatives Arbeiten kennen lernen und eigene Ideen verwirklichen:

Weder Professoren noch Studierende hatten bei diesem Projekt zu Beginn Expertise in der Frage, wie in Second Life eine virtuelle Repräsentanz aufzubauen sei. Lediglich in der methodischen Frage nach dem konzeptionellen Aufbau der Arbeit, d.h. welche Schritte in der Kreation normalerweise zu unternehmen sind, gab es bereits Antworten.





Weiter stellt sich die Frage nach der Idee, mit der das Unternehmen repräsentiert werden soll. Hierzu musste die Beton-Marketing Süd ausführlich analysiert werden. USP, Markencharakter, Identität sowie Corporate Design mussten vom gesamten Team erarbeitet und verinnerlicht werden. Nur über einen präzise gesteuerten Prozess konnte sichergestellt werden, eine Idee zu entwickeln, dieser Idee eine Gestaltung und schließlich eine technische Realisierung zu geben. Jedes Teammitglied musste dabei im Projektprozess vollständig involviert werden.

INTERDISZIPLINARITÄT

In diesem Projekt prallten vier Gruppen aufeinander: Architekturstudenten, Designstudenten, Informatikstudenten und Professoren bzw. Tutoren. Zu all den gestalterischen und technischen Herausforderungen des Projekts mussten alle Projektbeteiligten die Denk- und Arbeitsweise der anderen Gruppen verstehen und sich darauf einlassen. Mehr noch, es war von einer guten Zusammenarbeit die Realisierung des hoch gesteckten Ziels abhängig. Das war nicht immer einfach, aber gerade durch die Auseinandersetzung mit anders Denkenden wurde das Projekt immer wieder auf den Prüfstand gestellt, gewann dadurch an Profil und erhielt auch dadurch seinen besonderen Charme. Die beteiligten Studierenden gewannen Kompetenz an professioneller und realitätsnaher Teamarbeit.



Als Architekten und Designer gestalten wir die Welt von morgen. Unbekannte Gebiete zu planen und eine Welt zu schaffen, in der wir morgen leben, gehört zum Berufsbild. Mit diesem Projekt wurde per Definition Neuland im ureigenen Sinn betreten, da nicht nur unbekannte Territorien gestaltet werden mussten, sondern auch mit unbekanntem Technologien und Begriffen gearbeitet wurde - eine besondere Herausforderung für alle Beteiligten.

KOMPLEXITÄT

Dieses Projekt behandelte eine ungeheure Komplexität: Wo und wie kauft man Land in einer virtuellen Welt? Welche Bauvor-

schriften, statische Eingrenzungen, gestalterischen Vorgaben und rechtlichen Umstände gilt es zu beachten? Sind diese Fragen einmal geklärt, kommen neue Felder hinzu: Gibt es Mitbewerber, Best Practice-Auftritte, do's and don't's?

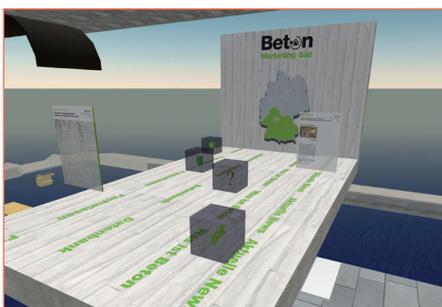


FREI GESTALTEN

Trotz aller Ansprüche, Einschränkungen und Ungewissheiten blieben alle Studierenden kontinuierlich bei der Sache. Interdisziplinäre Teams erarbeiteten Ideen, aber schließlich wurde eine der Ideen, die Main Idea, von allen ausgewählt und gemeinschaftlich weitergeführt. Druck wurde weder vom „Kunden“ BetonMarketing Süd noch von den begleitenden Professoren ausgeübt. Diskussionen und Auseinandersetzungen wurden geführt, um das beste erreichbare Ergebnis zu realisieren. Kurz: Ein Projekt, das mit Spaß realisiert, aber dennoch ernst genommen wurde.

UMSETZUNGSQUALITÄT

Letztlich ist jedes Projekt in der Umsetzung auch von der Qualität des Konzepts abhängig. Die enge Zusammenarbeit der Gestalter mit den Informatikern war hierbei besonders wichtig. Immer wieder wurden Ideen iterativ zwischen diesen entwickelt, verworfen, neu konzipiert, bis schließlich alles funktionierte. Dabei wurden unzählige Kommunikationsmittel geprüft, wobei besonders die bei Studierenden beliebten Skype oder StudiVZ-Foren etc. präferiert wurden. In der Testphase vor dem Launchtermin waren die Informatiker noch einmal besonders gefordert, alle Funktionen wirklich fehlerfrei umzusetzen. Wie bei einem Bauwerk wurde allseits Wert darauf gelegt, die wirklich beste „handwerkliche“ Qualität zu zeigen.



Die BetonMarketing Süd war mit dem Erreichten letztlich hoch zufrieden. Die Second Life-Präsenz war online erreichbar im Zeitraum von März bis Ende 2008. Der Weiterbetrieb wurde wegen des hohen Aufwands im Serverbetrieb und vor allem in der laufenden Pflege vom Auftraggeber BetonMarketing Süd zum Ende des Jahres aufgegeben.

In diesem Projekt konnten in idealer Weise die Kompetenzen der Studiengänge Architektur, Kommunikationsdesign und Informatik zusammen geführt werden: Die Gestaltung von baulich, räumlichen Projekten in Kombination mit der Gestaltung von medialen, kommunikativen und softwaretechnischen Prozessen – zu einem gemeinsamen Ganzen. Gerade die in diesem Projekt gelebte unkomplizierte Interdisziplinarität war ein Erlebnis, das sich auszubauen lohnt.

Die Projektdokumentation steht als Download zur Verfügung unter: http://www.architektur.htwg-konstanz.de/fr-pers/schenk/lehre/archiv/docs/WS0708_MaP2_SL_doku.pdf

BETREUER

Prof. Dr. Jürgen Neuschwander (Informatik)
Prof. Leonhard Schenk (Architektur)
Prof. Jo Wickert (Kommunikationsdesign)

TUTORIALS

Tim Laube

STUDIERENDE ARCHITEKTUR

Sandra Andryk, Raphael Arnold, Michele Bevivino, Saliha Durmus, Aurelien Fontalve, Janine Horn, Sarah Kirschstein, Thomas Kraus, Sebastian Marx, Yvonne Merkt, Andreas Rothen

STUDIERENDE INFORMATIK

Fabian Bernhardt, Daniel Deplano, Dimitar Dimitrov, Nikolai Solover

STUDIERENDE KOMMUNIKATIONSDESIGN

Caroline Blana, Cecilia Dannibale Palmer, Caroline Diop-Martins, Michaela Erlenwein, Nina Martens, Lais Osello-Benoit, Patrick Weber



DR.-ING. ULRICH LEIBFRIED

Jahrgang 1961, ist als Geschäftsführer für den Bereich Forschung

und Entwicklung bei der Consolar GmbH verantwortlich. Seit seinem Maschinenbaustudium beschäftigt er sich mit Solartechnik und hat in diesem Bereich auch promoviert. Ulrich Leibfried hat mehrere richtungsweisende Neuentwicklungen geleitet und als Erfinder zahlreiche Patente erlangt.



PROF. DR.-ING. THOMAS

STARK Jahrgang 1970, ist für das Fachgebiet Energieeffizientes

Bauen an der Fakultät Architektur und Gestaltung der HTWG Konstanz verantwortlich. Als Architekt beschäftigt er sich seit über 10 Jahren mit innovativen Energiekonzepten mit dem Schwerpunkt gebäudeintegrierte Solartechnik. Das Solare Bauen war auch Thema seiner Dissertation und Inhalt zahlreicher Prämierungen.

KURZFASSUNG

Solarsysteme mit höheren Anteilen zur Deckung des Heizwärmebedarfs benötigen vergleichsweise große Kollektorflächen bei möglichst steilen Anstellwinkeln im Bereich 60° – 90°. In diesem Beitrag werden hierfür – am Beispiel einer neuen Solarheizung – architektonische Konzepte und realisierte Beispiele vorgestellt.

EINLEITUNG

Ziel der Strategie der Europäischen Technologie-Plattform ESTTP ist die Deckung des Wärmebedarfs in Neubauten von Wohngebäuden zu 100 % und im Gebäudebestand zu 50 % mittels Solarthermie. Hierzu sind neue Systemkonzepte und größere, für den Heizbetrieb optimierte Kollektorflächen nötig. Mit SOLAERA ist Consolar einen deutlichen Schritt zur Erreichung dieses Ziels gegangen. Dieses System ist nicht mehr – wie bei herkömmlichen Solaranlagen – Zusatz- oder Ergänzung zum konventionellen Heizsystem, sondern es stellt selbst ein komplettes Wärmeversorgungssystem dar. Um Systeme mit großen Kollektorflächen ästhetisch ansprechend umsetzen zu können, ist es nötig, die Solar Kollektoren in wesentlich stärkerem Maße als bei herkömmlicher Technik in das Gebäude zu integrieren.

SOLARE ARCHITEKTUR

Architekten und Planer sind der Qualität unserer Umwelt in besonderer Weise verpflichtet. Kaum ein anderer Berufsweig greift so tief in die Sinnes- und Lebenswelt der Menschen und zugleich in die weltweiten Energie- und Stoffströme ein. Die solarthermische Wärmeengewinnung gilt auf Grund ihres enormen Potenzials hier als einer der zentralen Bausteine für die zukünftige Energieversorgung. Sie ermöglicht eine Wärmeerzeugung über die Gebäudehülle ohne mechanischen Verschleiß, Luftemissionen oder Geräuschentwicklung.

gen. Sie stellt neben der Photovoltaik die zweite Möglichkeit einer aktiven Nutzung der Solarstrahlung dar. Im Gegensatz zu Photovoltaik waren solarthermische Kollektoren von Beginn an eng mit der Gebäudeplanung verbunden und stehen heute als ausgereifte Produkte in einer großen Bandbreite zur Verfügung. Zunehmend übernehmen die Kollektoren neben der Energiegewinnung auch Zusatzfunktionen und nutzen damit Synergieeffekte. Darüber hinaus wirken sie immer auch gestaltprägend, was einen sensiblen Umgang mit dieser Technologie im Bezug zur Architektur erfordert.

UMDENKEN BEI DER PLANUNG

Dieser sensible Umgang ist bislang leider nicht die Regel. Im Gegenteil: Deutlich über 90 % der in Zusammenhang mit Gebäuden realisierten Solaranlagen werden ohne funktionalen oder gestalterischen Bezug zur Gebäudehülle realisiert. Bei der Planung stehen ausschließlich technische und wirtschaftliche Aspekte im Blickfeld. Dies liegt vor allem darin begründet, dass es sich fast ausschließlich um nachträgliche Installationen ohne Mitwirkung von Baufachleuten handelt. Dies gilt auch, wenn bei Neubauprojekten die Installation einer Solaranlage bereits angedacht war. Die Gebäudeplanung – und insbesondere die Gestaltung des Daches – erfolgt zudem auch heute noch in den meisten Fällen ohne Berücksichtigung potenzieller Solarflächen. Dies hat zur Folge, dass zu einem späteren Zeitpunkt die „solar nutzbaren Restflächen“ belegt werden. Ein wesentliches Kriterium der Eignung von Teilen der Gebäudehülle für solarthermische Kollektorflächen ist ihre Ausrichtung: Sie sollte zum einen möglichst unverschattet in Richtung Süd-West / Süd / Süd-Ost weisen, wobei das in diesem Beitrag untersuchte SOLAERA-System aufgrund seiner Hybridkollektoren eine vergleichsweise hohe Toleranz aufweist. Der zweite wichtige Parame-



ABB. 1: ALTBAU MIT AUFDACHMONTAGE UND DOPPELHAUSNEUBAU MIT FASSADENINTEGRATION



ABB. 2: SOLAERA-KOLLEKTOREN ALS GAUPENMONTAGE

ter ist die Neigung: Bei Solarheizsystemen, bei denen vor allem die tiefstehende Wintersonne optimal genutzt werden soll, sind Winkel um die 60° , aber auch Fassadenlösungen (90°) zu bevorzugen. Daneben gibt es zwei weitere technische Gründe, die dafür sprechen: Im Sommer wird die Solaranlage nicht durch starke Überschusseinstrahlung belastet, und im Winter kann Schnee von den Flächen rutschen, was insbesondere für solare Vollversorgungssysteme wie SOLAERA wichtig ist. Bei frühzeitiger Berücksichtigung dieser Kriterien in der Planung können große solarthermische Flächen als integrativer Bestandteil der Gebäudehülle realisiert werden – ggf. kombiniert mit Photovoltaikflächen für die flacheren Bereiche des Gebäudes.

SOLAERA: SOLARHEIZUNG MIT HYBRIDKOLLEKTOREN

SOLAERA kombiniert einen neuartigen Hybridkollektor (kombinierte Nutzung von Strahlung und Luft-Umgebungswärme) mit einer Wärmepumpe, einem Latentspeicher (Wasser/Eis) und einem Kombi-Schichtenspeicher ^{1/1}, ^{1/2}. Erdreichwärmetauscher werden nicht benötigt. Die Hybridkollektoren nutzen neben der Solarstrahlung bei bedecktem Himmel auch die Umgebungswärme der Luft. Für das System werden Kollektorflächen von mind. 20 m^2 benötigt, die mit einem steilen Winkel zwischen 60° und 90° angebracht werden. Aktuell befinden sich 10 SOLAERA-Anlagen im Feldtest ^{1/3}. Es handelt sich sowohl um Neu- als auch Altbauten mit einem Wärmeenergiebedarf zwischen 8000 und 20 000 kWh/Jahr. Die Wärmeversorgung erfolgt teilweise in Kombination mit wasserführenden Kaminöfen. Bei den meisten der bisher realisierten Projekte wurde erst nach der Planungs- oder Bauphase für das Gebäude die Montage der Kollektoren vorgesehen, so dass beispielsweise die Dachneigung bereits vorgegeben war. Die folgenden Abbildungen zeigen die Kollektorfelder von 3 Projekten.

Die Fotomontage in Abbildung 2 zeigt, dass auch bei einem bestehenden Dach eine

bessere Integration der steilen Kollektorfläche erfolgen kann: Die Kollektoraufständerung wird in der Art einer Dachgaube verkleidet und bietet – falls gewünscht – damit sogar zusätzlichen Stauraum unter dem Dach.

STUDIEN ZU NEUBAUPROJEKTEN

Im Rahmen eines Workshops haben sich Architekturstudenten der HTWG Konstanz mit der Thematik der Integration großer steiler solarthermischer Kollektorflächen befasst ^{1/5}. In verschiedenen Studien wurden Entwürfe entwickelt. Hierbei war besonders der Konflikt zu transparenten südorientierten Flächen zu lösen. Sie nachstehenden Abbildungen zeigen ausgewählte Entwürfe.

STUDIEN ZU BESTANDSGEBÄUDEN

Die Herausforderung zur Integration in Bestandsbauten ist bei dieser Aufgabe besonders groß. Viele Gebäude weisen keine entsprechend geneigte und durchgängig belegbare Dachfläche auf. Fassaden sind meist in individuellen Rasterungen (Fenster, Türen) strukturiert, was die Verwendung von Fassadenkollektoren mit Standardmaßen stark einschränkt. Es wurden



Abb. 3: LINKS: EINFAMILIENHAUS MIT FASSADENINTEGRIERTEN KOLLEKTOREN, RECHTS: SOLARSTRUKTUR VOR REIHENHAUSZEILE



Abb. 4: LINKS: EINFAMILIENHAUS MIT FASSADENINTEGRIERTEN KOLLEKTOREN, RECHTS: NUTZUNG EINER VORHANDENEN METALLSTRUKTUR

Designstudien durchgeführt, bei denen durch eine Fotomontage nachträglich an unterschiedliche bestehende Gebäude Kollektorflächen eingebunden wurden. Die Anlagen orientieren sich am SOLAERA-System, die Anlagengrößen, Neigungswinkel und Kollektorformate entsprechen nicht immer den aktuellen praktischen Vorgaben. Ziel dieser Studie war es, potenzielle Solarflächen unter Berücksichtigung des Entwurfskonzeptes aufzuzeigen. Die folgenden Abbildungen zeigen ausgewählte Beispiele /6/.

ZUSAMMENFASSUNG

Große solarthermische Flächen in der Gebäudehülle sind aufgrund ihrer Funktion und Anordnung immer gestaltprägend und dürfen nicht als Fremdkörper im Gesamtentwurf wirken. Bei der Planung von Gebäuden müssen die Kollektorflächen mit besonderer Sorgfalt einbezogen werden. Die realisierten Projekte und die Designstudien zeigen auf, dass bei frühzeitiger Berücksichtigung im Neubau eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Integration der Flächen besteht. Die für das Solare Heizsystem SOLAERA benötigten Kollektorflächen

sind – verglichen mit herkömmlichen Solaranlagen mit vergleichbaren Energieeinsparungen – deutlich kleiner, so dass es auch im Gebäudebestand zahlreiche Möglichkeiten gibt, diese Flächen funktionell und gestalterisch zu integrieren. Das patentierte Solarheizsystem SOLAERA, das die komplette Wärmeversorgung eines Hauses ermöglicht, geht nach umfangreichen Feldtests im Juni 2009 in Serie.

/1/ Leibfried, Ulrich; Klinger, Felix; Mulyo, Mego: Die Sonne als Hauptenergie-lieferant der Heizung: von der Vision zur Realität, Tagungsband zum 17. Symposium



ABB. 5: LINKS: EINBINDUNG IN DEN BRÜSTUNGSBEREICH, RECHTS: EINFAMILIENHAUS MIT SOLAREN DACHFLÄCHEN AUS SONDERFORMATEN. DER NEIGUNGSWINKEL IST NUR AN STANDORTEN MIT SEHR GERINGEM SCHNEEFALL MÖGLICH



ABB. 6: EINBINDUNG IN DIE FASSADE EINES MEHRFAMILIENHAUSES MIT MINIMIERTER KOLLEKTORFLÄCHE FÜR EINEN PASSIVHAUSSTANDARD, RECHTS: EINBINDUNG IN DEN WINTERGARTEN EINES EINFAMILIENHAUSES

Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Regensburg, Mai 2007

/3/ Leibfried, Ulrich; Günzl, Arno; Sitzmann, Bernd: SOLAERA: Solar-Wärmepumpensystem im Feldtest, Tagungsband zum 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Regensburg, Mai 2008

/4/ Stark, Thomas; Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: Energieatlas, DETAIL-Verlag, München 2007

/5/ Workshop Solararchitektur, HTWG Konstanz, SS 2008, Teilnehmer: M. Nagel, G.

Hillebrand, S. Steinmetz, Y. Huber, J. Schmidt, M. Fritz, K. Hovy, S. Fuchs, A. Nitsch, J. Hainbucher, G. Boll, K. Jung, I. Plenge, T. Geissner, N. Fiur, V. Gonzalez, P. Lindenmaier, P. Wahl, M. Fien, A. Ehrat, J. Kimmerle, S. Simon, D. Momiroski, S. Marx

/6/ Fotomontagen Sven Simon, HTWG Konstanz

ARCHITEKTUR UND GESTALTUNG

FORSCHUNGEN ZUR NEUEREN ARCHITEKTURGESCHICHTE

Unter dem Aspekt einer zunehmenden Bedeutung des Bauens im Kräftefeld historischer Bausubstanz für den Architekten von heute, auch aber unter dem Aspekt eines erweiterbaren Spektrums der Architektentätigkeit nach Abschluß des Studiums, werden im Rahmen des Projektes die Grundlagen des architektonischen Wirkens in der Gegenwart untersucht, die aus den verschiedenen Architekturwegen, insbesondere des späten 19. und des 20. Jahrhunderts, hier bis in die fünfziger Jahre hinein, herausgefiltert werden sollen. Diese Forschungen zur Entstehung der modernen Architektur sollen die Notwendigkeit einer engen Verknüpfung verschiedener Disziplinen, etwa die der Bauingenieure, der Denkmalpfleger, der Historiker und der Architekten aufzeigen sowie die Unabdingbarkeit der vertieften Kenntnis neuerer Architekturgeschichte zur Gestaltung einer aktuellen und doch über dem Fluß des Modischen stehenden Architektur, zur Ausbildung einer eigenen, genuinen Formsprache.

Prof. Dr.-Ing. Immo Boyken
Tel.: +49 (0)7531 206-199
e-Mail: boyken@htwg-konstanz.de

ARCHIV FÜR ARCHITEKTUR- UND BAUINGENIEURWESEN

An der HTWG Konstanz ist ein Archiv für Architektur- und Bauingenieurwesen eingerichtet worden, in dem schwerpunktmäßig - aber nicht ausschließlich - aus der Region Bodensee Materialien zum gegenwärtigen und vergangenen Architektur- und Bauingenieurgeschehen zusammengetragen, bewahrt, dokumentiert und wissenschaftlich aufgearbeitet werden. Das Archiv steht allen an Lehre und Bauforschung Interessierten offen. Seine Aufgabe ist, durch die Ausrichtung auf eine überschaubare Region grössere Flexibilität, Überschaubarkeit und Effektivität zu erreichen sowie die Gemeinsamkeiten der Disziplinen Architektur und Bauingenieurwesen sichtbar werden zu lassen. Der gegenwärtige Bestand - Materialien zur deutschen expressionistischen Architektur, zur 'Stuttgarter Schule' um Paul Bonatz und Paul Schmitthenner, zur Architektur der ersten Jahre nach 1945, zu Eisen- bzw. Stahlbrückenkonstruktionen, eine umfangreiche Gross-Diapositiv-Sammlung mit Originalaufnahmen vorwiegend zur Architektur der zwanziger Jahre sowie Möbel von Egon Eiermann - beruht auf Legaten von privater Hand. Zusammenhängende Plankonvolute führender Architekten liegen vor.

Prof. Dr.-Ing. Immo Boyken
Tel.: +49 (0)7531 206-199
e-Mail: boyken@htwg-konstanz.de

JÜDISCHE JUGEND IN DEUTSCHLAND

Seit 2005 arbeiteten neun Studenten und drei Professoren der Hochschule Konstanz im Studiengang Kommunikationsdesign an dem Ausstellungs-, Publikations- und Dokumentarfilmprojekt »Jüdische Jugend heute in Deutschland«. Anliegen ist, einen bedeutenden, aber weithin unbekanntem Aspekt deutscher Gegenwart darzulegen. Wichtiger Bestandteil der Arbeit sind Begegnungen und Gespräche mit jungen Juden in Deutschland. Diese Gespräche bilden die Grundlage für die Ausstellung und den Dokumentarfilm. Das Stichwort »Begegnung« ist zentral für das gesamte Projekt. Zusätzlich wurden Fakten zur Situation jüdischer Jugendlicher im besonderen und der Juden in Deutschland im Allgemeinen recherchiert und aufbereitet. Auch aktuelle Entwicklungen, wie die Zuwanderung osteuropäischer Juden, wurden dabei in den Blick genommen. Im Dezember 2005 konnten die im Rahmen des Projekts entstandenen Fotografien und Interviews im »Deutschen Haus« der New York University präsentiert werden, 2006 in der »Galerie im Turm« in Konstanz, im »Deutsch-Amerikanischen Institut Heidelberg«, gegen Ende des Jahres 2006 im Jüdischen Museum Berlin und 2007 im Jüdischen Museum Frankfurt. 2008 ist die Ausstellung im »Beit Daniel - Center for the Progressive Judaism« in Tel Aviv und im »Jüdischen Museum Franken« in Fürth. Webadresse des Projektes: <http://juedischejugendheute.ag.htwg-konstanz.de>

Prof. Dr. phil. Volker Friedrich
Tel.: +49 (0)7531 206-659
e-Mail: fried@htwg-konstanz.de

KONZEPTION UND REALISIERUNG DES VISUELLEN ERSCHEINUNGSBILDS DER JUBILÄUMSFEIER EINER DRUCKEREI

14 Studierende des 6ten Semesters Kommunikationsdesign der HTWG Konstanz, betreut von den Professoren Brian Switzer und Valentin Wormbs sowie dem technisch-künstlerischen Mitarbeiter Phillip Finkbeiner, entwickelten das visuelle Erscheinungsbild der 50-Jahre-Feier der Druckerei Ladegast, einem Spezialisten für Pharmaverpackungen in Reichenau Waldsiedlung. Ausgehend von einem Thornton-Wilder-Zitat »Nur dem Anschein nach ist die Zeit ein Fluß. Sie ist eher eine grenzenlose Landschaft, und was sich bewegt, ist das Auge des Betrachters.« wurden ca. 3500 qm Produktionsfläche in eine Landschaft aus Faltschachteln verwandelt. Im Foyer wurden die 160 wichtigsten Geschäftspartner aus der Pharmabranche von leichten, freitragend installierten, gebogenen Vorhängen aus Schachtelstanzlingen empfangen und auf die Reise durch die Produktionshallen geschickt. Auf dem Weg zum Festsaal in die leergeräumte 10m hohe und 1000 qm große Papierlagerhalle befanden sich ein Kino-Iglu aus Kartons von 6 m Höhe, in dem ein eigens angefertigter Animations-Imagefilm auf drei parallelen Projektionsflächen zu sehen war, und ein 10m langer Museum-

stunnel mit beleuchteten Schachtelvitrienen, die die wichtigsten Produkte zeigten. In der Festhalle erwartete die Gäste eine je nach Tageszeit wechselnd farbig beleuchtete Landschaft aus 4000 weissen Verpackungskartons, die wiederverwendbar zu Bäumen, Horizontlinien und Stehtischen ineinander gesteckt waren. In der Mitte der Halle befand sich eine abgehängte Himmelsfläche aus 2000 ebenfalls weissen Schachteln, die zum einen die 1,8 Tonnen schwere Licht- und Tontechnik vor den Blicken verbarg und zum anderen als Projektionsfläche für ein angenehmes, indirektes Licht während der Vorträge und beim Festessen sorgte. Im Anschluss an den Festakt hatten die Gäste Gelegenheit sich vor Ort in den angrenzenden Produktionshallen anhand eines Leitsystems aus großformatigen Infotafeln mit blauen, nummerierten Headlineboxen ein Bild von den 14 wichtigsten Produktionsschritten bei der Herstellung von Faltschachteln zu machen. Ergänzend konnten diese technischen Informationen in einem ungewöhnlich gestalteten und aufwändig illustrierten Booklet gemeinsam mit der ähnlich gestalteten Menukarte mit nach Hause genommen werden. Weitere ca. 10.000 kleine, farbige Schachteln wurden zu zwei jeweils 7m breiten Pixelbildern zusammengefügt, die in Bezug zur Vorführung der hauseigenen Softwareprodukte standen.

Prof. Valentin Wormbs
Tel.: +49 (0)7531 3659271
e-Mail: wormbs@htwg-konstanz.de

ENTWICKLUNG EINES TOURISTISCHEN LEIT- UND ORIENTIERUNGSSYSTEMS

Es wurde ein touristisches Leit- und Orientierungssystem für alle Verkehrsteilnehmer, aber vordringlich Pkws, insbesondere eine Wegeleitsystematik und entsprechende Visualisierungen für die Gemeinde Reichenau entwickelt.

Prof. Brian Switzer
Tel.: +49 (0)7531 3659273
e-Mail: switzer@htwg-konstanz.de

WECHSELWIRKUNGEN BEI DER KOMMUNIKATION MIT GESCHRIEBENEM, PRÄSENTIERTEM UND BILDERN

Im Projekt werden die Fragestellungen untersucht: Welche Wechselwirkungen entstehen bei der Kommunikation mit Geschriebenem, Präsentiertem und Bildern? Wie geht eine Professionalisierung dieser Kommunikation vonstatten? Wie kann sie befördert werden, insbesondere bei der Vermittlung komplexer Sachverhalte wie in der Kommunikation von Wissenschaft und Technik?

Prof. Dr. phil. Volker Friedrich
Tel.: +49(0)7531/206 659
e-Mail: fried@htwg-konstanz.de

BETONMARKETING SÜD. HOCHSCHULE KONSTANZ TECHNIK WIRTSCHAFT GESTALTUNG. SECOND LIFE. PROJEKT

In einer virtuellen 3-D-Welt mit Landschaften, Inseln, Städten, Architekturen und künstlichen Figuren wie Second Live spielt virtuelles Bauen eine wesentliche Rolle. Second Life wird von Globalmarken wie Adidas, Toyota und Coca-Cola aber auch lokal - von z.B. Berlin und Baden-Württemberg - für Marketingaktivitäten genutzt. Im Projekt wurde der Second Live Auftritt der BetonMarketing Süd GmbH in diesem Umfeld konzeptionell und technisch den höchsten Anforderungen entsprechend konzipiert.

Prof. Dr. Leonhard Schenk, Prof. Jo Wickert
Tel.: +49(0)7531/206385
e-Mail: leonhard.schenk@htwg-konstanz.de

BAUINGENIEURWESEN

AUFBAU EINES DIGITALEN PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSES IN DER PROZESSKETTE PLANUNG, PRODUKTION, HANDEL UND VERKAUF VON KÜCHENMÖBELN – OPTIMAR

Optimar soll schrittweise durch immersive Virtual Reality die gesamte Prozesskette von der Planung, Konstruktion, Produktion, Handel und den Verkauf ermöglichen. Optimar ist der Aufbau eines digitalen Produktentstehungsprozesses, der nicht nur eine innovative Produktentwicklung sondern die prozessorientierte Entwicklung, Funktionalität, Kostenreduktion bis hin zum Kundenservice beinhaltet. Gelöst werden soll die Frage, wie aus dem Planungs- und Herstellungsprozess stammende 3D-Daten in der virtuellen Realität nicht nur betrachtet sondern auch verändert werden können. Die VR-Technologie in einer immersiven Umgebung (IVR) wird als neues 3D-Medium eingesetzt. Durch eine intuitive und interaktive Arbeitsweise wird der Benutzer frühzeitig sein Handeln überprüfen und gravierende Fehler in der Planung und der übrigen Prozesskette vermeiden.

Prof. Constantin Boytscheff
Tel.: +49 (0)7531 206- 619
e-Mail: boyt@htwg-konstanz.de

FLEXIBLE RAUMZELLE IN KOMPOSITBAUWEISE

Ausgehend vom vorhandenen und prognostizierten steigenden Bedarf an preiswerten, weitgehend vorgefertigten kleinen Wohneinheiten wird eine Raumzelle entwickelt, deren Anwendungsbereich vom Einzimmerappartement, über Geschoss/Maisonette-Wohnungen, Einfamilienhäuser bis hin zu Bürobauten reicht. Die einzelnen Raumzellen sind als vollständig entkoppelte Module, sowohl horizontal als auch vertikal, addierbar. Es sollen bis maximal sechs Geschosse realisiert werden und sowohl autarke

Einzelzellen, als auch offene Raumstrukturen über mehrere Zellen und Geschosse hinweg möglich sein. Auf der Basis theoretischer und wissenschaftlicher Analysen sowie experimenteller Untersuchungen gemeinsam mit der HTWG Konstanz entwickelt die Carl Platz GmbH&Co KG eine neue Kompositbauweise. Innovative Kerne werden neben einer ganzen Reihe von Neuentwicklungen besonders ein neuartiges Stahlbetonteil für Decken und Böden sein, sowie eine neu zu entwickelnde Klebetechnik.

Prof. Dr. Wolfgang Francke
Tel.: +49 (0)7531 206-217
e-Mail: francke@htwg-konstanz.de

SELF-PURIFICATION OF SEWERAGE SYSTEMS CAUSED BY VARIATION OF RUNOFF CHARACTERISTICS BY DISCHARGE BRAKES WITH FLUSHING DEVICE

In combined water sewers sedimentation occurs during dry water flow that causes obstructions of flow. This leads to great transport of high loads into the receiving waters and the sewer treatment plant. At present the sewerage systems have to be cleaned in regular intervals. The existing discharge brake will be remodelled and used instead of these time-consuming and expensive methods. The effects of the discharge brake on sediments in sewage systems have to be analysed but it is expected that it will reduce the amount of sediments on the sewer. Additionally the discharge brake enables the precautionary cleaning of the sewers disregarding the occurrence of high precipitation. One or several pilot-plants will be developed. The planned research will be implemented at these experimental plants in the laboratory. Brakes arranged in form of a cascade of brakes helps to evaluate the current flow conditions. It has to be analyzed if the existing flow conditions avoid sediments or if intermittent flush wave has to be. If experimental models bring successful results the new technique will be computer-simulated (hydraulic and load simulations) and tested in existing sewage systems. If necessary it is possible to change construction details of the brakes at this stage. In a next step practical tests in cities and communities will be carried out which demonstrate the brakes advantages in general use.

Prof. Dr. Werner Lutz
Tel.: +49 (0)7531 206-218
e-Mail: wlutz@htwg-konstanz.de

BÜRO-EFFIZIENZ

Im Projekt wird untersucht, welchen Einfluss bauphysikalische Parameter (Schall, Licht, Wärme, Luftfeuchtigkeit etc.) auf die Arbeitsleistung der Nutzer von Büros haben. Dabei wird die Wechselwirkung der bauphysikalischen Einflussparameter, Arbeitsabläufe und Arbeitsorganisation untersucht.

Prof. Dr. Bernd Jödicke
Tel.: +49 (0)7531 206-245
e-Mail: joedicke@htwg-konstanz.de

ZUSTANDSERFASSUNG UND BEGUTACHTUNG VON BAUTEILEN UND BAUSTOFFEN DES HOCH- UND TIEFBAUS

Im Auftrag werden Bauwerke bzw. Teile von Bauwerken des Hoch- und Tiefbaus auf Schäden untersucht, die die Gebrauchstauglichkeit oder die Tragfähigkeit vermindern könnten. Vorwiegend handelt es sich dabei um drei Gruppen von Schadensursachen: Planungs- oder Herstellungsbedingte Mängel bei Neubauten, Mängel und Bauschäden infolge Witterungsbedingter Einflüsse, Materialermüdung und Abnutzung, vorwiegend an älteren Bauwerken und Brandschäden. Die Zustandserfassung ist in der Regel mit verschiedenen Untersuchungen vor Ort verbunden, wie z.B. Messung der Karbonatisierungstiefe, Messung der vorhandenen Betonüberdeckung, Messung der Eindringtiefe von Chloriden, und die zerstörungsfreie Bestimmung der vorhandenen Druck- bzw. Haftzugfestigkeiten von Bauteilen vor Ort. Ferner werden an betroffenen Stellen Materialproben für weitere Untersuchungen im Labor entnommen. An diesen Proben können z.B. die Feuchte, die Wassereindringtiefe, die Festigkeit, die chemische Zusammensetzung, der Gehalt an wasserlöslichen Salzen und eventuelle Auffälligkeiten im Gefüge untersucht werden. Die vor Ort und an den entnommenen Proben bestimmten Kennwerte werden dann ausgewertet und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Gebrauchsbzw. Tragfähigkeit des Bauwerks bewertet.

Prof. Franz Zahn PhD
Tel.: +49(0)7531/206-216
e-Mail: zahn@htwg-konstanz.de

ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTECHNIK

BADEN-WÜRTTEMBERG & SHANGHAI – PORTAL FÜR WISSENSCHAFT UND WIRTSCHAFT

Das Centrum für internationale Terminologie und angewandte Linguistik (CiTaL) der HTWG Konstanz wurde von der Landesregierung Baden-Württemberg (MWK und Wirtschaftsministerium) beauftragt, das mit der Shanghai-Regierung vereinbarte F&E-Projekt: „Internetportal Baden-Württemberg und Shanghai für Wissenschaft und Wirtschaft“ durchzuführen. Für die Region Shanghai wurde die Zusammenarbeit mit der Shanghai Jiaotong Universität (SJTU) eingerichtet. Auf dem Portal werden Plattformen bereitgestellt für die baden-württembergischen Hochschulen und Forschungsinstitute, sowie für Wirtschaftsorganisationen und Unternehmen. Die Web-Auftritte werden in drei Sprachen – Deutsch, Chinesisch, Englisch – präsentiert. Das Portal dient auch für Serviceangebote

und aktuelle Nachrichten. Im Rahmen des Hochschulmarketings soll das BW/Shanghai-Portal den Zugang zu Bildungs- und Forschungsdatenbanken für beide Regionen ermöglichen. Durch die Erstellung von Referenz-Datenbanken in beiden Regionen wird ein multilinguales Suchsystem entwickelt. Eine Erweiterung des Suchsystems für den Wirtschaftsbereich ist vorgesehen. Als Expertenbereich wird eine Human Resources – Datenbank für beide Regionen eingerichtet. Dieses F&E-Projekt soll das Marketing und die Kooperation unter Verwendung modernster Kommunikationstechnologie im Bildungs-, Wissenschafts- und Wirtschaftsbereich unterstützen und fördern.

Prof. Dr. Wolfgang Thomassen
Tel.: +49 (0)7531 983620
e-Mail: cital@htwg-konstanz.de
<http://www.bw-shanghai.de/>

BRENNSTOFFZELLENSCHIFF MIT DREHSTROMANTRIEB

Ein Schiff mit optimiertem Rumpf wird mit Brennstoffzelle (BZ), H₂-Speicher, PV-Generator und Batterie ausgerüstet. Die Ergänzung der PV durch den regelbaren Energiewandler BZ benötigt eine optimierte Betriebsführung (Energiemanagement) und gestattet damit eine 100%ig sichere Energieversorgung. Eine Funkverbindung zu einem Server an Land erlaubt die Beobachtung und die Beeinflussung der Anlage sowie die Kopplung mit dem Internet. Forschungsthemen umfassen unter anderem: Untersuchung und Anpassung der BZ-Technologie an Wasserfahrzeuge, Optimierung des Energiemanagements („predictive control“), Funkanbindung, Langzeiterprobung, Vergleich mit Landfahrzeugen. Ergänzend wird hierbei das Planungswerkzeug MODES zur technischen und wirtschaftlichen Simulation integrierter Energiesysteme (Strom und Wärme) eingesetzt.

Prof. Dr.-Ing. Christian Schaffrin
Tel.: +49 (0)7531 206-248
e-Mail: iaf-ewis@htwg-konstanz.de

INTERNETBASIERTE ARCHITEKTUR FÜR LOKALE GNSS-KOMPONENTEN

Mit lokalen Komponenten wird bei globalen Navigationssatellitensystemen (Global Navigation Satellite System, GNSS) wie GPS, GLONASS und GALILEO das Leistungsangebot des Dienstes vor Ort für meist professionelle Nutzer ergänzt (Mehrwertdienste). Durch die Bestimmung und Verbreitung differenzieller Korrekturdaten, lokaler Integritätsinformation oder zusätzlicher Signale z.B. durch Pseudolites wird eine Verbesserung der Leistungsparameter von Satellitennavigationslösungen bezüglich Genauigkeit, Verfügbarkeit und Integrität in einem lokal begrenzten Einsatzgebiet erreicht. Derzeit in Deutschland verfügbare Dienste wie beispielsweise der

Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS) oder der privatwirtschaftliche Dienst ASCOS basieren, in ihrer technischen Implementierung, aus einem Netz von Referenzstationen, das über Kommunikationsverbindungen (meist Standleitungen) mit einem oder mehreren Kontrollzentren verbunden ist. In Kooperation mit der Alberding GmbH, dem Department of Telecommunications der AGH University of Science and Technology (Krakau / Polen) und mit Unterstützung der Siemens AG (Industrial Solutions and Services) wird eine erweiterbare internetbasierte redundante Architektur für lokale GNSS-Komponenten (Verbreitung differenzieller Korrekturdaten und lokaler Integritätsinformation) entwickelt. Diese Architektur soll als reine Serverlösung, einsatzfähig auf dedizierten Servern (Mietserver / Root-Server), mit für Internetdienste gängigen Technologien wie beispielsweise Linux, Apache, MySQL, PHP oder Perl als Prototyp, mit dem zukünftige Entwicklungen auf dem Gebiet der lokalen GNSS-Dienste entwickelt und getestet werden können, implementiert werden.

Prof. Dr. Harald Gebhard
Tel.: +49(0)7531/206 270
e-Mail: harald.gebhard@htwg-konstanz.de

NEUE VERFAHREN ZUR VERMEIDUNG VON SCHIFFSKOLLISIONEN AUF BINNENSEEN

Im Bereich der Schifffahrt machen Kollisionen bei weitem den größten Teil aller Unfälle aus. So geht aus dem Internationalen Polizeibericht in 2007 für den Bodensee hervor, dass Kollisionen mit 58% die häufigste Ursache darstellen. Die Schadenssumme allein am Bodensee stieg um 72% auf 518.000 Euro. Auf dem Bodensee sind rund 50.000 Boote registriert. Rechnet man die Schadenssumme hoch auf die bundesweite Anzahl zugelassener Boote (450.000 in 2005) so kann man von einer jährlichen Schadenssumme von etwa 4,5 Millionen Euro ausgehen. Eine US Statistik berichtet von 1600 Schiffs-kollisionen in US Gewässern in 2006 mit über 120 Opfern und benennt unter den 10 häufigsten zur Kollision führenden Ursachen mangelnde Aufmerksamkeit (1), Achtlosigkeit des Schiffsführers (2) sowie kein angemessenes Ausschauhalten der Crew (5). Um eine Minderung des Kollisionsrisikos zu erreichen, sind in der kommerziellen Schifffahrt seit geraumer Zeit verschiedene Systeme im Einsatz, die basierend auf GPS, Radar und Automatic Identification Systemen (AIS) in Verbindung mit digitalen Karten den Schiffsführer bei der Navigation unterstützen. Diese Systeme finden im Wesentlichen im Küstenbereich und auf Wasserstraßen Verwendung. Für den nicht-kommerziellen Schiffsverkehr, insbesondere für kleinere Sportboote, die jedoch den weitestgrößten Teil des Verkehrsaufkommens auf Binnengewässern ausmachen, sind derartige Systeme bisher nicht verbreitet. Dies liegt zum Teil an den Kosten solcher Systeme, zum anderen ist die auf spurgeführten Wasserstraßen, bzw. in Fahrinnen gewählte

Vorgehensweise nicht direkt auf die in der Regel ungeordnete Verkehrssituation, wie sie sich auf Binnenseen darstellt, übertragbar. Für die Realisierung von Systemen, die geeignet sind, Piloten von Freizeitbooten bei der Navigation und insbesondere bei der Vermeidung von Kollisionen zu unterstützen, ergeben sich eine Reihe von Schwierigkeiten. Geht man davon aus, dass eine übergreifende Ausstattung mit AIS, bei dem jedes Fahrzeug seine Positionskordinaten und Bewegungsdaten sendet und in Form eines Hopping Networks gegenseitig Manöver automatisch synchronisiert werden können, nicht gegeben ist, so muss mit Hilfe geeigneter Sensorik, in der Regel Radar, die lokale Verkehrssituation aufgenommen und algorithmisch interpretiert werden. Die Szenenaufnahme ist insbesondere wegen der Schiffs-Eigenbewegung mit ihrer großen Zahl von Freiheitsgraden erschwert. Will man aus Kosten- und Komplexitätsgründen auf den Einsatz aktiv stabilisierter Plattformen verzichten, so kommt aufgrund der Eigenbewegung der Sensoren dem Einsatz geeigneter Tracking-Algorithmen eine große Bedeutung bei. Aufgrund der komplexen Eigenbewegung des Schiffes sind daher z.B. Trackingverfahren wie sie bereits heute im Automobilbereich verwendet werden, nicht, oder höchstens bedingt geeignet. Hier besteht ein signifikanter Bedarf an Innovationen. Liegt die Szene schließlich z.B. als zweidimensionale lokale Karte vor, in der die Koordinaten und Relativbewegungen der im Sensorbereich detektierten Objekte verfügbar sind, so stellt sich als nächste Schwierigkeit die richtige Interpretation der Szene. Die Kurse, unter denen sich u.U. eine Vielzahl von Booten einem potentiellen Kontaktpunkt nähern, sind auf Seen nahezu beliebig, was zu komplexeren Anforderungen bzgl. der Vorhersage und der Kollisionsvermeidungsstrategien führt. Im einfachsten Fall kann dem Schiffsführer ein z.B. akustisches Signal die Gefährdung signalisieren. In weiter ausgebauten Versionen können direkte Vorschläge für ein geeignetes Manöver gemacht werden. Hierzu müssen geeignete Pfade unter Berücksichtigung der Bewegungsmöglichkeiten des Bootes und insbesondere auch der Schifffahrtsregeln geplant und hinsichtlich geeigneter Gütekriterien gewichtet und ausgewählt werden. Die Anforderungen gehen damit über die verbreiteten Wegplanungs-Szenarien autonomer Roboter hinaus. In einer weiteren Ausbaustufe soll es ermöglicht werden, die Manöver autark durchzuführen, was den Einsatz eines geeigneten Autopiloten zur Folgeregelung erfordert. Die innerhalb dieses Projektes entwickelten Methoden und Verfahren sind über die Anwendung in der Schifffahrt auch in verschiedenen anderen Bereichen von Nutzen. Neben dem Einsatz verbesserter Tracking Algorithmen beim Adaptive Cruise Control oder Lane Departure Warning zur Unfallvermeidung bei Autos und LKW, sind die Projektziele insbesondere auch relevant für den Einsatz von Service Robotern, bei denen die Sensoren sich nicht relativ langsam in einer Ebene bewegen. Dies ist z.B. bei humanoiden oder mehrbeinigen Laufrobotern der Fall sowie generell beim Einsatz von Robotern in unebenem

Terrain. Ergebnisse in dem vorgeschlagenen Arbeitsgebiet können über den Bereich der Schifffahrt hinaus dazu beitragen, den Stand der Forschung im Bereich autonomer System zu erweitern.

Prof. Dr. Johannes Reuter
Tel.: +49(0)7531/206 266
e-Mail: jreuter@htwg-konstanz.de

SIMULATION

Validierung und Weiterentwicklung eines Simulationstools zur Prozessverbesserung.

Prof. Dr. Thomas Birkhölzer
Tel.: +49 (0)7531 206 239
e-Mail: birkh@htwg-konstanz.de

HOCHEFFIZIENTE ELEKTRISCHE ENERGIEUMWANDLUNG

Ziel des Projektes ist die Entwicklung von Verfahren zur Gestaltung hocheffizienter Drosselspulen.

Dr. Alexander Kirjuchin
Tel.: +49 (0)7531 206-236
e-Mail: kirjuch@htwg-konstanz.de

HOCHSPANNUNGSPRÜFUNGEN AN SYSTEMEN UND KOMPONENTEN DER ELEKTRISCHEN ENERGIETECHNIK

Das Projekt befasst sich mit der Ermittlung von Durchschlagsspannungen bei Wechselspannung und Blitzstoßspannung sowie Anwendung zerstörungsfreier Diagnostik.

Prof. Dr. Gunter Voigt
Tel.: +49 (0)7531 206-112
e-Mail: gvoigt@htwg-konstanz.de

TEILENTLADUNGSMESSUNG AN MEDIUM VOLTAGE (MV) KABELN

An kurzen Kabelstücken als Prüflinge mit serienmäßigen Endverschlüssen bzw. Muffen werden Teilentladungsmessungen bei 0,1 Hz und 50 Hz an realen Fehlern verglichen. Gemessen wird die TE Einsetzspannung, TE Pegel und Phasenverteilung sowie TE Aussetzspannung an ungestörten Kabeln sowie an Prüflingen mit künstlichen Fehlstellen.

Prof. Dr.-Ing. Gunter Voigt
Tel.: +49 (0)7531 206-510
e-Mail: gvoigt@htwg-konstanz.de

SOFT-LANDING REGELUNG SCHNELL SCHALTENDER AKTUATOREN

Schnell schaltende Aktuatoren, z. B. ausgeführt als hydraulische Ventile mit typischen Schaltzeiten kleiner als 2 Millisekunden,

erschließen neue Anwendungen im Bereich der hydraulischen Antriebstechnik. Verwendung finden sie zum Beispiel in digital gesteuerten hydraulischen Konvertern oder in der Turbinentechnik, zur Erzeugung geregelter Einspritzverläufe um Resonanzen zu unterdrücken. Ein weiteres Einsatzfeld schnell schaltender Aktuatoren ist der Automobilbereich, wo für neue Brennvorgänge zur Emissionsminderung und Kraftstoffersparnis, flexible Ventilöffnungszeiten mit Hilfe nockenwellenlos gesteuerter Einlass- und Auslassventile erforderlich sind. Aus antriebstechnischer Sicht gibt es im wesentlichen zwei Schwierigkeiten beim Betreiben derartiger Aktuatoren: Die erforderliche, sehr hohe Beschleunigung des Ventilkolbens kann bei elektromagnetischen Aktuatoren nur durch Betreiben des Solenoids mit hohen Spannungen, üblicherweise größer als 100 Volt und entsprechend hohen Strömen erreicht werden, was mit hohen Impulsen elektrischer Leistung, üblicherweise mehrerer Kilowatt über wenige Millisekunden verbunden ist. Eine weitere gravierende Schwierigkeit besteht in der Handhabung der hohen erforderlichen Ventilkolbengeschwindigkeit, welche beim Aufprall des Kolbens auf den Ventilsitz eine entsprechend hohe Kraftwirkung ausübt. Dies führt sowohl zu erheblicher Materialbeanspruchung als auch zu erhöhten, teils unakzeptablen Geräuschemissionen. Diese Problematik ist bis heute nicht zufriedenstellend gelöst und eine Reihe von industriellen Anwendern derartiger Aktuatoren, z.B. aus dem Automobil- und Turbinenbereich, können die Potenziale ihrer Produkte mangels verfügbarer kommerzieller Lösungen im Aktuatoren Bereich nicht in vollem, ansonsten technisch möglichen Umfang ausschöpfen. Um diesen Problemen zu begegnen werden im Wesentlichen zwei Ziele verfolgt: (1) Die sensorlose Ermittlung der Kolbenposition und Geschwindigkeit soll unter expliziter Ausnutzung des Dual-Spulen Konzeptes mit Hilfe einer neu zu entwickelnden Beobachterstrategie ermöglicht werden. (2) Für die kontrollierte Bewegung des Stößels soll mit Hilfe des Beobachters eine Trajektorien Folgeregelung entworfen werden, die es ermöglicht, insbesondere die Aufprallgeschwindigkeit des Kolbens signifikant zu vermindern.

Prof. Dr. Johannes Reuter
Tel.: +49 (0)7531 206 266
e-Mail: jreuter@htwg-konstanz.de

INFORMATIK

BILDERKENNUNG, AUTOMATION UND KOMMUNIKATION

Das Forschungsziel des Labors ist die weitgehende Automatisierung des Designprozesses für künstliche Sehsysteme. Neben den offensichtlichen Vorteilen eines automatisierten Designprozesses liefert dieser Ansatz auch die Grundlagen für den Bau von adaptiven Sehsystemen, die sich an wechselnde Eigenschaften des vi-

suellen Inputs anpassen können (z.B. bei wechselnden Wetter- und Sichtbedingungen). Dementsprechend befaßt sich das Projekt mit dem Aufbau einer Infrastruktur für rechenintensive Aufgabenstellungen, insbesondere im Bereich maschinelles Lernen und Bildverarbeitung, und eines Labors zur Vermessung und Kalibrierung von Bildsensoren. Die geforderte Rechenleistung wird über ein Clustersystem realisiert, das im Endzustand 96 Prozessoren umfassen soll. Damit lassen sich rechenintensive Aufgaben wie z.B. das Training von statistischen Klassifikatoren und die Verarbeitung einer großen Menge von Bildern bearbeiten. Die Laborausstattung umfasst eine gekühlte hochauflösende Messkamera zusammen mit einem elektrisch ansteuerbaren Farbfilter, mit dem sich Oberflächen und Szenen multispektral aufnehmen lassen, und einen Messplatz zur Kalibrierung und Vermessung von Kameras und anderen optischen Systemen. Hinzu kommen Kameras für industrielle Projekte und zur Aufnahme von kalibrierten Bilddatenbanken, sowie spezielle kalibrierte Farbmonitore zur Farbinspektion.

Prof. Dr. Matthias Franz
Tel.: +49(0)7531/206 633
e-Mail: mfranz@htwg-konstanz.de

SKYCOLLAB

Die Kooperationspartner arbeiten auf dem Gebiet kollaborativer Software / Groupware zusammenzuarbeiten. Kollaborative Software ist eine Software zur Unterstützung der Zusammenarbeit einer Gruppe, vorzugsweise über das Internet. Ziel des Vorhabens ist es, ein Softwaretool zur Unterstützung kollaborativen Arbeitens auf Basis der Skype-Kommunikationssoftware zu entwickeln. Skype ist eine proprietäre VoIP-Software, die auch die Eigenschaft der Versendung von Dateien oder des Instant-Messaging hat. Über API ist es externen Programmen möglich, auf die Funktionalität von Skype zurückzugreifen.

Prof. Dr.-Ing. Oliver Haase, Prof. Dr. Jürgen Wäsch
Tel.: +49(0)7531/206-720
e-Mail: haase@htwg-konstanz.de, waesch@htwg-konstanz.de

REVERSE ENGINEERING BESTEHENDER SOFTWARE FÜR DIE MODELLGETRIEBENE ENTWICKLUNG

Ziel der modellgetriebenen Software-Entwicklung (Model Driven Software Development, MDSD) ist es, fachliche Aspekte eines Software-Systems nicht direkt zu kodieren, sondern mit Hilfe von Modellierungssprachen formal zu beschreiben und daraus lauffähigen Code durch Transformatoren zu generieren. Von der dadurch gewonnenen höheren Abstraktion und Plattformunabhängigkeit verspricht man sich eine höhere Code-Qualität, automatische Konsistenz zwischen Modell und Code sowie eine größere Wiederverwendbarkeit. Derzeit fokussiert man sich im Wesentlichen auf

das Forward Engineering, d.h. das Erstellen von neuem Code. Wie bereits existierender Code in einen MDSD-Entwicklungsprozess integriert werden kann, wird kaum betrachtet. Für die industrielle Akzeptanz einer neuen Technologie sind jedoch die Integration bestehender Systeme und das Aufweisen „sanfter Migrationspfade“ wesentliche Grundvoraussetzungen. In diesem Projekt soll deshalb ein Vorgehen erarbeitet werden, bei dem der bestehende Code in einem iterativen Prozess in eine MDSD-geeignete Form überführt wird. Ein erster Schritt soll eine saubere Trennung von generierten und manuellen Artefakten erreichen, so dass in weiteren Schritten die manuellen Anteile nach und nach auf die Modellebene gehoben werden können. Um die industrielle Anwendung des Verfahrens im laufenden Prozess zu erlauben, soll in jedem Schritt die Lauffähigkeit des Gesamtsystems erhalten bleiben.

Prof. Dr. Oliver Haase
Tel.: +49(0)7531/206 720
e-Mail: haase@htwg-konstanz.de

SMART-METERING

Für ein Energieversorgungsunternehmen wird ein Projekt der intelligenten Zählerfernablesung durchgeführt.

Prof. Dr. Reinhard Nürnberg
Tel.: +49(0)7531/206 645
e-Mail: nuernberg@htwg-konstanz.de

MOBILE MULTIMEDIALE MULTILIEFERANTEN- VERTRIEBSINFORMATIONSSYSTEME

Das M3V-Projekt (Mobile Multimediale Multilieferanten-Vertriebsinformationssysteme) zielt darauf ab, durch ein sicheres herstellerübergreifendes Informationssystem für Handelsvertreter die Erschließung von nationalen und internationalen Märkten für kleinere und mittelständische Unternehmen zu fördern. Hintergrund und Anwendungsperspektive für M3V ist, dass viele kleine und mittlere Unternehmen (KMUs) über kein eigenes Vertriebsnetz verfügen. Aus diesem Grund müssen sie, vor allem auch im Ausland, mit einem Partnernetz arbeiten, das meist aus kleinen Unternehmen oder selbstständigen Handelsvertretern besteht. Diese Vertriebspartner sind i.d.R. jedoch keine exklusiven Partner, d.h. sie vertreiben nicht nur die Produkte der KMUs, sondern auch Produkte anderer Hersteller. Für diese Konstellation des Vertriebs besteht heutzutage, auch aufgrund der geringen Größe der beteiligten Partner, keine durchgängige mobile Vertriebsunterstützung. In M3V wird eine mobile Plattform basierend auf offenen Standards entwickelt, die eine durchgängige mobile Unterstützung der gesamten Wertschöpfungskette von den Herstellern bis zum selbstständigen Handelsvertreter vor Ort bereit stellt. Besondere Herausforderungen sind dabei die Integration der unterschied-

lichen Prozesse, Daten und Systeme sowie die Gewährleistung der Sicherheit, die notwendig ist, um Vertrauen bei den Nutzern (insbesondere den Herstellern) zu schaffen. Dabei wird sowohl der Zugriff auf multimediale Produktdaten berücksichtigt als auch die Erfassung von Aufträgen und die Backend-Integration unterstützt. M3V wird dafür eine sichere mobile Vertriebsunterstützung konzipieren und umzusetzen, die es ermöglicht, schnell und flexibel neue Lieferanten oder Vertriebspartner ohne zusätzlichen Aufwand zu integrieren. Im Rahmen von M3V entstehen folgende Hauptergebnisse: Fachliches Gesamtkonzept (inkl. modellierten Referenzprozessen und Datenmodellen), lauffähiges, integriertes Prototyp-System, Pilotinstallation und Evaluation. Einführungsleitfaden mit unterschiedlichen Sichten, Umsetzbares Betreibermodell und daraus abgeleitete Geschäftsmodelle. Die Anwendbarkeit der entwickelten Lösung wird durch eine Pilotierung und die Integration des CDH e.V. Baden-Württemberg (Wirtschaftsverband für Handelsvermittlung und Vertrieb) sichergestellt.

Prof. Dr. Jürgen Wäsch
Tel.: +49(0)7531/206 502
e-Mail: waesch@htwg-konstanz.de

MIKROFON-DIVERSITÄTSVERFAHREN ZUR VERBESSERUNG DER SPRACHERKENNUNG IN SPRACHBEDIENSYSTEMEN

Bei der automatischen Spracherkennung werden unter akustisch günstigen Bedingungen bereits hervorragende Erkennungsraten erzielt. Umweltgeräusche wie Fahrgeräusche im Auto oder Windgeräusche im Freien beeinträchtigen die Erkennungsleistung allerdings erheblich. Daher werden in Sprachbediensystemen für das Kfz oder für tragbare Computer Geräuschunterdrückungsverfahren eingesetzt. Solche Verfahren werden auch in Telefonfreisprecheinrichtungen und Hörgeräten benötigt. Im Bereich der tragbaren Computer werden üblicherweise Geräuschunterdrückungsverfahren verwendet, die mit nur einem Mikrofon auskommen. Diese einkanaligen Verfahren können jedoch instationäre Störungen, z.B. durch andere Sprecher, die die Erkennungsleistung besonders beeinträchtigen, nicht wirkungsvoll unterdrücken. Im Automobil sind Mikrofonarrays mit zwei bis vier Arrays im Einsatz. Solche Beamformer-Anordnungen sind jedoch für den Einsatz mit tragbaren Geräten oder Headsets ungeeignet. Aber auch beim Einsatz im PKW stellen Beamformer noch keine optimale Lösung zur Geräuschreduktion dar. So ist zum Beispiel die erzielbare Störgeräuschunterdrückung stark von der Sitzposition und damit von der Sprechergröße abhängig. Selbst adaptive Mikrofonarrays sind in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt, weil das Array in der Regel konzentriert an einer Position eingebaut ist, die wiederum nicht für alle Sitzpositionen optimal ist. Störungen aus der Richtung des Nutzsignals, z.B. durch Insassen auf der Rückbank, können mit einer üblichen Array-Anordnung nicht unterdrückt werden. Ziel des

Forschungsprojektes ist es den Einfluss von Umweltgeräuschen auf Freisprecheinrichtungen und auf die Spracherkennung zu reduzieren. Hierbei steht die Anwendung in eingebetteten Systemen im Vordergrund. Insbesondere soll die Geräuschunterdrückung in Sprachbediensystemen und in Freisprecheinrichtungen im Auto und in tragbaren Computern zum Einsatz kommen. Das entsprechende Geräuschunterdrückungsverfahren muss sich daher durch eine geringe Komplexität auszeichnen. Dennoch muss es in sehr unterschiedlichen Geräuschkulissen einsetzbar sein. Als Lösung wird ein Mikrofon-Diversitätsverfahren untersucht. Dabei werden mindestens zwei Mikrofone so positioniert, dass sie möglichst unterschiedliche Störungen erfahren. So kann zum Beispiel beim Einsatz eines Headsets ein Mikrofon auf jeder Kopfseite positioniert werden. Das Signal für die Spracherkennung wird durch geeignete Kombination der Mikrofon-signale gewonnen. Die Kombination wird im Frequenzbereich durchgeführt. Falls ein Frequenz-Zeit-Punkt eines der Mikrofon-signale stärker gestört ist als der des anderen, wird der bessere Kanal ausgewählt. Sind beide Kanäle ähnlich stark gestört, wird die Information beider Kanäle benutzt, um eine optimale Geräuschunterdrückung zu erreichen.

Prof. Dr. Jürgen Freudenberger
Tel.: +49 (0)7531 206-647
e-Mail: jfreuden@htwg-konstanz.de

DETEKTION VON STEGANOGRAPHIE IN BILDER MIT STATISTISCHEN METHODEN

Steganographie ist die Kunst der verborgenen Speicherung oder Übermittlung von Informationen. In Sicherheitskreisen wird vermutet, dass sich sowohl terroristische Organisationen als auch die organisierte Kriminalität dieser Technologie bedienen, um über harmlos erscheinende digitale Bilder unentdeckt zu kommunizieren, oder in Bildern kritische Informationen unauffällig zu speichern. Die Sicherheitsbehörden stehen hier vor einem Problem, denn die heute verfügbaren Verfahren zur Detektion von Steganographie können in Bildern nur die Spuren einer Reihe von älteren Steganographieprogrammen entdecken. Allgemeinere Systeme zur Detektion von Bildmanipulationen mit unbekanntem Steganographieprogrammen (universale Steganalysatoren) wurden bereits in der Literatur beschrieben, sind aber im Vergleich noch relativ unempfindlich. Aus Sicht der Ermittler in den Sicherheitsbehörden kommt erschwerend hinzu, dass für beide Ansätze nur Verfahren bekannt sind, deren Anwendung tiefgehende Spezialkenntnisse in Bildverarbeitung und Statistik erfordern. Die Ziele des Projekts sind (1) die Entwicklung von neuen, wirkungsvolleren Methoden zur Detektion von steganographischen Manipulationen an Bildern, insbesondere solchen Detektionsverfahren, bei denen die Methode der steganographischen Manipulation nicht im Voraus bekannt sein muss; (2) Bereitstellung eines einfach zu bedienenden Pro-

grammpakets, mit dem Ermittlungsbeamte steganographische Manipulationen an Bildern erkennen können. Zur Detektion von Steganographie ohne vorherige Kenntnis der Art der Manipulation muss Vorwissen über die statistischen Eigenschaften von unmanipulierten Bildern bereitgestellt werden. Dies geschieht durch statistische Bildmodelle, bei denen aus einer großen Datenbank von unmanipulierten Bildern bestimmte statistische Parameter extrahiert werden, anhand derer sich die typischen Eigenschaften von unmanipulierten Bildern beschreiben lassen. Wird nun eine signifikante Abweichung in diesen Parametern registriert, so liegt der Verdacht auf eine steganographische Manipulation vor. Mit einem kürzlich entwickelten Ansatz des Antragsstellers sind nun neuartige Bildmodelle mit einer kontrollierbaren Nichtlinearität möglich, die eine erheblich größere Aussagekraft besitzen. Diese Modelle sollen an großen Bilddatenbanken trainiert und im Vergleich mit anderen Modellansätzen evaluiert werden. Die Umsetzung in ein direkt einsetzbares System erfordert zusätzlich die Entwicklung von effizienten Verfahren zur Merkmalsextraktion und Klassifikation.

Prof. Dr. Matthias Franz
Tel.: +49 (0)7531 206-633
e-Mail: mfranz@htwg-konstanz.de

KONVEXE UNTERE SCHRANKENFUNKTIONEN UND IHRE ANWENDUNG IN DER GLOBALEN OPTIMIERUNG

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung neuer konvexer unterer Schrankenfunktionen für Polynome in mehreren Variablen. Diese basieren auf der Entwicklung eines Polynoms in Bernstein-Polynome und werden im Rahmen vorhandener Branch-und-Bound-Verfahren eingesetzt werden um restringierte globale Optimierungsprobleme zu lösen im Fall, dass die funktionalen Zusammenhänge durch Polynome beschrieben werden.

Die mit Hilfe dieser Schrankenfunktionen erhaltenen Ersatzprobleme sind konvex. Schranken für den Approximationsfehler sowie die Frage der Konvergenz der Folge der Näherungslösungen, die das Verfahren liefert, sind weitere Punkte des Arbeitsprogramms. Die Anwendung dieser unteren Schrankenfunktionen wird mittels Taylor-Entwicklung auf beliebige, hinreichend oft differenzierbare Funktionen erweitert werden. Ferner werden alle während der Rechnung auftretenden Rundungsfehler unter Kontrolle gebracht werden, so dass die erhaltenen Schranken auch wirklich garantiert werden können. Die entwickelten Schrankenfunktionen werden in Kombination mit Methoden des interval constraint solving auf das Problem der Parametermenschätzung angewendet. Sie werden ferner eingesetzt werden, um die Lösungen von nichtlinearen Gleichungssystemen einzuschließen.

URL des Projektes: <http://www-home.htwg-konstanz.de/~garloff/>

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Garloff
Tel.: +49 (0)7531 206-597, -627
e-Mail: garloff@htwg-konstanz.de

BERECHNUNGSVERFAHREN MIT VERIFIKATION FÜR FESTIGKEITS- UND STABILITÄTSUNTERSUCHUNGEN VON STABWERKEN

Im Projekt sollen die folgenden Fragestellungen bearbeitet werden:
1. Risikostudien an vorhandenen Bauwerken: Bei der nachträglichen Tragwerksuntersuchung von Bauwerken sind Materialparameter und geometrische Werte nur in gewissen Schwankungsbereichen bekannt. Mit Hilfe der Intervallrechnung können diese Bereiche in der Rechnung berücksichtigt werden. Die so erhaltenen Ergebnisintervalle vermitteln dem Ingenieur eine klare Vorstellung von Tragverhalten und den vorhandenen Sicherheitsreserven.
2. Qualitätssicherung der numerischen Ergebnisse durch konsequente Erfassung von Rundungs- und Diskretisierungsfehlern bei Anwendung der Finite-Element-Methode: In der Regel geht man davon aus, dass die Rundungsfehler sich nur unwesentlich auf die Ergebnisse der Berechnungen auswirken. Das Gleiche gilt für den Diskretisierungsfehler, mit der die näherungsweise Darstellung von Steifigkeitsmatrizen von Stäben nach der Theorie II-ter Ordnung behaftet ist. Allerdings können die Rundungsfehler, insbesondere bei schlecht konditionierten linearen Gleichungssystemen, wie sie infolge großer Steifigkeitsunterschiede im System auftreten können, zu signifikanten Fehlern führen. Häufig ist auch bei sehr unterschiedlichen Größenverhältnissen die Wirkung des Diskretisierungsfehlers nicht vernachlässigbar. Mit Hilfe der Intervallrechnung sollen nicht nur die Rundungs- sondern auch die Diskretisierungsfehler unter Kontrolle gebracht und damit die Berechnungsergebnisse auch wirklich garantiert werden. Letztendlich wird damit das Risiko von Bauschäden oder gar eines Versagens des Tragwerks verringert.

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Garloff, Prof. Dr. Horst Werkle
Tel.: +49 (0)7531 206-627
e-Mail: garloff@htwg-konstanz.de, werkle@htwg-konstanz.de

MASCHINENBAU

DEMONSTRATION EINER HOCHGENAUEN OPTISCHEN ABSTANDS- UND WINKELMETROLOGIE ZUR DRALLFREIEN LAGEREGLUNG VON SATELLITEN

In Zusammenarbeit mit der Firma EADS Astrium GmbH, Friedrichshafen, zweier KMU für Software und Elektronik, sowie der Humboldt-Universität zu Berlin und dem Albert-Einstein-Institut Hannover wird ein Forschungsprojekt im Bereich der wissenschaftlichen Raumfahrt durchgeführt. Zukünftige wissenschaftliche Missionen, wie der Gravitationswellendetektor LISA₁, sind

auf störfreie Satellitenumgebung angewiesen. Beschleunigungsstörungen werden mit sogenannten inertialen Sensoren – frei fliegenden Prüfmassen – gemessen und der Satellit danach in der Lage drallfrei durch Schubantriebe gestellt. Derzeitige Sensoren basieren auf kapazitiven Messungen, welche ihre fundamentalen Grenzen hinsichtlich der Messauflösung erreicht haben. Für zukünftige Missionen ist jedoch eine weitere Steigerung nötig, die mit kapazitiver Messung nicht erreichbar ist. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines neuartigen, kompakten Messsystems, welches den hohen Anforderungen der LISA-Mission gerecht wird. Die Methode der Laserinterferometrie soll zu diesem Zweck untersucht werden und zum Einsatz kommen. Ein laserbasiertes, optisches Messsystem für die höchstgenaue und berührungslose Abstands- und Winkelmetrologie von Prüfmassen inertialer Sensoren zur drallfreien Lageregelung von wissenschaftlichen Satelliten soll entwickelt und getestet werden

Prof. Dr. Claus Braxmaier
Tel.: +49 (0)7531 206-348
e-Mail: braxmaier@htwg-konstanz.de

OPTISCHE 3-D-MESS- UND DIGITALISIERUNGSSYSTEME FÜR DEN EINSATZ IM MASCHINENBAU

Haupt Einsatzgebiet der optischen 3D-Messtechnik und Digitalisierung (Topometrie) an und von Objekten ist die Ist-Zustandsprüfung geometrischer Merkmale, v.a. zur Qualitätssicherung (QS). Beispiele im Maschinenbau sind die großflächige berührungslose Überprüfung von Topografien (z.B. in der Automobilindustrie) oder in der Fertigungsmesstechnik die Digitalisierung von Freiformflächen. Ziel ist dabei der Vergleich der digitalisierten Ist-Daten mit den dazugehörigen CAD-Daten. Darüber hinaus sind Systeme wünschenswert, welche zusätzlich in real-time arbeiten. Mit der Zahl der Anwendungen und der Komplexität der Objektgeometrien steigen auch die Anforderungen an das Messsystem. Hauptanforderungen an 3D-Systeme sind neben erreichbarer Auflösung, großflächige Erfassung, mechanische Stabilität, Robustheit, Störunanfälligkeit (v.a. beim Einsatz im Fertigungsprozess) und kurze Zeiten zur Verarbeitung der generierten Bilder. Die herkömmliche Technik kommerziell erhältlicher Streifenprojektionsmesssysteme reicht dazu oft nicht mehr aus und muss entweder weiterentwickelt oder durch neue Ansätze substituiert werden. In Kooperation mit dem führenden Hersteller von 3D-Scannern, der Firma Breuckmann GmbH, der Humboldt-Universität zu Berlin und weiteren Unternehmen wird ein parallel arbeitender Lösungsansatz, im Speziellen die Optimierung bestehender Projected-Fringe-Technik-Systeme, sowie die Untersuchung von Methoden zur Echtzeiterfassung verfolgt.

Prof. Dr. Claus Braxmaier
Tel.: +49 (0)7531 206-348
e-Mail: braxmaier@htwg-konstanz.de

ITECHSALES - ENTWICKLUNG EINER GESAMTLÖSUNG ZUM EINSATZ VON SALES KONFIGURATOREN IN MITTELSTÄNDISCHEN UNTERNEHMEN

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind der Motor der Investition und bieten in Europa ca. 65 Millionen Menschen Arbeit. Um so mehr müssen gerade dieser Art von Unternehmen neue Wege hinsichtlich ihrer Expansion geöffnet und so die Schaffung neuer Arbeitsplätze unterstützt werden. Das Ziel des Projektes ist es, die Expansionsfähigkeit von KMU durch neue, effizientere Vertriebswege zu stärken. Dies wird erreicht durch die Entwicklung einer Gesamtlösung, d.h. einer Methode zum Einsatz von Sales Konfiguratoren bei KMU. Für die Methode sind dabei eine angepasste Softwareversion eines Sales Konfigurators und Referenzmodelle für Produktmodellierung sowie optimierte Vertriebsprozesse zu entwickeln. Ein „Sales Konfigurator“ wird dabei verstanden als ein, mit dem Vertrieb entwickeltes kunden- und anwendungsorientiertes Modell relevanter Produkte, abgebildet in einer „Vertriebssoftware“, die es dem Vertrieb erlaubt, direkt beim Kunden - ohne detailliertes technisches Wissen - Anforderungen zu erfassen und daraus auf Basis einer passenden Produktkonfiguration Angebote zu erstellen. Durch diese Methode könnte für den Mittelstand organisches Wachstum mit weniger Finanzierungs- /Zeitaufwand, höhere vertriebliche Reaktionsfähigkeit (vor allem schnellere und breitere Einführung von Produktinnovationen) und Risiko-Reduzierung bei vertrieblicher Expansion ins Ausland erreicht werden. Das wissenschaftliche Ziel des Projektes ist es, ingenieurwissenschaftliche Erkenntnisse zum Bau von Vertriebskonfiguratoren für den Mittelstand durch Übertragung von Erfahrungen/Technologien aus Einzelfällen in der Großindustrie zu gewinnen und darauf basierend einen empirisch fundierten Beitrag zur Weiterentwicklung des konzeptionellen Rahmens der dynamischen Fähigkeiten („Dynamic Capabilities“) zu leisten. In diesem Sinne strebt das Projekt einen fokussierten wissenschaftlichen Beitrag zum besseren Verständnis von Koordinationsmechanismen an der Schnittstelle zwischen Marketing und Vertrieb auf der einen und den technischen Bereichen von Forschung, Entwicklung und Arbeitsplanung auf der anderen Seite an.

Prof. Dr. Guido Baltés
Tel.: +49 (0)7531 206-310
e-Mail: baltés@htwg-konstanz.de

COMMUNITY OF PRACTICE FOR STRATEGIC MANAGEMENT ARCHITECTURES

Die Community of Practice for Strategic Management Architectures hat zum Ziel das Verständnis sowie Methoden und Systeme

für dynamisches strategisches Management und Führung substantiell und anwendungsorientiert weiterzuentwickeln. Als geschäfts- und anwendungsorientierte Plattform wird CoPS durch Experten und Organisationen aus Industrie und Wissenschaft finanziell und aktiv unterstützt. CoPS folgt der Zielsetzung die Forschungsergebnisse in der Community der „strategic manager“ zu verbreiten und so eine aktive Austauschplattform für diese zu werden. Zu diesem Zwecke wird die Projektarbeit von CoPS durch die regelmäßige Dialogveranstaltung „Strategic Management Perspectives“ ergänzt.

Prof. Dr. Guido Baltés
Tel.: +49 (0)7531 206-310
e-Mail: baltés@htwg-konstanz.de

AUTOMATISCHE GENERIERUNG VON MATHEMATISCHEN MODELLEN IN DER ANTRIEBSTECHNIK, HYPAS

Verfahren und Software zur rechnergestützten, automatischen Generierung mathematischer Modelle, Analyse und Synthese der hydraulischen und pneumatischen Elemente, Antriebsanlagen und deren komplianten, mechanischen Strukturen.

Prof. Dr. Florin Ionescu
Tel.: +49 (0)7531 206-289 / -320
e-Mail: ionescu@htwg-konstanz.de

STABICOR - EINFLUSS ERHÖHTER EINSATZTEMPERATUREN AUF DIE VERSCHLEISS UND KORROSIONSEIGENSCHAFTEN VON RANDGESCHICHTETEN AUSTENITISCHEN STÄHLEN

Im Forschungsprojekt soll eine werkstoffkundliche Lösung für Bauteile aus nichtrostendem Stahl mit hochfester, verschleiß- und korrosionsbeständiger Oberfläche bei erhöhten Temperaturen gefunden werden. Maschinenbauteile und Anlagenkomponenten aus den unterschiedlichsten Bereichen sind im betrieblichen Einsatz häufig gleichzeitig einer hohen Korrosions- und Verschleißbeanspruchung ausgesetzt, welche die Lebensdauer der Teile vorzeitig begrenzt. Durch diese Begrenzung der Lebensdauer entstehen enorme privat- und volkswirtschaftliche Verluste und es werden Ressourcen unnötigerweise verbraucht. Daher sind große Anstrengungen zur Entwicklung von Technologien zur Reduzierung des Verschleißangriffes erforderlich, ohne dass dabei die Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe leidet. Die oft verwendete Beschichtung von Werkstoffoberflächen kann bei höheren Temperaturen durchaus kritisch sein, da man schlussendlich einen Verbundkörper aus zwei Werkstoffen mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften herstellt und es damit zu Haftungsproblemen kommen kann. Nichtrostende Stähle stellen für sehr viele Einsatzgebiete insgesamt eine sehr gute und nachhaltige Lösung dar und finden aufgrund ihrer guten Korrosionsbeständigkeit ein breites Einsatzgebiet. Ausgehend von der Nachhaltigkeit des Einsatzes von nicht-

rostenden Stählen werden diese vermehrt in neuen Anwendungsgebieten wie z.B. in der Automobilindustrie und im allgemeinen Maschinenbau eingesetzt; so stieg beispielsweise die Produktion von Niro Stahl weltweit um 16,8 % in 2006 und erreicht damit einen Anteil von mehr als 25% der gesamten Stahlproduktion. Der guten korrosiven Beständigkeit gegen eine Vielzahl von Chemikalien steht eine nur geringe Verschleißbeständigkeit gegenüber, da diese hochkorrosionsbeständigen austenitischen, ferritischen und/oder Duplexstähle aufgrund des fehlenden Umwandlungsverhaltens nicht härtbar sind. Die mechanischen Eigenschaften der austenitischen nichtrostenden Stähle sind daher gekennzeichnet durch eine nur sehr geringe Härte und Verschleißbeständigkeit unter abrasiven und adhäsiven Beanspruchungsbedingungen sowie eine hohe Neigung zum Kaltverschweißen. Die Härtbarkeit mittels konventioneller thermisch-chemischer Diffusionsverfahren ist eingeschränkt, da durch die Bildung von hochchromhaltigen Ausscheidungen wie Chromnitriden und/oder Chromcarbiden, eine Chromverarmung in der Matrix der randnahen Zone folgt und die Korrosionsbeständigkeit schwächt oder sogar eliminiert. Neue Prozesse in der Wärmebehandlung zielen darauf ab eine Steigerung der Härte und Verbesserung der Verschleißbeständigkeit zu erzielen ohne Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit zu nehmen. Durch Diffusion von Kohlenstoff und/oder Stickstoff kommt es zur Härtesteigerung durch interstitielle Zwangseinlagerung der Fremdatome in der Matrix verbunden mit der Ausbildung von Druckeigenspannungen. Diese Verfahren kommen bisher bei moderaten Anwendungstemperaturen kommerziell zum Einsatz und bieten die Lösung für eine Vielzahl von Anwendungen vornehmlich in der Lebensmitteltechnik und der chemischen Industrie, also Bereichen wo es zu chemisch-tribologischen Anforderungen bei Raumtemperatur kommt. Einer Erweiterung des Einsatzgebietes auf höhere Temperaturen steht die Unkenntnis der thermischen Stabilität dieser gehärteten Zone entgegen. Es ist auch nicht bekannt ob, bzw. wie sich die Kombination von Grundwerkstoffzusammensetzung und Oberflächenhärtungsverfahren auf die thermische Stabilität der gehärteten Zone auswirkt. Hier soll mit dem Vorhaben eine Klärung herbeigeführt werden, wobei hier auch die neuen, an strategisch kritischen Legierungselementen wie Nickel und Molybdän ärmeren nichtrostenden Stähle in die Untersuchungen mit einbezogen werden sollen.

Prof. Dr.-Ing. Paul Gümpel
Tel.: +49 (0)7531 206-316
e-Mail: guempel@htwg-konstanz.de

SCHADENSFALLANALYSEN UND WERKSTOFFTECHNIK

Neben Schadensfallanalysen an metallischen Bauteilen werden Dienstleistungen auf dem Gebiet der Werkstoffprüfung und Beratungsleistungen in werkstoffkundlichen Fragen erbracht. Daneben

werden Problemstellungen der metallverarbeitenden Industrie in Forschungsaufträgen bearbeitet. Speziell für die stahlverarbeitende Industrie kann auf ein breites Erfahrungspotential zurückgegriffen werden. Es können Korrosionsuntersuchungen und Versuche zum tribologischen Verhalten von Werkstoffen durchgeführt werden.

Prof. Dr.-Ing. Paul Gümpel
Tel.: +49 (0)7531 206-316
e-Mail: guempel@htwg-konstanz.de

FORMGEDÄCHTNIS-MARKNAGEL ZUR KNOCHENVERLÄNGERUNG

Knochendefekte können beispielsweise durch einen Tumor oder Unfall entstehen. Während der chirurgischen Behandlung dient der Marknagel zur Stabilisierung und ermöglicht bei geeigneter Gestaltung die körpereigene Neubildung von Knochenmaterial. Gegenstand des Projektes ist die Entwicklung eines aktiven Marknagels mit einem Antrieb durch Formgedächtnislegierungen (FGL) zur Knochenverlängerung und Defektüberbrückung entsprechend der Methode nach Betz und Baumgart.

Nach der Knochendurchtrennung wird der Marknagel in die Markhöhle des Röhrenknochens eingeführt und an den beiden Knochenfragmenten fixiert. Durch Hochfrequenz-Energieeinkopplung erfolgt die Erwärmung des Formgedächtniselementes und bewirkt anschließend die Knochenverlängerung. Die Operationswunde wird nach der Implantation wieder vollständig geschlossen, so dass das Infektionsrisiko minimal bleibt. Beim Auseinanderwandern der Knochenfragmente - ca. 1 mm pro Tag - wird Knochenmaterial nachgebildet, welches später die hervorragenden mechanischen Eigenschaften eines Röhrenknochens besitzt. Derzeit im klinischen Einsatz befindliche Marknägel besitzen gegenüber allen bisherigen Lösungen entscheidende Vorteile; jedoch sind ihnen sowohl hinsichtlich der Miniaturisierung und Anpassung an die anatomische Gestalt des Röhrenknochens als auch aufgrund der hohen Ausfallwahrscheinlichkeit (kompliziert ausgestaltetes Planetenrollengetriebe mit vielen bewegten Teilen) empfindliche Grenzen gesetzt. Das sehr einfache mechanische Prinzip und die Kompaktheit des Formgedächtnismarknagels ist daher besonders vorteilhaft für Anwendungen am Unterschenkel sowie an der oberen Extremität und hat den zusätzlichen Vorteil der Kostenersparnis und der erhöhten Betriebssicherheit.

Prof. Dr.-Ing. Paul Gümpel
Tel.: +49 (0)7531 206-316
e-Mail: guempel@htwg-konstanz.de

SCHNELLSCHALTENDE AKTOREN FÜR ADAPTIVE SICHERHEITSSYSTEME IM KRAFTFAHRZEUGBAU

Gegenstand des Projektes ist die werkstoffkundliche Entwicklung eines adaptiven Sicherheitssystems mit Formgedächtnislegie-

rungen zum Einsatz in Kraftfahrzeugen. Durch die spontane Umwandlung der FGL beim Überschreiten einer kritischen Temperatur können sehr schnell und funktionssicher Linearbewegungen ausgeführt werden. Das Problem der Langzeitstabilität des Formgedächtniseffektes soll in diesem Forschungsvorhaben betrachtet werden. Hierzu werden Auslagerungsversuche sowohl die Auswirkungen von Ausscheidungen als auch die metallkundlichen Hintergründe für die Entstehung der Ausscheidungen betrachtet. Durch die Kenntnis der ablaufenden Vorgänge sollte es möglich sein, Legierungen einzusetzen, die die erforderliche Langzeitstabilität aufweisen. In einem weiteren Projektschritt werden Schnell-erwärmungssysteme entwickelt und erprobt, die es ermöglichen, mit den vorhandenen Bordstromnetzen eine schnellstmögliche und sichere Erwärmung der FGL-Elemente zu gewährleisten.

Prof. Dr.-Ing. Paul Gümpel
Tel.: +49 (0)7531 206-316
e-Mail: guempel@htwg-konstanz.de

PRÜFSTANDSENTWICKLUNG UND OPTIMIERUNG DER TRIBOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN BEI MAGNETISCHEN KURZHUBIGEN LINEARANTRIEBEN

Der Einsatz von kurzhubigen magnetischen Linearantrieben wird auch in Zukunft ständig zunehmen. Deshalb ist es notwendig durch innovative Weiterentwicklung und Optimierung der Produkte die Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Lebensdauer zu steigern und somit die globale Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens weiter zu entwickeln. Gegenstand dieses Forschungsvorhabens ist die Untersuchung von Materialpaarungen und Schichtsystemen auf deren individuelles Reibungs- und Verschleißverhalten. Dazu soll ein Prüfstand entwickelt werden, mit dessen Hilfe es möglich ist, das tribologische System von kurzhubigen, magnetischen Linearantrieben möglichst einfach abzubilden. In einem weiteren Projektschritt soll der bestehende Prüfstand so erweitert werden, dass das zu untersuchende tribologische System eines kurzhubigen, magnetischen Linearantriebs möglichst realistisch abgebildet werden kann.

Während des Forschungsprojektes sollen unterschiedliche Materialpaarungen und Schichtsysteme in den einzelnen Entwicklungsstufen des Prüfstandes auf dessen Reibungs- und Verschleißverhalten untersucht werden. Die daraus gewonnenen Ergebnisse sollen verwendet werden, um die Reibung in den untersuchten Systemen zu minimieren und somit die Produktqualität zu verbessern.

Prof. Dr.-Ing. Paul Gümpel
Tel.: +49 (0)7531 206-316, -579
e-Mail: guempel@htwg-konstanz.de

KORRAGO - KORROSIONSVORHALTEN VON METALLISCHEN OBERFLÄCHEN BEI ABGASBEANSPRUCHUNG

Entwicklung einer geeigneten Prüfmethode für die Bestimmung des Korrosionsverhaltens von metallischen Oberflächen bei einer simulierten Abgasbeanspruchung.

Prof. Dr.-Ing. Paul Gümpel
Tel.: +49 (0)7531 206-316
e-Mail: guempel@htwg-konstanz.de

FORMULA-STUDENT-RENNWAGEN

Ziel des Projektes ist die Konstruktion und der Bau eines Rennwagens nach einer Ausschreibung der „Society of Automotive Engineering“ und dem Reglement der „Formula Student“. Das Bodensee-Racing-Team baut einen Monocoque-Rennwagen mit Duplex-Stahlrahmen und GFK-Chassis.

Prof. Dr. Andreas Lohmberg
Tel.: +49 (0)7531 206-229
e-Mail: lohmborg@htwg-konstanz.de
<http://www.brt-konstanz.de>

ANLAGEN- UND VERFAHRENTWICKLUNG ZUR SCHONENDEN UND ENERGIEEFFIZIENTEN PRODUKTION GETROCKNETER, BIOLOGISCHER GÜTER

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines innovativen Verfahrens zur Trocknung empfindlicher biologischer Güter. Dieses, vor allem für die Herstellung von Trockenfrüchten einsetzbare Verfahren, soll im Gegensatz zum Stand der Technik, erstmals die Temperatur des Trocknungsgutes als Führungsgröße nutzen und somit so effizient als möglich bei geringstmöglichen Qualitätsveränderungen während des Trocknungsprozesses arbeiten. Dadurch sollen sowohl Nachhaltigkeitseffekte durch die effizientere Energieausnutzung als auch signifikante Qualitätsverbesserungen erzielt werden.

Prof. Dr. Werner Hofacker
Tel.: +49 (0)7531 206- 593
e-Mail: hofacker@htwg-konstanz.de

ENERGIEKETTE BRENNSTOFFZELLE

Eine Energiewandlungskette Photovoltaikanlage - Elektrolyseur – Wasserstoffverdichter, Wasserstoffspeicher – Brennstoffzelle nebst einer Überströmeinrichtung zu einem brennstoffzellengetriebenem Boot wird ausgelegt, installiert und behördlich abgenommen.

Prof. Dr.-Ing. Udo Schelling
Tel.: +49 (0)1531 206-304
e-Mail: schell@htwg-konstanz.de

LABORUNTERSUCHUNGEN ZUR KRAFTSTOFFQUALITÄT AN EINEM RAPSÖL-BHKW

In Kooperation mit der Firma Sener-Tec GmbH, dem Technologie- und Förderzentrum Straubing sowie dem Lehrstuhl für Technologie Biogener Rohstoffe der TU München wird der Einfluss verschiedener Rapsölkraftstoffkomponenten auf das Betriebs- und Emissionsverhalten eines Rapsöl-Blockheizkraftwerkes (BHKW) untersucht. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den durch Kraftstoffkomponenten verursachten Ablagerungen an innermotorischen Bauteilen und Abgasnachbehandlungskomponenten (Rußfilter).

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner
Tel.: +49 (0)7531 206-307
e-Mail: schreiner@htwg-konstanz.de

ONLINE-ERKENNUNG VON MOTORSCHÄDLICHER ABLAGERUNGSBILDUNG

Ein Problem von Rapsöl ist, dass es bei schlechter Qualität zu Ablagerungen in Verbrennungsmotoren und nachfolgend zu Schäden am Motor führen kann. Durch die vom DIN UA 632.2 unter Federführung des TFZ in Straubing entwickelte DIN-Vornorm 51605 wurde ein wichtiger Schritt unternommen, um die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Rapsöl-Kraftstoffen so festzulegen, dass Schäden ausgeschlossen werden können. Diese Grenzwerte der Vornorm müssen jedoch noch durch umfangreiche motorische Untersuchungen untermauert werden, um insbesondere den Einfluss bestimmter Elementgehalte von Rapsöl besser kennen zu lernen.

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner
Tel.: +49 (0) 7531 206- 307
e-Mail: schreiner@htwg-konstanz.de

PHOTON - PHOTONISCHE VERFAHREN IN NEUEN DIMENSIONEN

Basierend auf neuartigen Möglichkeiten der Miniaturisierung optischer Komponenten und Systeme sollen photonische Verfahren in ihren metrologischen Dimensionen erweitert werden, um neue Anwendungsfelder zu erschließen. Dazu ist ein Forschungsverbund aus sechs Hochschulen und zwei universitären Instituten eingerichtet sowie Schlüsselkompetenzen aus den relevanten Teilgebieten der Photonik zusammengeführt worden. In den beiden thematischen Schwerpunkten „Multidimensionale Mikroskopie“ und „Photonische Sensorik“ werden sieben innovative Projekte bearbeitet. Beispielhaft seien genannt: Einführung neuer tiefenauflösender Methoden in Mikroskopie und Screening an 3D-Zellkulturen und Erweiterung mikroskopischer Verfahren um die Dimension Wellenlänge zu einem multispektralen Imaging sowie Erweiterung optischer 3D-Sensorsysteme um die Dimension Zeit zu Echtzeitsystemen und Einführung neuer Methoden der nicht taktilen Fertigungsmesstechnik zur Erfassung von Materialparametern, wie Oberflächenrauigkeit oder Tiefendefekte.

Prof. Dr. Claus Braxmaier
Tel.: +49(0)7531/206 348
e-Mail: braxmaier@htwg-konstanz.de

STERILE AUFBEREITUNG VON LEBENSMITTELN DURCH OPTISCH KONTROLLIERTEN WASSERSTRAHLSCHNITT - OPTOWA

Früchte oder Gemüse, wie Zwiebeln, Knoblauch oder Äpfel müssen vor der Weiterverarbeitung sortiert, geschält und/oder geschnitten werden. Dies geschieht in der Regel von Hand im freien Schnitt, oder durch Zentrifugieren bzw. Hobeln wobei bei dieser, eher handwerklichen Bearbeitung eine Kontrolle der hygienischen Verhältnisse meistens gar nicht, bestenfalls nur rudimentär zu verwirklichen ist. Dieser Zustand hat zur Folge, dass die Produkte stark mikrobiologisch kontaminiert werden, was zu Qualitätsverlusten führt und den Zugang zu lukrativen Märkten einschränkt. Bei diesen Verfahren sind die Verluste erheblich und in erster Linie von der Sorgfalt des Personals und der Verfahrensführung abhängig. Eine Vielzahl von Lebensmitteln, auch aus den Tropen, wie reife Mangos, Papayas etc. werden zur Zeit vernichtet, weil eine Weiterverarbeitung trotz niedriger Personalkosten aufgrund des hohen Arbeitskraft- und Zeitbedarfs nicht lohnend oder aus hygienischen Gründen nicht praktikabel ist. Das nun durchgeführte Forschungsprojekt dient dazu, Ergebnisse aus dem Bereich der Grundlagenforschung, insbesondere aus den Gebieten der Trenntechnik und der digitalen Bilderkennung, in industriell anwendbare Verfahren und Anlagen zur Weiterverarbeitung und/oder Veredelung von Lebensmitteln zu überführen. Ziel des Projektes ist es, durch den Einsatz von elektronisch gesteuerten Hochdruckwasserstrahlen den gesamten Aufbereitungsprozess – bisher sehr arbeitskraft- und zeitintensive Verarbeitungsschritte – zu automatisieren und ein hygienisch einwandfreies Produkt zu erhalten.

Prof. Dr. Werner Hofacker
Tel.: +49(0)7531/206 593
e-Mail: hofacker@htwg-konstanz.de

Eco CAR KONSTANZ - ECON

ECON ist eine studentische Initiative der Hochschule Konstanz, die das Ziel verfolgt, ein sparsames, ökologisches Fahrzeug mit großem „Spaßfaktor“ zu entwickeln und zu bauen. Dabei kommt es den Teilnehmern ebenso auf den damit verbundenen Lerneffekt wie auf den abschließenden Bau des Fahrzeugs an. Das Fahrzeug soll nach Wunsch der Initiatoren im Jahr 2009 an der Challenge Bibendum, einem Wettbewerb für nachhaltige Mobilität, teilnehmen.

Prof. Dr.-Ing. Burkhard Lege
Tel.: +49(0)7531/206-309
e-Mail: lege@htwg-konstanz.de

ZÄHLWAAGE

Die Praxistauglichkeit einer Zählwaage wird verbessert.

Prof. Dr. Roland Nägele
Tel.: +49(0)7531/206-290
e-Mail: naegele@htwg-konstanz.de

ABGASEMISSIONEN VON VERBRENNUNGSMOTOREN

Auf dem Gebiet der Optimierung der Abgasemissionen wurden in Zusammenarbeit mit verschiedenen Industriepartnern folgende Forschungsaufgaben durchgeführt: UFOP: Projekt „Biodiesel und Sportschiffahrt in der Euregio Bodensee“, Iveco: Untersuchungen mit einer mobilen Abgasmessanlage, Bosch: Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Motoroptimierung mit Hilfe einer freiprogrammierbaren Motorelektronik, MAN: Abgasuntersuchung und Zertifizierung von Dieselmotoren.

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner
Tel.: +49(0)7531/206 307
e-Mail: schreiner@htwg-konstanz.de

STICKOXID-REDUZIERUNG BEI MINI-BHKW-MOTOREN

Blockheizkraftwerke (Kraft-Wärme-Kopplung) sind die effizienteste Art, mit Kraftstoffenergie umzugehen und einen sehr hohen Wirkungsgrad der Gesamtanlage zu erreichen. Bislang werden BHKWs vor allem in größeren Anlagen eingesetzt. Für den privaten Nutzer bieten sich kleine Anlagen (Mini-BHKWs) an, die die herkömmlichen Öl- oder Gasheizungen von größeren Einfamilien- oder Zweifamilienhäusern ersetzen und gleichzeitig Strom bereitstellen. Die SenerTec GmbH in Schweinfurt ist der größte Hersteller von Mini-BHKW-Anlagen in Deutschland. Das Modell „Dachs“ wird mit einer elektrischen Leistung von 5,0 kW ... 5,5 kW und einer thermischen Leistung von 10,3 kW ... 12,5 kW angeboten und kann je nach Ausführung mit Heizöl, Biodiesel, Rapsöl, Erdgas oder Flüssiggas betrieben werden. Das Labor für Verbrennungsmotoren an der HTWG Konstanz hat in zwei früheren Forschungsvorhaben zwei dieser Dachs-Motoren untersucht. Es ging dabei um die Frage, welche Mindestqualität ein verwendeter Pflanzenölkraftstoff haben muss, damit der Motor nicht vorzeitig Schaden nimmt und die Betriebssicherheit der Anlage für lange Zeit gewährleistet ist. Gleichzeitig wurde untersucht, wie man im laufenden Betrieb des Motors sich anbahnende Schäden frühzeitig erkennen kann, ohne zusätzliche Sensorik verwenden zu müssen. Der Dachs-Motor ist ein relativ alter direktinspritzender Einzylindermotor der Fa. Sachs mit einem Entwicklungsstand, der etwa der Euro-1-Gesetzgebung entspricht. Bislang war das nicht problematisch, weil für Mini-BHKW-Anlagen keine Emissionsvorschriften gelten. Es ist aber davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren eine Verschärfung der Vorschriften erfolgen wird. Das kann man daran erkennen, dass

der Staat den Zuschuss für die Beschaffung einer privaten Mini-BHKW-Anlage nur gewährt, wenn die aktuellen Grenzwerte der TA-Luft für größere BHKWs eingehalten werden. In seiner heutigen Ausführung kann die dieselmotorische Variante des Dachs-Motors diese Grenzwerte wegen ihrer hohen Stickoxid-Emissionen (NOx) aber nicht erreichen. Die Erdgasvariante hält die Grenzwerte ein. Allerdings gibt es einen recht großen Markt für die dieselmotorische Variante (Heizöl), weil nicht überall in Deutschland Erdgasleitungen verlegt sind. Gerade in ländlichen Gebieten überlegen sich die Kunden, ob sie eine Heizöl-Heizung oder ein Heizöl-BHKW kaufen sollen. In dem geplanten Forschungsprojekt soll untersucht werden, mit welchen Methoden die Stickoxidemissionen des Heizöl-Dachs-Motors deutlich reduziert werden können, so dass der Dachs in den Genuss der staatlichen Förderung kommt. Im Einzelnen sind folgende Projektpartner beteiligt: SenerTec GmbH, Schweinfurt, makon engineering GmbH, Tettang, Sensors Europe GmbH, Erkrath, Universität Stuttgart, Labor für Verbrennungsmotoren der HTWG Konstanz. Durch die geplanten Arbeiten ist es möglich, Forschungsfortschritte sowohl auf dem Gebiet des emissionsarmen Betriebs von Mini-Blockheizkraftwerken als auch auf dem Gebiet der Entwicklung eines mobilen Rußmessgerätes zu gewinnen. Diese Synergie ergibt sich durch die Versuchsläufe, die sowohl hinsichtlich der Stickoxidemissionen als auch der Rußemissionen ausgewertet werden. Das Ziel der geplanten Untersuchungen ist es zu überprüfen, welche der bislang bekannten Maßnahmen zur Stickoxidreduzierung für den geplanten Einsatz am besten geeignet sind. Dabei geht es sowohl um die Höhe der Emissionsreduzierung als auch um die Betriebssicherheit und die zusätzlichen Kosten. Wenn das Vorhaben erfolgreich abgeschlossen wird, können die Ergebnisse für die Umrüstung auch anderer Mini-BHKW-Anlagen und anderer Diesel-Kleinmotoren verwendet werden. Die Wettbewerber von SenerTec haben einen deutlich kleineren Marktanteil und arbeiten ausschließlich mit Vorkammer-Dieselmotoren. Diese werden in den nächsten Jahren ihre Produkte auf direktinspritzende Dieselmotoren umrüsten müssen, weil diese verbrauchsgünstiger sind. Insofern haben sie zwar momentan keinen unmittelbaren Nutzen vom geplanten Projekt. Wenn sie aber in den nächsten Jahren neue Motoren einsetzen, dann profitieren sie automatisch von den bis dahin vorliegenden Projektergebnissen.

Prof. Dr. Klaus Schreiner
Tel.: +49(0)7531/206 307
e-Mail: schreiner@htwg-konstanz.de

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

PRODUCTIVITY IN THE EUROPEAN UNION: A COMPARATIVE INDUSTRY APPROACH (EU KLEMS)

This project aims to create a database on measures of economic growth, productivity, employment creation, capital formation and technological change at the industry level for all European Union member states from 1970 onwards. This work will provide an important input to policy evaluation, in particular for the assessment of the goals concerning competitiveness and economic growth potential as established by the Lisbon and Barcelona summit goals. The database should facilitate the sustainable production of high quality statistics using the methodologies of national accounts and input-output analysis. The input measures will include various categories of capital, labour, energy, material and service inputs. Productivity measures will be developed, in particular with growth accounting techniques. Several measures on knowledge creation will also be constructed. Substantial methodological and data research on these measures will be carried out to improve international comparability. There will be ample attention for the development of a flexible database structure, and for the progressive implementation of the database in official statistics over the course of the project. The database will be used for analytical and policy-related purposes, in particular by studying the relationship between skill formation, technological progress and innovation on the one hand, and productivity, on the other. To facilitate this type of analysis a link will also be sought with existing micro (firm level) databases. The balance in academic, statistical and policy input in this project is realised by the participation of 15 organisations from across the EU, representing a mix of academic institutions and national economic policy research institutes and with the support from various statistical offices and the OECD.

Prof. Dr. Jörg Beutel
Tel.: +49 (0)7531 206-251
e-Mail: beutel@htwg-konstanz.de

ENTWICKLUNG UND IMPLEMENTIERUNG VON PRÜFUNGEN DER VORKENNTNISSE AUSLÄNDISCHER STUDIENBEWERBER AN FACHHOCHSCHULEN BADEN-WÜRTTEMBERGS

In enger Kooperation mit den Fachhochschulen Baden-Württembergs werden aussagekräftige Prüfungen der Vorkenntnisse entwickelt und erprobt. Die Prüfungen sollen vom Ausländerstudienkolleg der Fachhochschulen in Baden-Württemberg an der Fachhochschule Konstanz durchgeführt werden. Das Projekt umfasst die Entwicklung der Prüfungen und des Informationsmaterials für die Studienbewerber, die Implementierung an den Fachhochschulen in Baden-Württemberg sowie die Entwicklung eines Kurscurriculums.

Prof. Dr. Christian Krekeler
Tel.: +49 (0)7531 206-395
e-Mail: krekeler@htwg-konstanz.de

UNTERSUCHUNG DER EIGNUNG VON STAKEHOLDER-MANAGEMENT UND NETZWERKGOVERNANCE ZUR REDUZIERUNG INSTITUTIONELLER DEFIZITE DER GLOBALISIERUNG (CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY - CSR)

Gegenstand der Forschungsinitiative ist die Frage, welchen Beitrag Organisationen der Wirtschaft bei der Lösung gesellschaftlicher Aufgaben, die auf der Schnittstelle von Politik und Wirtschaft angesiedelt sind, leisten können und sollen. Diese Diskussion wird heute in Europa unter dem Stichwort „Corporate Social Responsibility“ (CSR) geführt. Dabei wird insbesondere die Rolle der Unternehmen in interorganisationalen Netzwerken thematisiert. Ziel des Forschungsvorhabens ist es zu untersuchen, inwieweit und in welcher Hinsicht das neue Phänomen der NetzwerkGovernance eine sachlich geeignete und moralisch glaubwürdige Organisationsform ist, das institutionelle Defizit der Globalisierung zu füllen.

Prof. Dr. habil. Josef Wieland
Tel.: +49 (0)7531 206-404
e-Mail: wieland@htwg-konstanz.de

ERARBEITUNG EINES INTERNATIONALEN ISO-STANDARDS SOCIAL RESPONSIBILITY

Im Projekt wird ein ISO-Standard erarbeitet, der es allen Arten von Organisationen in allen Ländern der Welt möglich machen soll, Prozesse der Wahrnehmung sozialer und ökologischer Verantwortung in den jeweiligen Gesellschaften zu implementieren und zu leben.

Prof. Dr. habil. Josef Wieland
Tel.: +49 (0)7531 206-404
e-Mail: wieland@htwg-konstanz.de
www.kiem.htwg-konstanz.de

WISSENSGOVERNANCE UND INNOVATIONSMANAGEMENT

Innovationen bei Produkten und Dienstleistungen basieren in der Regel primär aus wissensbasierten und wissensgesteuerten Transaktionen. Die Aktivierung dieser Wissensressourcen kann nur mittels geeigneter werteesensibler Governancestrukturen gelingen, da anderenfalls die impliziten Wissensbestände beim individuellen Akteur als dem Eigentümer des Wissens verbleiben und in Innovationsprozessen einer Ökonomisierung nicht zugänglich gemacht werden können. Beschreibung bzw. Entwicklung eines Innovationsmanagements und eines Wissensmanagements, die mittels governanceethischer Steuerung die Attrahierung und Aktivierung individueller und organisationaler impliziter Wissensbestände zur Generierung innovativer Güter und Dienstleistungen prozessieren können. Dabei werden folgende Fragestellungen untersucht: Auf welchen ökonomischen und organisationstheoretischen Annahmen kann ein moralsensitives Wissens- und Innovationsmanagement basieren; In welcher Weise kann die bisher enggeführte Diskussion über das Wissens- und Innovationsmanagement eines Unternehmens einer governanceethischen Steuerung zugänglich gemacht werden, so dass die Aktivierung des wettbewerbsnotwendigen Wissens gelingen kann und global marktfähige innovative Güter und Dienstleistungstransaktionen entstehen; Was ist unter dem Begriff der Organisationskultur zu verstehen, wie wirkt dieser in Organisationen hinein und über die Grenzen der Organisation hinaus, so dass die Attrahierung und Aktivierung des notwendigen Wissens für innovative Prozesse ermöglicht wird; Wie kann ein solches Wissens- und Innovationsmanagement-Konzept in diesem Zusammenhang als ein anwendbares Instrumentarium bzw. als organisationale Anreiz- und Steuerungskultur für die Unternehmenspraxis aussehen?

Webadresse des Projektes: <http://www.kiem.htwg-konstanz.de>

Prof. Dr. habil. Josef Wieland
Tel.: +49 (0)7531 206-404
e-Mail: wieland@htwg-konstanz.de

MANAGEMENT, KULTUR UND KOMMUNIKATION IM INTERNATIONALEN WIRTSCHAFTSLEBEN

Grenzüberschreitende Kommunikations- und Kooperationsprozesse in der Wirtschaft sind Gegenstand dieses Projektes. Ziele eines der Teilprojekte sind es erstens Erkenntnisse über die Form und insbesondere über die von Beteiligten und Beobachtern wahrgenommenen Schwierigkeiten der Interaktion in der Wirtschaft zu gewinnen; und zweitens rezipierte, teilweise nicht ausreichend kritisch tradierte Einsichten und Ansichten über die Interaktion im internationalen Wirtschaftsleben kritisch zu überprüfen. Ein weiteres Teilprojekt beschäftigt sich mit den Auswirkungen von grenzüberschreitenden Fusionen auf Kommunikations- und Kooperationsprozesse. Es untersucht die Managementkommunikation auf den

höchsten Führungsebenen zwischen einem nordamerikanischen Konzern und einer deutschen Tochtergesellschaft und zwischen derselben deutschen Firma und verschiedenen Schwestergesellschaften. Dabei werden eine Vielzahl an Daten über die Sprache, Form, Medium, Funktion und Schwierigkeiten aus deutscher Sicht der erlebten Kommunikation erhoben. Auf dieser Grundlage werden Konzepte zur Optimierung der Kommunikation und Kooperation entwickelt. Außerdem wird die interkulturelle Managementkompetenz der beteiligten Führungskräfte anhand eines psychometrischen Assessment-Instruments untersucht.

Prof. Peter Franklin
Tel.: +49(0)7531/206396
e-Mail: franklin@htwg-konstanz.de

EVALUIERUNG VON AUSWAHLVERFAHREN FÜR AUSLÄNDISCHE STUDIENBEWERBER

Es wird erhoben, wie die Erfolgsquoten ausländischer Studierender in öffentlich finanzierten Studienplätzen an staatlichen Hochschulen sind und wie die Erfolgsquoten verbessert werden können. In einem ersten Schritt werden die bei den Hochschulen vorhandenen Daten über die Studienerfolge ausländischer Studierender an den Fachhochschulen in Baden-Württemberg erhoben. Anschließend wird eine Datenbank mit den Studienverlaufdaten ausländischer Studierender der letzten mindestens 10 Jahren angelegt und die Daten werden analysiert.

Von Bedeutung sind insbesondere folgende Fragen: Wie ist die Erfolgsquote der in Studienkollegs vorbereiteten Studierenden im Vergleich zu den direkt zugelassenen? Welche Auswahlverfahren sind besonders vorhersagekräftig? Sind spezielle Fachnoten, z.B. in Mathematik, aussagekräftige Indikatoren für den Studienerfolg in bestimmten Fächern? Ein Abschlussbericht fasst die Auswertung zusammen und bewertet alle signifikanten Merkmale. Es werden Vorschläge für eine Optimierung von Studierendenauswahl und Studienvorbereitung unterbreitet. Konkrete Verbesserungen, z.B. durch Überarbeitung von Auswahlverfahren wie dem Aufnahme-test des Studienkollegs werden veranlasst.

Prof. Dr. Christian Krekeler
Tel.: +49(0)7531/206-395
e-Mail: krekeler@htwg-konstanz.de

OPTIMIERUNG VON TOTAL COST OF OWNERSHIP DIENSTLEISTUNGEN IM MASCHINEN- UND ANLAGENBAU

Produktbegleitende Dienstleistungen werden zukünftig eine weiter steigende Bedeutung für die nachhaltige Entwicklung von Unternehmen haben. Aktuelle Ergebnisse der Dienstleistungsforschung sowie Experteneinschätzungen aus der Praxis zeigen in diesem Zusammenhang, dass produktlebenszyklusorientierte

Dienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau – einer technologieintensiven Schlüsselbranche in Baden-Württemberg – oft nur unzureichend angeboten werden. Diese werden jedoch zunehmend von Abnehmerunternehmen nachgefragt. Hieraus resultiert mittelfristig das Problem einer sich verschlechternden Wettbewerbsfähigkeit der oftmals kleinen und mittelständischen Anbieter-Unternehmen. Vor dem Hintergrund der skizzierten Ausgangslage sollen im Rahmen des geplanten Transferprojektes aus der aktuellen Dienstleistungsforschung produktlebenszyklusorientierte Serviceleistungen im Sinne des Total Cost of Ownership (TCO) bzw. Life Cycle Cost (LCC) Ansatzes entwickelt und in kleinen und mittelständischen Pilotbetrieben des Maschinen- und Anlagenbaus verankert werden. Die Vorgehensweise soll einen Ergebnistransfer auf andere Unternehmen der betrachteten Branche in Baden-Württemberg ermöglichen und damit eine breite Nutzbarkeit sicherstellen. Aus dem Projekt soll ein unmittelbarer Nutzen für die beteiligten Pilotunternehmen durch die kundenorientierte Erweiterung ihres Dienstleistungsangebotes, eine zu erwartende Steigerung des Dienstleistungsumsatzanteils, die nachhaltige Absicherung der Wettbewerbssituation sowie die Erfüllung der zunehmend von Kunden erhobenen Forderung nach LCC/TCO-Angeboten entstehen. Für andere kleine und mittelständische Maschinen-/Anlagenbau-Unternehmen in Baden-Württemberg soll ein Nutzen durch die Möglichkeit der Übernahme der Projektergebnisse auf Basis eines generischen Umsetzungskonzeptes mit Handlungsleitfaden sowie Schulungs-/Workshop- und Transfer-systematik entstehen. Die Unternehmen der Kundenbranchen, wie z.B. diejenigen des Automotive-Sektors, haben aufgrund der mit TCO/LCC-Konzepten zu erwartenden Steigerung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit einen entsprechenden Nutzen aus dem Projekt. Durch die Wahl der Projektpartner wird eine abgestimmte Verbreitung der Projektergebnisse sowie deren Nutzbarkeit auch nach Projektende sichergestellt.

Prof. Dr. Stephan Schweiger
Tel.: +49(0)7531/206 443
e-Mail: schweiger@htwg-konstanz.de

INBOUND AND OUTBOUND TOURISM IN INDIA

Im Rahmen des Projektes wurden Strukturen des Indientourismus nach Deutschland/Europa und Deutschland-/Europatourismus nach Indien qua Primär- und Sekundäranalyse untersucht.

Prof. Dr. Tatjana Thimm
Tel.: +49(0)7531/206 145
e-Mail: thimm@htwg-konstanz.de

CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY, STAKEHOLDER MANAGEMENT UND NETZWERKGOVERNANCE

Gegenstand der Forschungsinitiative ist die Frage, welchen Beitrag Organisationen der Wirtschaft bei der Lösung gesellschaftlicher Aufgaben, die an der Schnittstelle von Politik und Wirtschaft angesiedelt sind, leisten können und sollen. Diese Diskussion wird heute in Europa unter dem Stichwort „Corporate Social Responsibility“ (CSR) geführt. Dabei wird insbesondere die Rolle der Unternehmen in interorganisationalen Netzwerken thematisiert. Ziel des Forschungsvorhabens ist es zu untersuchen, inwieweit und in welcher Hinsicht das neue Phänomen der Netzwerk-governance eine sachlich geeignete und moralisch glaubwürdige Organisationsform ist, das institutionelle Defizit der Globalisierung auszugleichen.

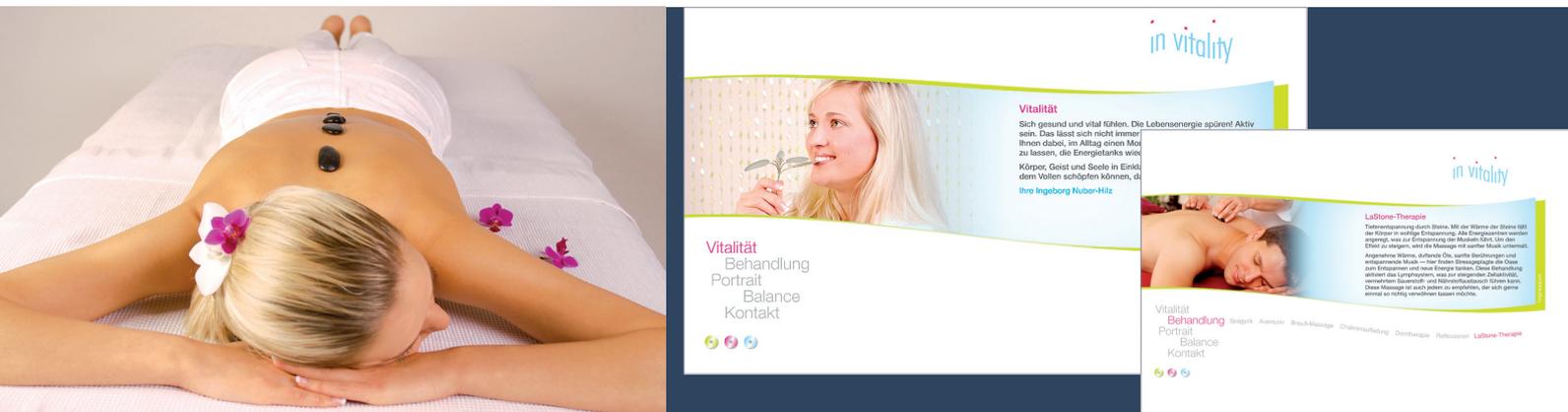
Prof. Dr. habil. Josef Wieland
Tel.: +49(0)7531/206 404
e-Mail: wieland@htwg-konstanz.de



Corporate Identity: b+p baurealisation ag Zürich



Kultur Evolution: Städtische Wessenberg-Galerie Konstanz



Screen Show: InVitality Naturheilpraxis Volkertshausen



www.designconnection.eu 1010132 06.2009

Grundlage Forschung

Nycomed ist mit rund 3.000 Mitarbeitern eines der großen Pharmaunternehmen in Deutschland. Rund um den Globus leisten 12.000 Kolleginnen und Kollegen in 50 Ländern einen wichtigen Beitrag, um die medizinische Versorgung und Lebensqualität der Menschen zu verbessern.

Unsere Produkte reichen von hochinnovativen Arzneimitteln, über günstige Generika bis hin zu freiverkäuflichen Produkten für die Selbstmedikation. Unsere Innovationen stammen aus der eigenen Forschung oder aus Kooperationen mit externen Partnern.

Unsere Forschung von heute bildet die Grundlage für eine bessere medizinische Versorgung und für mehr Lebensqualität. Dafür arbeiten wir gemeinsam mit unseren Kooperationspartnern an einem Ziel: Wirksame Arzneimittel – Medikamente, auf die es wirklich ankommt.

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter www.nycomed.de

Nycomed GmbH
Byk-Gulden-Str. 2
78467 Konstanz



NYCOMED