



# Jahresbericht 2006



**Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart  
(MPA Stuttgart, Otto-Graf-Institut, (FMPA))**

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Roos  
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen

Pfaffenwaldring 32  
70569 Stuttgart

Tel.: 0711 / 685-62604

Fax: 0711 / 685-63144

Internet: <http://www.mpa.uni-stuttgart.de>

## Inhalt

	Seite
1 Vorwort	5
2 Aus den Abteilungen	7
3 Lehre	42
4 Neue Versuchseinrichtungen	44
5 Berichte aus der Forschung	45
6 Veranstaltungen	63
7 Internationale Kooperationen in der Forschung	65
8 Mitarbeit in Arbeitskreisen und Ausschüssen	66
9 Gastvorträge	67
10 Gastwissenschaftler	68
11 Veröffentlichungen	69
12 Promotionen	81



## 1 Vorwort

Der vorliegende Jahresbericht der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA) gibt einen Überblick über die im Jahr 2006 durchgeführten Forschungsprojekte und Arbeiten der Abteilungen und stellt weitere Ergebnisse und Ereignisse zusammen.

Das vergangene Jahr wurde an der MPA geprägt durch einen Wechsel im Direktorium. Herr Professor Hans-Wolf Reinhardt wurde am 31. März nach 16 Jahren als Leiter des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen (IWB) und Direktor der MPA bzw. der FMFA in den verdienten Ruhestand verabschiedet. Sein Nachfolger als Direktor der MPA und Leiter des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen wurde Herr Professor Christoph Gehlen. Ein kurzes Porträt von Herrn Professor Gehlen befindet sich auf der folgenden Seite.

Auch 2006 wurde die Kooperation mit der Industrie und öffentlichen Institutionen erfolgreich weitergeführt. In zahlreichen Forschungs- und Entwicklungsprojekten, Gutachten und Stellungnahmen konnte die MPA Universität Stuttgart ihre Kompetenz sowohl im Bereich der Grundlagenforschung als auch der direkten und gezielten Umsetzung der neuesten Forschungsergebnisse aus den verschiedenen Arbeitsbereichen in die industrielle Praxis erneut unter Beweis stellen. Das breite Spektrum von den Werkstoffen und Systemen im Bauwesen bis zu denen des Maschinenbaus, der Fahrzeugtechnik und der Investitionsgüterindustrie sowie die Unabhängigkeit und Neutralität als Zentralinstitut der Universität Stuttgart macht die MPA zu einem attraktiven Partner.

Der Austausch neuester Forschungsergebnisse der MPA wurde auch im vergangenen Jahr durch Konferenzen, Workshops und Fortbildungsveranstaltungen gewährleistet.

Wir möchten uns bei allen Partnern aus Industrie, Forschung und öffentlichen Institutionen für das uns entgegengebrachte Vertrauen und die gute Kooperation bedanken und freuen uns auf eine weiterhin gute Zusammenarbeit.



Prof. Dr.-Ing. habil. E. Roos,  
Geschäftsführender Direktor



Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen,  
Direktor

## Kurzporträt Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen



Am 1. April 2006 hat Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen die W3-Professur „Werkstoffe im Bauwesen“ und die Leitung des gleichnamigen Instituts übernommen. Gleichzeitig wurde er Direktor der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart.

1966 in Düsseldorf geboren, studierte er Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Nach seinem Diplom im Jahre 1995 arbeitete er an der RWTH Aachen am Institut für Bauforschung (ibac) drei Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe „Stahlbeton und Bewehrungen“, die er dann im Anschluss ein Jahr lang verantwortlich leitete. Seine im Jahr 2000 verfasste Dissertation über die „Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken“ wurde mehrfach ausgezeichnet (Ready-mix Förderpreis Beton 2000; Rüscher-Forschungspreis 2001 des Deutschen Betonvereins; Borchers-Plakette 2000 der RWTH Aachen).

Seit März 2000 ist Prof. Gehlen geschäftsführender Gesellschafter eines in München ansässigen Ingenieurbüros. Seit 2003 war Prof. Gehlen bis zu seiner Berufung nach Stuttgart Lehrbeauftragter an der TU München. Das von ihm in der Lehre vertretene Thema war „Bauschäden in der Praxis“.

Forschungsschwerpunkte von Prof. Gehlen sind Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit und Life-Cycle-Management von Stahl- und Spannbeton, Korrosionsforschung, Korrosionsmechanismen an Spannstählen und Instandsetzung von Stahlbetonbauten. Ergebnisse dieser Arbeiten wurden in zahlreichen internationalen und deutschsprachigen Veröffentlichungen publiziert.

Neben weiteren, traditionell schon über Jahrzehnte am Institut behandelten Forschungsschwerpunkten werden diese einen zusätzlichen Schwerpunkt in Stuttgart bilden.

## 2 Aus den Abteilungen

### Fachbereich Baustoffe und Brandschutz (Leitung: Prof. Dr.-Ing. C. Gehlen, Dipl.-Ing. K. Zeus)

#### **Abteilung Mineralische Baustoffe:**

Dipl.-Ing. K. Zeus / Dipl.-Ing. C. Laskowski

Tel.: 685/ -62258 bzw. -62252

E-Mail: kurt.zeus@mpa.uni-stuttgart.de

christina.laskowski@mpa.uni-stuttgart.de

Referat Bindemittel, Zusätze: Dipl.-Ing. C. Laskowski, Dr. rer. nat. H. Schellhorn

Referat Betontechnologie: Dr.-Ing. C. Öttl, Dipl.-Ing. A. Huß

Referat Mauerwerk, Keramik, Naturstein: Dipl.-Ing. F. Knödler; Dr.-Ing. M. Stegmaier

Referat Dämmstoffe: Dr. rer. nat. T. Popp

Die Arbeitsgebiete der Abteilung schließen alle mineralischen Baustoffe ein, insbesondere aber Bindemittel, Zusatzmittel, Zusatzstoffe, Beton, Mauersteine, Mauermörtel, Naturstein, Keramik, Putze, Glasfasern, Kunststoffe und Dämmstoffe. Der Kundenkreis reicht von den Herstellern der Baustoffe, über die Vertreiber bis zu den Anwendern, wobei vor allem Kunden in Deutschland und Europa betreut werden.

Schwerpunkte der Abteilung sind die Bearbeitung von Forschungsvorhaben und Gutachten sowie die Zertifizierung und Prüfung von Baustoffen.

Zur Untersuchung von Baustoffen unter den verschiedenen mechanischen und physikalischen Beanspruchungen stehen moderne Mess-, Prüf- und Analysetechniken, einschließlich zerstörungsfreier Verfahren und Computertechniken zur Verfügung.

#### **Abteilung Holzbau:**

Dr. rer. nat S. Aicher / Dr.-Ing. G. Dill-Langer

Tel.: 685/ -62287 bzw. -62280

E-Mail: simon.aicher@mpa.uni-stuttgart.de

gerhard.dill-langer@mpa.uni-stuttgart.de

Referat Holz, Holzwerkstoffe, Holzschutz: Dr.-Ing. G. Dill-Langer

Referat Holzbau: Dr. rer. nat. S. Aicher, Dipl.-Ing. W. Klöck

Die Arbeitsschwerpunkte der Abteilung Holzbau waren unvorhersehbar wesentlich beeinflusst durch den katastrophalen Einsturz der in Holzbauweise ausgeführten Dachkonstruktion des Eissportstadions in Bad Reichenhall im Januar des Jahres 2006, bei

dem 15 Menschen getötet und 18 Personen zum Teil schwer verletzt wurden. Im wesentlichen bedingt durch sehr hohe Schneelasten versagten im Januar und Februar einige weitere, meist sehr alte Holzbauwerke.

Ungeachtet der frühzeitigen Erkenntnis, dass der Einsturz der Dachkonstruktion in Bad Reichenhall auf mehrere baurechtswidrig ausgeführte Konstruktionsdetails zurückzuführen ist, wurden große geklebte Holzkonstruktionen in der Öffentlichkeit massiv hinterfragt. Aufgrund der hervorgehobenen Stellung der MPA Universität Stuttgart bei der Prüfung und Zertifizierung von Klebstoffen sowie bei Erteilung des Befähigungsnachweises zum Kleben tragender Holzbauteile (Leimgenehmigung) wurde die Abteilung Holzbau der MPA Stuttgart mit einer sehr großen Anzahl von Gebäude-Tragwerksbegutachtungen insbesondere im Hinblick auf die Tragfähigkeit der Verklebungen beauftragt. Neben ganzheitlichen Begutachtungen von Bauwerken und der Erarbeitung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen wurden viele Materialprüfungen an von Dritten entnommenen Bohrkernproben durchgeführt. Im Rahmen von Gremien- und Ausschusstätigkeiten waren Grundsatzpapiere zur langfristigen Beständigkeit und Sicherheit von Holzverklebungen zu erstellen; verbunden hiermit waren gehäuft Teilnahmen an Gremiensitzungen erforderlich.

In dem Bereich der zunehmend bedeutsamer werdenden Laubholzverklebungen, speziell bei Pfosten-Riegel-Fassaden-Konstruktionen, wurden Gutachten im Hinblick auf die Erteilung von Zustimmungen im Einzelfall durch die obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder erstellt.

In dem Arbeitsschwerpunkt holz-/holzfaserbasierte Plattenwerkstoffe wurden neben üblichen Zulassungsprüfungen verstärkt Untersuchungen zum quasistatisch zyklischen und dynamischen/seismischen Tragverhalten cellulosefaserverstärkter Gipsplatten durchgeführt. Im Vordergrund standen hierbei neben Aspekten des reinen Materialverhaltens insbesondere das Energiedissipationsverhalten von Anschlüssen der Plattenwerkstoffe mit stiftförmigen metallischen Verbindungsmitteln.

In Zusammenarbeit mit unserem Kooperationspartner, Faculty for Civil and Geodetic Engineering, Universität Ljubljana, wurden im Rahmen des SFB 381 - Teilprojektes A11 erstmals vollmaßstäblich seismische Versuche an horizontal beanspruchten Schubwänden mit Beplankungen aus Gipsfaserplatten auf dem Erdbebenprüfstand des Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Universität Skopje, durchgeführt.

Im Arbeitsbereich „zerstörungsfreie Prüfung“ der Abteilung Holzbau wurde ein AiF-Forschungsvorhaben zur zerstörungsfreien Detektion von Fehlverklebungen in Holzbauteilen mittels Ultraschallverfahren erfolgreich abgeschlossen. Hiermit steht erstmalig ein validiertes zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Ermittlung von Fehlverklebungen bei Blockfugen in Verbundbauteilen aus Brettschichtholz zur Verfügung, welches grundsätzlich umgehend industriell einsetzbar ist.

Im Arbeitsbereich „Bemessung und konstruktive Auslegung von Holzbauten“ wurde ein durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) gefördertes Forschungsvorhaben zur Bemessung von runden Durchbrüchen in Brettschichtholzträgern abgeschlossen. Es wurde ein praxisrelevantes Bemessungsmodell entwickelt, welches durch eine umfangreiche experimentelle Parameterstudie eingehend validiert wurde. Die neuen Erkenntnisse werden in einem Änderungspapier zur Holzbaunorm DIN 1052 berücksichtigt und werden auf europäischer Ebene für eine Aufnahme in den Eurodode 5 vorgelegt, der bislang keine Regelungen für Durchbrüche in Vollwandträgern enthält.

**Abteilung Brandschutz:**

Dr. rer. nat. S. Lehner / Dr. rer. nat. S. Wies

Tel.: 685/ -62713 bzw. -62710

E-Mail: stefan.lehner@mpa.uni-stuttgart.de

stefan.wies@mpa.uni-stuttgart.de

Referat Brandverhalten von Baustoffen: Dr. rer. nat. S. Lehner, Dipl.-Ing. G. Müller

Referat Feuerwiderstand von Bauteilen: Dr. rer. nat. S. Wies

Hauptaufgabengebiet der Abteilung „Brandschutz“ ist die experimentelle Bestimmung des Brandverhaltens von Bauprodukten und des Feuerwiderstands von Bauteilen und damit verbunden die Tätigkeit als anerkannte Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle) nach § 25 MBO für das Brandverhalten. Die Brandprüfstelle der MPA ist vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg und vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin als PÜZ-Stelle sowie als Zulassungs-Prüfstelle für das Brandverhalten und die Feuerwiderstandsprüfung anerkannt.

Die von der Brandprüfstelle der MPA ausgestellten Prüf- und Überwachungsberichte, Übereinstimmungszertifikate, allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse und Gutachten gelten damit in Deutschland als entsprechende brandschutztechnische bzw. bauaufsichtliche Nachweise.

Weiterer Schwerpunkt ist die Beratung von Firmen, Ingenieurbüros, Verbänden, Ministerien, Bauaufsichtsbehörden der Länder und des DIBt in brandschutztechnischen Fragen zum Einsatz von Baustoffen, Bauarten und Bauteilen und die Beratung und brandschutztechnische Begutachtung bei Zustimmungen im Einzelfall für Sonderbauprodukte / -bauweisen oder innovative Bauprodukte, bei der Erarbeitung von Sanierungs- und Brandschutzkonzepten und Ertüchtigungsmaßnahmen sowie bei gerichtlichen Beweisungsverfahren oder Streitfällen.

## Fachbereich Baukonstruktionen und Werkstofftechnik (Leitung: Prof. Dr.-Ing. K. Maile)

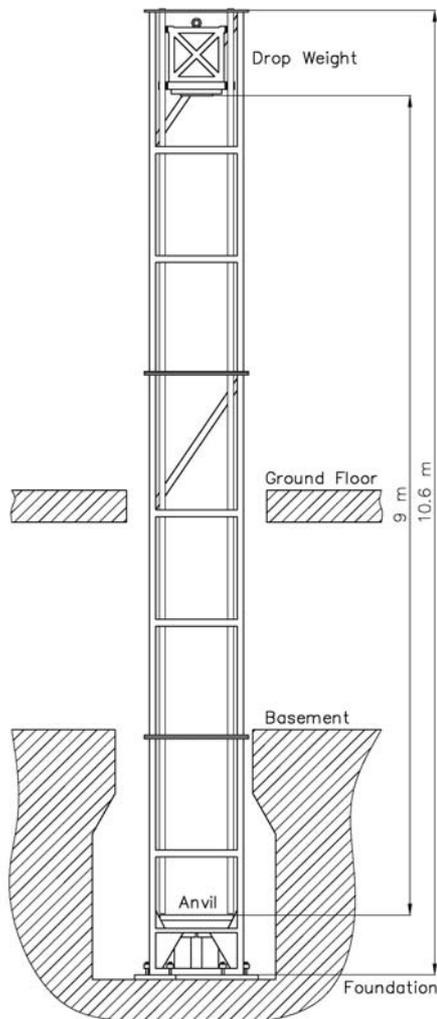
<p><b>Abteilung Baukonstruktionen und Bauteilprüfung:</b>          Dr.-Ing. D. Lotze / Dr.-Ing. R. Lehmann          Tel.: 685/ -63585 bzw. -62218          E-Mail: dieter.lotze@mpa.uni-stuttgart.de                rolf.lehmann@mpa.uni-stuttgart.de</p>
<p>Referat Metallbau, Schweißtechnik: Dr.-Ing. M.J. Greitmann, Dipl.-Ing. B. Hoffmann</p>
<p>Referat: Massivbau, Verbundbau, Befestigungstechnik, Sonderkonstruktionen:          Dr.-Ing. T. Jahn</p>
<p>Referat Leichtbau, Glasbau, Fassaden: Dr.-Ing. R. Lehmann, Dipl.-Ing. G. Krüger</p>

Die Abteilung befasst sich mit dem Trag- und Verformungsverhalten von Bauteilen und Baukonstruktionen, deren Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Darin eingeschlossen sind Verbindungs-, Befestigungs- und Verankerungsmittel sowie Schweißverbindungen. Die Werkstoffe umfassen die ganze Breite des Bauwesens sowie des allgemeinen Anlagen- und Maschinenbaus: Metalle, z. B. Stahl, Aluminium und Kupfer, Eisen- und Stahlgusswerkstoffe, Betone, Glas, Keramik, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe.

Im Jahr 2006 konnte im Zeichen der sich abzeichnenden Erholung der Baukonjunktur das Auftragsvolumen der Abteilung in allen Referaten gesteigert werden. Dazu beigetragen haben auch Forschungs- und Industrieprojekte gemeinsam mit den Instituten der Fakultät Bauingenieurwesen. Beispiele sind z. B. Untersuchungen an Ultra-High-Performance-Concrete (UHPC) im Rahmen eines Forschungsprojektes des Instituts für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren (ILEK). Dort werden Geometrieinflüsse auf die Zug- und Biegezugfestigkeit dieser extrem hochfesten, faserbewehrten Betone experimentell untersucht. Das Trag- und Verformungsverhalten von sogenannten Trapezstegträgern, das sind hohe, weitgespannte Träger mit Betongurten und Stegen aus im Längsschnitt trapezförmig ausgebildeten Blechen, wird in Zusammenarbeit mit dem ILEK (s. o.) und dem Institut für Konstruktion und Entwurf (KE) studiert. Weitere Projekte mit KE betrafen z. B. Slim-Floor-Verbundträger, Brettstapel-Verbundträger, Anschlüsse mit Kopfbolzen-Ankerplatten an Stützen oder den Einfluss der Schweißverbindung zur Kranschiene auf die Ermüdungstragfähigkeit von Kranbahnträgern.

Zugenommen haben auch die Tätigkeiten im Bereich der Prüfung und Begutachtung im Zusammenhang mit speziellen Bauweisen und in Schadensfällen. Daneben werden nach wie vor in erheblichem Umfang Aufgaben im Bereich der Überwachung und Zertifizierung von sicherheitsrelevanten Bauprodukten wie Schwerlastbefestigungen, Betonfertigteilen, Fassaden, Wärmedämmverbundsystemen, Glaskonstruktionen und Gerüsten wahrgenommen.

In Kooperation mit einem Kunden wurde 2006 in der Großversuchshalle eine Fallhammeranlage installiert, die mit ihren wesentliche Daten nachfolgend dargestellt ist. Mit dieser Anlage sollen neue Aufgabenfelder in den Bereichen Fahrzeugtechnik und Crashesicherheit erschlossen werden.



Fallturm im EG



Testkammer im Fundamentbereich mit Fallmasse

Schnitt durch die Anlage

Technische Daten der Fallanlage:

Fallgewicht: 500 kg bis 2100 kg  
 Maximale Fallhöhe: 9 m  
 Maximale Aufprallgeschwindigkeit: 13 m/s  
 Maximal einzubringende Energie: 185 kJ

Die Fallanlage wurde an der MPA in Kooperation mit der Falk Schneider Ingenieurdienstleistungen (FSI) aufgestellt. Sie kann durch beide Partner gleichberechtigt genutzt werden.

Fallturm in der Großversuchshalle der Abteilung Baukonstruktionen und Bauteilprüfung

<b>Abteilung Werkstofftechnik:</b> Dr.-Ing. A. Klenk Tel.: 685/ -63968 E-Mail: andreas.klenk@mpa.uni-stuttgart.de
Referat Schwingprüfung: Dr.-Ing. G. Schellenberg
Referat Werkstoffprüfung: Dr.-Ing. A. Klenk
Referat Stoffgesetze: Dr.-Ing. A. Klenk
Referat Komponentenprüfung: Dr.-Ing. W. Stadtmüller

Die Haupttätigkeitsfelder der Abteilung Werkstofftechnik liegen in den Bereichen Werkstoff- und Bauteilprüfung sowie Entwicklung numerischer Beschreibungen für das Werkstoff- und Bauteilverhalten. Die Abteilung ist in die Referate Werkstoffprüfung, Schwingprüfung, Bauteilprüfung und Stoffgesetze gegliedert, die sich schwerpunktmäßig mit Werkstoffprüfungen bei erhöhten Temperaturen unter statischer und Kriechermüdungsbeanspruchung, Werkstoff- und Bauteilprüfungen bei schwingender Beanspruchung, Innendruck- und Großbauteilprüfungen sowie Entwicklung und Anwendung von Werkstoffbeschreibungen in erster Linie in numerischen Berechnungen mit der Finite-Elemente-Methode befassen.

Im Jahr 2006 wurden hierzu eine Vielzahl von Aufträgen aus der Industrie abgewickelt, die von Standardprüfungen zur Ermittlung der Schwingfestigkeit von Aluminiumlegierungen für Kolben und andere Automobilbauteile über Innendruckprüfungen an Komponenten von Common-Rail-Einspritzsystemen bis zur komplexen Prüfung von Membranwandbauteilen für Dampfkessel bei schwingender Beanspruchung reichen. Darüber hinaus erfolgte Beratung in Fragen der Werkstoffauswahl und -beurteilung für unterschiedlichste Anwendungsbereiche. Berechnungen für warmgehende Bauteile in Dampfkesseln bildeten einen weiteren Schwerpunkt.

Neben den nachfolgend beschriebenen Forschungsaktivitäten zur Werkstoffqualifizierung und Bauteilsimulation für bei hoher Temperatur beanspruchte Bauteile wurden im Jahr 2006 eine Reihe von Großversuchen an Rohren durchgeführt, die im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur Klärung der Wirkung von Radiolysegasdetonationen in Rohrleitungen beitragen. Der Ablauf dieser hochdynamischen Vorgänge konnte dabei mit Hilfe moderner Messtechnik detailliert nachvollzogen werden.

### **Werkstoffe für das 700°C Kraftwerk**

Im Bereich Forschung und Entwicklung lag ein wesentlicher *Schwerpunkt auf der Entwicklung und Werkstoffqualifizierung für hocheffiziente Kohlekraftwerke*. Vor dem Hintergrund, dass in den nächsten 20 Jahren in Europa ein Bedarf für rd. 300000 MW elektrischer Leistung entstehen wird, der in erster Linie durch den Einsatz von hocheffizienten Gas- und Dampf-Kraftwerken geschlossen werden muss, ist eine konsequente Anwendung neuer Technologien bei diesen Kraftwerken notwendig, auch um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Energieerzeugungsanlagen zu senken. Die Realisierung höchster Wir-

kungsgrade in Dampfkraftwerken wird wesentlich von den Entwicklungen in der Werkstofftechnik beeinflusst, da bei der Anhebung der Dampfparameter auf Temperaturen im Bereich bis 720 °C dem Werkstoff eine zentrale Bedeutung zukommt. Die Kompetenz der MPA Universität Stuttgart bei der beanspruchungsgerechten *Qualifizierung und Optimierung von modernen Werkstoffen* und der *numerischen Simulation* der spezifischen Bauteilbeanspruchungen zur Ermittlung hochbeanspruchter Bauteilbereiche, der Optimierung des Designs und der Darstellung der Schädigungsentwicklung, der Versagenszeit und des Versagensortes fließt derzeit in mehrere Projekte ein:

Im Projekt MARCKO 700, das im Jahr 2005 begonnen wurde, wird die gesamte für Kessel- und Rohrleitungskomponenten notwendige Werkstoffpalette vom 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>%- Chromstahl T24 über martensitische Stähle bis zur Nickelbasis-Legierung unter einsatzrelevanten Bedingungen qualifiziert. An der MPA Stuttgart wurde hierzu ein Prüfstand eingerichtet, in dem Membranwandabschnitte unter Wasserdampfbedingungen bei Temperaturen bis zu 700°C geprüft werden können, Bild 1. Ein Projekt, das die Bestimmung der langzeitigen Eigenschaften eines neuen kobalthaltigen 12%-Chromstahls und dessen Schweißverbindungen zum Inhalt hatte, wurde im Jahr 2005 abgeschlossen.

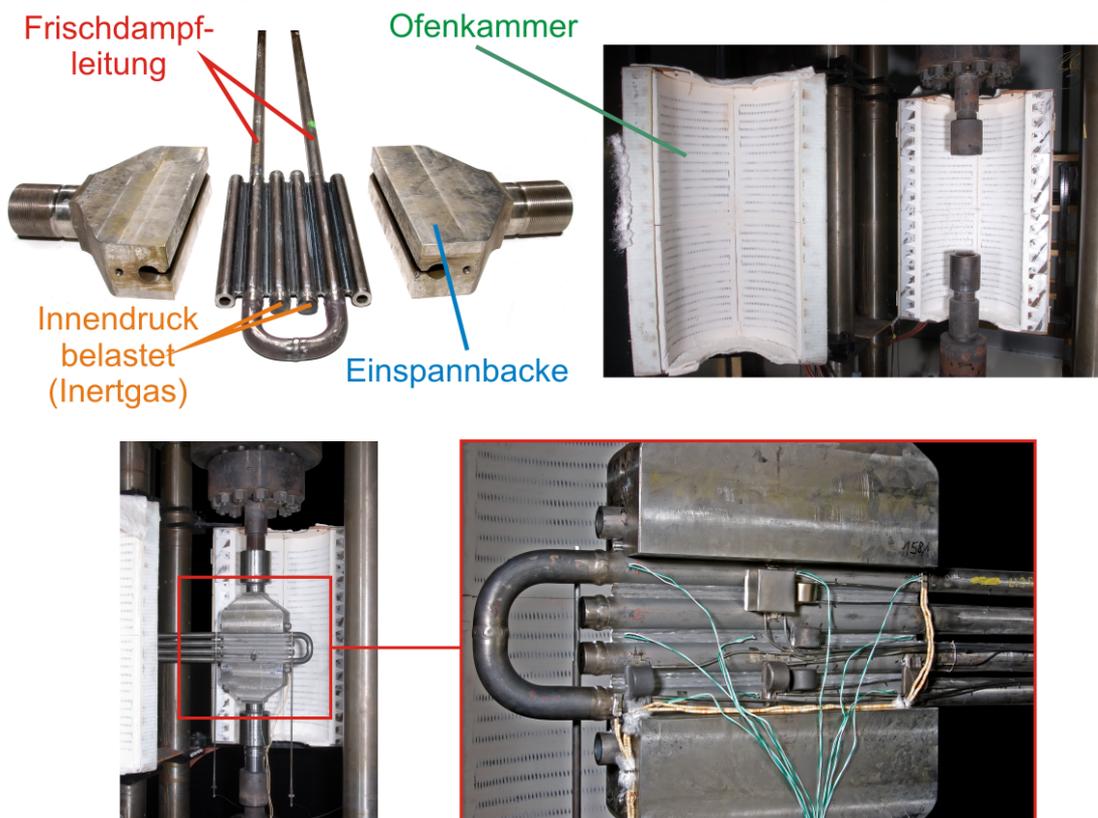


Bild 1: Membranwandprüfstand zur Prüfung von Kesselbauteilen unter betriebsähnlichen Beanspruchungsbedingungen

Zwei weitere Projekte der Abteilung im Rahmen dieser Thematik werden innerhalb der neuen Forschungsinitiative KW21 (Kraftwerke des 21. Jahrhunderts) der Länder Baden-Württemberg und Bayern durchgeführt. Im Projekt DT6 werden Fragestellungen zu Schweißverbindungen von Turbinenbauteilen für das 700°C Kraftwerk betrachtet, das in

Zusammenarbeit mit dem Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen bearbeitete Projekt DE1 entwickelt und verifiziert Algorithmen zur Simulation der Lebensdauer unter Berücksichtigung von realen Feuerraumbedingungen und Auswirkungen von Korrosion und Oxidation auf Kesselbauteile.

Innerhalb der Coorettec-Initiative ist die MPA Universität Stuttgart an verschiedenen Projekten, z.B. zur Qualifizierung von Schmiedeteilen aus Nickelbasislegierungen und martensitischen Werkstoffen, zur Untersuchung von Korrosion und Verschlackung in Kesselbauteilen, zur Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfverfahren für Nickelbasislegierungen und deren Schweißverbindungen sowie an zwei Vorhaben zur Auslegung und Berechnung von Turbinenbauteilen für das Hocheffizienzkraftwerk beteiligt (s. auch S. 63).

### ***Numerische Simulation der Bauteilbeanspruchung und der Schädigungsentwicklung***

Die Anwendung analytischer Berechnungsmethoden stößt bei komplexen Beanspruchungssituationen, wie z. B. der Überlagerung von Kriechen und Ermüden oft an ihre Grenzen. Das Ziel der numerischen Simulation ist es, das temperatur- und zeitabhängige globale und lokale Bauteilverhalten exakt im Hinblick auf Spannungs- und Verformungszustände zu beschreiben. Schwerpunkt hier war die Beschreibung des inelastischen Werkstoffverhaltens unter mehrachsiger Beanspruchung mit Hilfe fortgeschrittener Werkstoffgesetze, welche die Wechselwirkung zwischen Kriechen und Ermüden erfassen können, wie das Modell nach Chaboche-Nouailhas. Dieses wie auch auf Kriechgleichungen basierende Stoffgesetze offerieren in der Anwendung in Finite-Elemente-Programmen erweiterte Möglichkeiten, das Schädigungsverhalten in die Werkstoffgesetzmäßigkeit einzubeziehen. Für die bislang auf phänomenologischer Basis arbeitenden Schädigungsparameter werden derzeit im Rahmen des Vorhabens „Schädigungsentwicklung“ Gesetzmäßigkeiten zur Quantifizierung und Beschreibung mikrostruktureller Befunde zur Schädigung ermittelt und umgesetzt. Mit den Modellen wird es möglich, hochbeanspruchte Bauteilbereiche zu ermitteln und auf dieser Grundlage eine Optimierung des Designs und die Darstellung der Schädigungsentwicklung, der Versagenszeit und des Versagensortes vorzunehmen.

### **Schweißverbindungen in bei hoher Temperatur beanspruchten Bauteilen**

Insbesondere bei ferritischen und ferritisch-martensitischen Stählen stellt die durch die Temperaturbeeinflussung beim Schweißen entstehende äußere Wärmeeinflusszone (Feinkornzone) eine kritische Stelle in Bezug auf das Bauteilverhalten bei erhöhten Temperaturen dar. Aus diesem Grund widmen sich mehrere Studien der Charakterisierung und der Optimierung von Schweißverbindungen. In einem von der AVIF geförderten Vorhaben wurde ein Verfahren entwickelt, in dem mit Hilfe der Modellierung der relevanten Werkstoffeigenschaften in allen beteiligten Werkstoffbereichen (Grundwerkstoff, Schweißgut sowie drei Bereiche der Wärmeeinflusszone mit unterschiedlicher (Kriech-)Festigkeit) eine genauere Charakterisierung von Bauteilen und eine Optimierung der Schweißverbindung ermöglicht wird. Derzeit laufen hierzu Bauteilversuche an innendruckbeanspruchten Rohren zur Validierung der Methode, Bild 2.

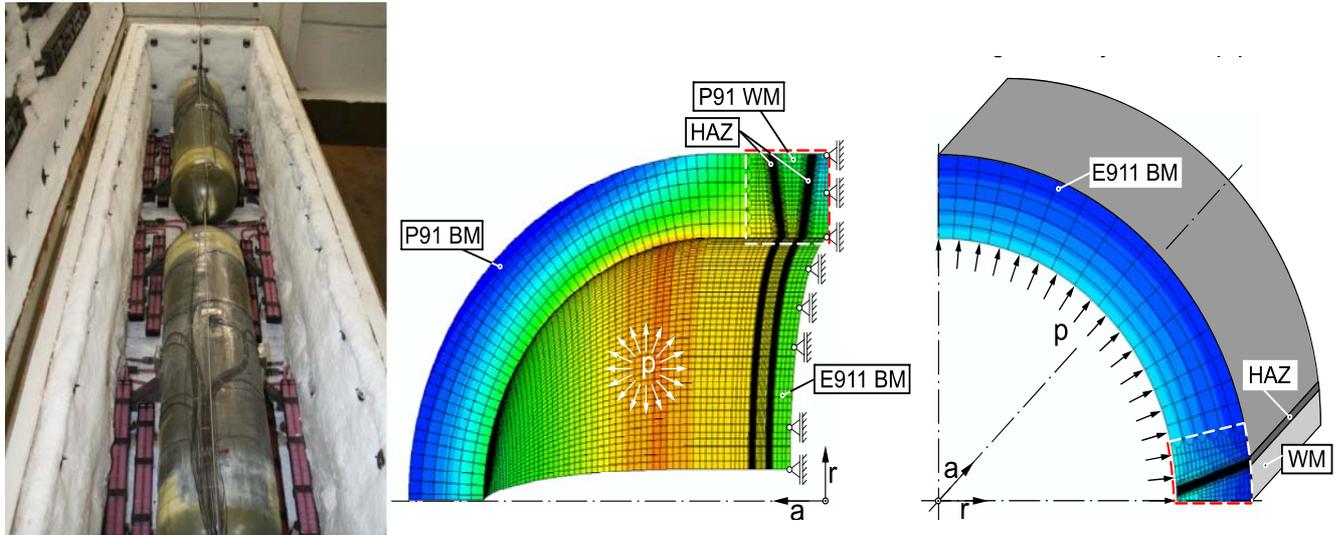


Bild 2: Numerische Simulation von Schweißverbindungen in Bauteilen und Bauteilversuch zur Validierung an längs- und quergeschweißten Rohren der Abmessungen  $\text{ä}\varnothing 355 \text{ mm}$ , Wanddicke  $t = 42 \text{ mm}$ .

## Fachbereich Berechnung, Auslegung und Betriebsverhalten (Leitung: Prof. Dr.-Ing. E. Roos)

### Abteilung Berechnung:

Dipl.-Ing. X. Schuler / Dr.-Ing. L. Stumpfrock

Tel.: 685/ -62601 bzw. -63041

E-Mail: xaver.schuler@mpa.uni-stuttgart.de

ludwig.stumpfrock@mpa.uni-stuttgart.de

Referat Mikrostrukturmechanik, Nanosimulation: Dr. rer. nat. E. Soppa

Referat Schädigungsmodelle: NN

Referat Numerische Bauteilanalyse: Dr.-Ing. L. Stumpfrock

Referat Beanspruchungsanalyse und Integritätsbewertung: Dr.-Ing. K.-H. Herter,  
Dr.-Ing. U. Eisele

### EU-Vorhaben SAFEPINES: Safety Assessment and Lifetime Management of Industrial Piping Systems

Ein wesentliches Ziel beim Betrieb industrieller Anlagen ist es, unter Einhaltung ausreichender Sicherheitsanforderungen die betrieblichen Maßnahmen so zu optimieren, dass eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Vor diesem Hintergrund gewinnen im Anlagenbau und der Kraftwerkstechnik Risikoabschätzungen und Konzepte

der zustandsorientierten Instandhaltung und damit verbundene Monitoring-Systeme zunehmend an Bedeutung.

Die übergeordnete Zielsetzung des im 6. EU-Rahmenprogramm laufenden EU-Vorhabens "SAFE-PIPES" ist, ein vollständig integriertes Überwachungssystem - Structural Health Monitoring System (SHM) und Decision Support System - zu entwickeln. Damit soll die Möglichkeit geschaffen werden, online die Sicherheit und Verfügbarkeit von Rohrleitungssystemen des chemischen Anlagenbaus und der Kraftwerksindustrie zu bewerten. Dabei spielt auch die Integritätsbewertung nicht zugänglicher Stellen eine große Rolle. Investitionen in Wartung, Inspektion und Verfügbarkeit sollen im Hinblick auf einen wirtschaftlichen Betrieb reduziert und risikobehaftete Unfälle für Mensch und Umwelt vermieden werden. Turnusmäßige wiederkehrende Prüfungen sollen durch eine zustandsorientierte Instandhaltung abgelöst werden.

Im Konsortium werden die Zielvorgaben durch die sogenannten „end user“, hier die Betreiber von Kraftwerks- und Chemieanlagen (EDF, RWE und DOW CHEMICAL) formuliert. Die Umsetzung und Entwicklung erfolgt durch Forschungsinstitutionen und Ingenieurbüros aus Österreich, Deutschland, Russland und Polen unter Koordination des Ingenieurbüros Vienna Consulting Engineers (VCE).

#### Dimension of Piping Section

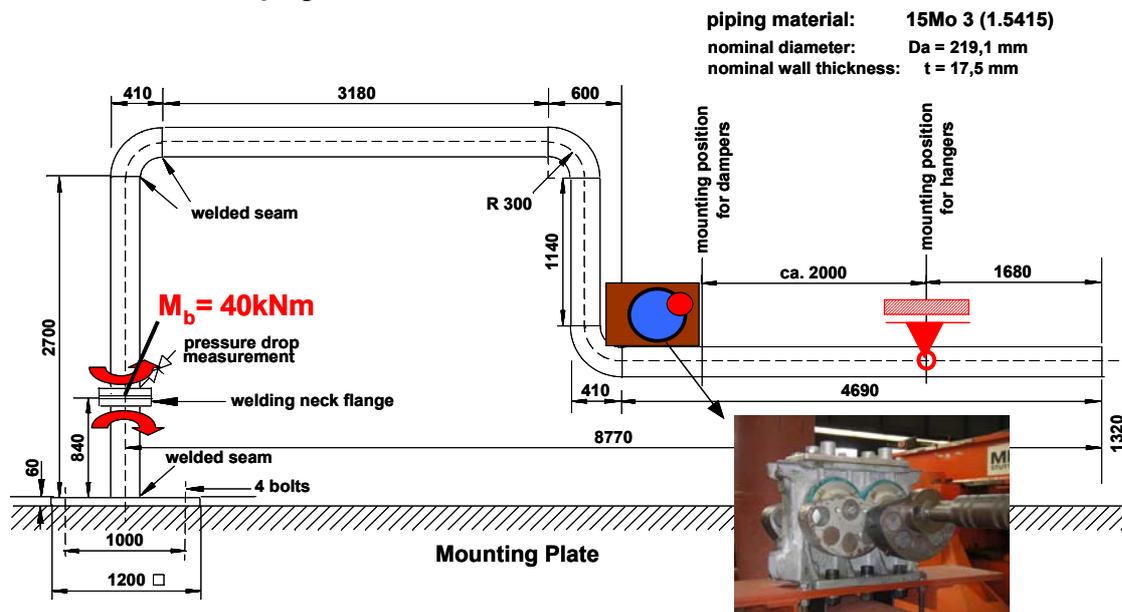


Bild 1: Rohrleitungsabschnitt (Mock-up) mit Shakeranregung

Die verwendeten Verfahren der Zustandsanalyse basieren neben der Analyse von Online-Betriebsmessdaten, wie Druck, Temperatur, Verschiebungen etc. vor allem auf dynamischen Mess- und Kenngrößen (Modalparametern). Mittels Model-Updating werden Berechnungsmodelle an den Ist-Zustand angepasst, um zuverlässige Lebensdauerprognosen zu liefern. Darüber hinaus wird an der Entwicklung neuartiger Sensorik (Piezofolien, geführte Wellen, etc.) gearbeitet, um diese bauteilgerecht und entsprechend den vorliegenden Umgebungsbedingungen, wie hohe Temperaturen, Umwelteinflüsse und aggressive Medien, einsetzen zu können.

Zur Simulation von Schädigungen in den Komponenten und Erprobung des SHM-Systems sowie der Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Lagerungskonfigurationen und Dämpfungsmechanismen wurde ein realitätsnaher dickwandiger Rohrleitungsabschnitt eines Kraftwerkes, sog. Mock-up, an der MPA Universität Stuttgart aufgebaut, vgl. Bild 1.

Nicht zuletzt ist für ein funktionierendes Lebensdauermanagement die Kenntnis der Materialeigenschaften und möglicher Schädigungsmechanismen von ausschlaggebender Bedeutung. Ausführliche Untersuchungen und Erprobungen werden derzeit an einem ca. 30 m hohen Rohrleitungsreaktor der Chemieindustrie durchgeführt. Zur Erweiterung des Kenntnisstandes zum Werkstoffverhalten werden an der MPA Universität Stuttgart Proben aus einem nach Langzeitbetrieb ausgebautem Krümmer, Bild 2 oben, aus einer hochbeanspruchten Stelle entnommen und auf ihre Restlebensdauer hin unter-

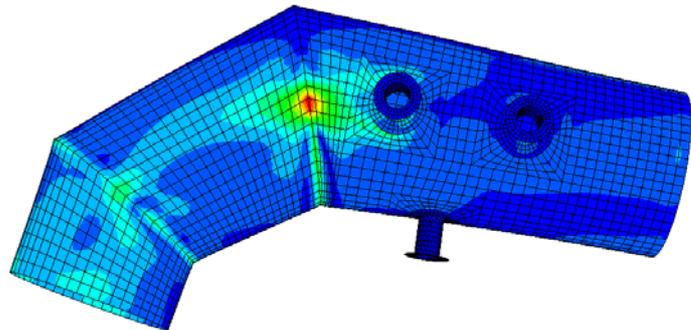


Bild 2: Ausgebauter Krümmer und FE-Modell

sucht. Zuvor wurde mit Hilfe einer Finite-Elemente Analyse (FEA) für eine betriebsnahe Biegeschwingung die Stelle höchster Beanspruchung ermittelt.

### **Lebensdauer- und Alterungsmanagement in Kraftwerksanlagen**

Die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von industriellen Anlagen der unterschiedlichsten Industriebereiche werden maßgeblich von der Qualität der eingesetzten Komponenten und Systeme im Betrieb bestimmt. Dabei ist im Bereich der Energieerzeugungsanlagen das wesentliche Ziel der Betreiber, die Kraftwerke dauerhaft sicher und mit hoher Verfügbarkeit zu betreiben.

Um dieser Zielsetzung gerecht zu werden ist es erforderlich, Maßnahmen zum Lebensdauermanagement durchzuführen. Dies beinhaltet je nach sicherheitstechnischer oder wirtschaftlicher Relevanz der eingesetzten Systeme und Komponenten Nachweise und Maßnahmen zur Gewährleistung der Integrität, zur zeit- bzw. zustandsorientierten vorbeugenden Instandhaltung oder zur ausfallorientierten Instandhaltung. Soll die Instandhaltungsstrategie optimiert werden, ohne die Sicherheit und Verfügbarkeit in unzulässiger Weise zu mindern, müssen Betriebsdaten vorliegen, die es ermöglichen, die Restlebensdauer hinreichend genau zu quantifizieren. Nur so ist es möglich, die Lebensdauerreserve soweit wie möglich auszuschöpfen, ohne das Versagensrisiko der Gesamtanlage unzulässig zu vergrößern, Bild 3.

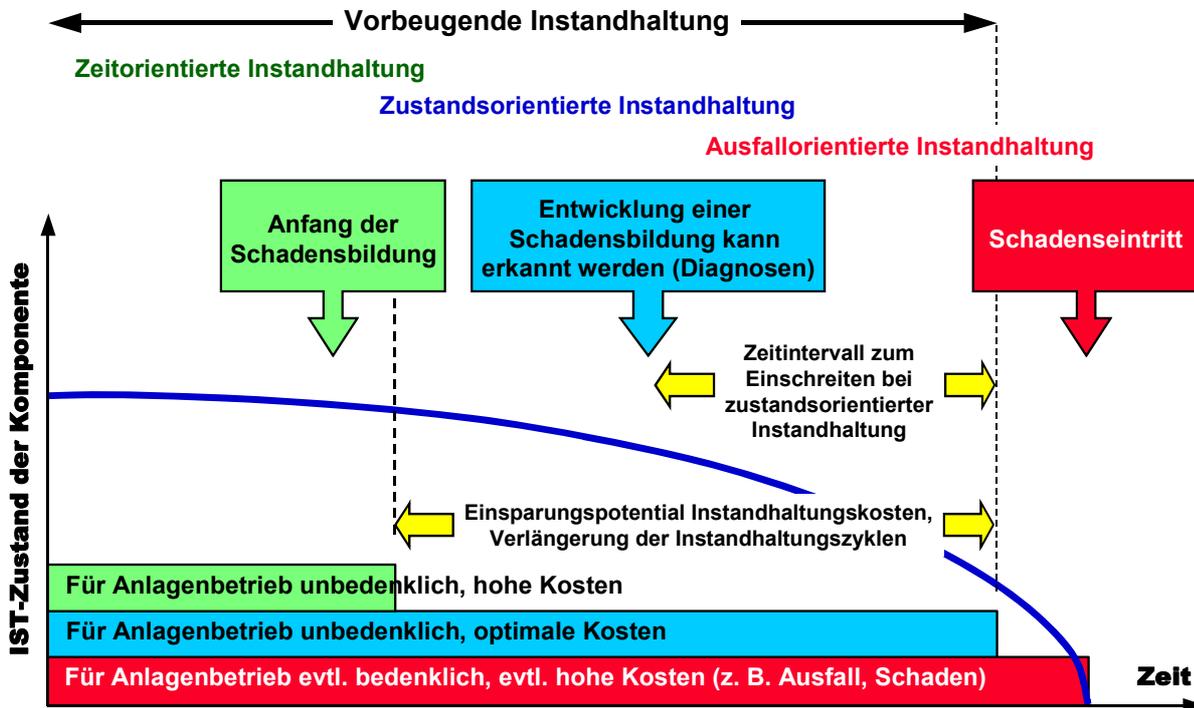


Bild 3: Lebensdauerreserven bei unterschiedlichen Instandhaltungskonzepten

Zu dieser Thematik wurden im Jahr 2006 von der Abteilung Berechnung mehrere grundlegende konzeptionelle Arbeiten durchgeführt und publiziert. Unter anderem wurde damit begonnen, eine Leitlinie zum Alterungsmanagement (AM) in Kernkraftwerken im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg und in Zusammenarbeit mit der TÜV SÜD Energietechnik GmbH Baden-Württemberg (TÜV SÜD ET) zu erstellen. Darin wird die Vorgehensweise bei der Anwendung des AM bei mechanischen Komponenten und Systemen, bei Bauwerken und bautechnischen Komponenten sowie bei elektro- und leittechnischen Komponenten in Kernkraftwerken in Form von Leitsätzen beschrieben. Wesentliche Inhalte sind dabei

- die Festlegung des Betrachtungsumfangs durch Eingruppierung der Systeme, bautechnischen Anlagenteile und Komponenten (SSC) entsprechend deren sicherheitstechnischer Bedeutung zur Einhaltung der Schutzziele,
- die Beschreibung und Bewertung der im Betrieb möglichen relevanten Alterungsphänomene,
- die Festlegung und Durchführung von Maßnahmen zur Beherrschung der relevanten Alterungsphänomene über die gesamte Betriebszeit sowie
- die Bewertung der Wirksamkeit des Alterungsmanagements.

Die Eingruppierung der SSC erfolgt dabei im wesentlichen anhand folgender Kriterien (s.a. Bild 4):

- SSC dürfen über die gesamte Betriebszeit nicht versagen (Gruppe 1).
- SSC oder Teile von SSC dürfen im Einzelfall versagen. Ein systematischer Fehler ist aber auszuschließen (Gruppe 2).

- SSC erfordern keine Nachweise bezüglich sicherheitstechnischer Anforderungen (Gruppe 3).

	Alterungsmanagement (AM)		Gruppe 3	
	Gruppe 1	Gruppe 2		
<b>Mechanische Komponenten und Systeme</b>	Gruppe M1 <i>Integritätskonzept</i>	Gruppe M2 <i>kein systematischer Fehler</i>	Gruppe M3 <sup>*)</sup> <i>keine sicherheitstechnischen Anforderungen</i>	
<b>Bauwerke und Bauwerksteile</b>	Gruppe B1		Gruppe B3 <sup>*)</sup> <i>keine sicherheitstechnischen Anforderungen</i>	
	Gruppe B1a <i>Standsicherheit, Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit, Ermüdungsfestigkeit</i>	Gruppe B1b <i>Standsicherheit</i>		Gruppe B2 <i>kein systematischer Fehler</i>
<b>Elektro- und leittechnische Komponenten</b>	Gruppe E1 <i>nicht anwendbar</i>	Gruppe E2		Gruppe E3 <i>keine sicherheitstechnischen Anforderungen, aber Berücksichtigung bei statistischen Auswertungen</i>
		Gruppe E2a <i>Auslegungsstörungsfestigkeit, Funktion, kein systematischer Fehler</i>	Gruppe E2b <i>Funktion, kein systematischer Fehler</i>	

\*) Diese Gruppen werden im Rahmen des Lebensdauermanagements betrachtet und sind nicht Gegenstand des AM

Bild 4: Allgemeine Anforderungen an die Eingruppierung der SSC

Dabei ist das AM prozessorientiert umzusetzen und organisatorisch in den betrieblichen Ablauf, in Verbindung mit der für die Sicherheit verantwortlichen Betriebsleitung, einzubinden. Die prozessorientierte Vorgehensweise ist nach den Grundsätzen eines PDCA Prozesses (Plan – Do – Check – Act) zu gestalten, Bild 5. Ein Zentraler Bestandteil des AM-Prozesses bildet die Wissensbasis des Kernkraftwerks, in der die für das AM erforderlichen Daten, Unterlagen, Kenntnisse und Bewertungen enthalten sind und fortlaufend aktualisiert werden.

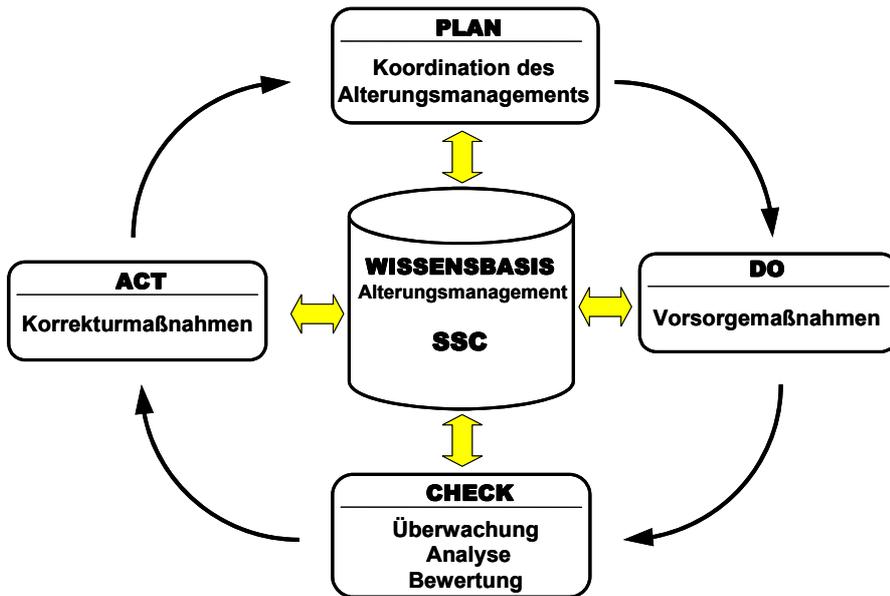


Bild 5: PDCA-Prozess (Planung - Umsetzung - Kontrolle - Maßnahmen)

### Weitere Aktivitäten in Kürze

Durchführung von Werkstoffqualifikationsprogrammen zur

- Qualifizierung hochfester Stähle und deren Schweißverbindungen für den Einsatz in druckführenden Komponenten von Wasserkraftanlagen
- Qualifizierung von Aluminiumwerkstoffen in der Fahrzeugtechnik

Im Rahmen der Bundesforschung wurde mit der Durchführung folgender BMWA Forschungsvorhaben begonnen:

- Nachweis der Ermüdungsfestigkeit bei kerntechnischen Komponenten aus ferritischen und austenitischen Werkstoffe,
- Anwendbarkeit technischer Ersatzkennwerte für duktile Rissinitiierung in Abhängigkeit von der Mehrachsigkeit des Spannungszustandes
- Darstellung und Quantifizierung des Versagensablaufs rissbehafteter Mischnaht-Schweißverbindungen
- Gutachterliche Bewertung von Lager- und Transportbehältern für spaltbare radioaktive Stoffe.

**Abteilung Beanspruchungsanalysen:**

Dr.-Ing. H. Kockelmann

Tel.: 685/ -62578

E-Mail: hans.kockelmann@mpa.uni-stuttgart.de

Referat Dichtungstechnik: Dipl.-Ing. R. Hahn

Referat Experimentelle Spannungsanalyse: Dipl.-Ing. S. Haas

Referat Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung: Dipl.-Phys. U. Mayer, Dipl.-Ing. K.-W. Hippelein

Die Tätigkeiten in der Abteilung „Beanspruchungsanalysen“ beinhalten schwerpunktmäßig Dienstleistungen an Bauteilkomponenten des Maschinen- und Anlagenbaus für Betreiber von Energieerzeugungsanlagen (konventionelle und nukleare Kraftwerkstechnik) und (Petro-) Chemieanlagen, die technische Überwachung im Auftrag von Aufsichtsbehörden, gutachterliche Tätigkeiten sowie Forschungsarbeiten.

Die Abteilung „Beanspruchungsanalysen“ verfügt über fortschrittliche analytische und experimentelle Methoden zur Ermittlung von Beanspruchungen (Spannungen, Verformungen, Verschiebungen, Beschleunigungen, Temperaturen, u.a.) in mechanischen Komponenten des Maschinen- und Anlagenbaus, der Verkehrstechnik u. a. m., auch unter extremen Bedingungen (z. B. hohe Beanspruchungsgeschwindigkeit und kritische Umgebungsbedingungen). Des weiteren unterhält die Abteilung ein leistungsfähiges Labor für die Untersuchung von Elementen für Dichtverbindungen in der Anlagentechnik (Flanschverbindungen, Mann- und Handlöcher in druckführenden Rohrleitungen und Apparaten; Stopfbuchsabdichtungen in Armaturen).

Die Abteilung „Beanspruchungsanalysen“ ist vom DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH nach DIN EN ISO/IEC 17025:2000 für alle verfügbaren Methoden der experimentellen Beanspruchungsanalyse und für die Dichtungsprüfung akkreditiert, vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA-P 00018-95), der taiwanesischen Behörde MOTC (DE-08-07-0) und der Zentralstelle der Länder für Sicherheitstechnik (ZLS-P-150/97) für die Zulassungsprüfung von Rückhaltesystemen (auch mit Airbag und Gurtstraffern), Kindersitzen, Motorradhelmen und die Prüfung anderer Schutzhelme nach Geräte- und Produktsicherheitsgesetz bzw. der EU-Richtlinie für persönliche Schutzausrüstungen. Für die Prüfung von Dachgepäckträgern und Ladegutsicherungen wird die dynamische Schlittenprüfung eingesetzt.

**Einige Schwerpunkte der Aktivitäten im Jahre 2006**

- Optimierung der Auslegung von Flanschverbindungen mit Flanschen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK):  
Hierzu wurde ein von AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V.) und DECHEMA (Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.) gefördertes Forschungsvorhaben durch-

geführt (Laufzeit bis Ende Juli 2007), mit dem die Grenzen dieser Art von Flanschverbindungen durch den Einsatz von Verbund-Dichtungen auf Basis von PTFE (Ersatz bisher eingesetzter Dichtungen auf Basis von Gummi) in chemischen Anlagen (Medium und Temperatur) erweitert werden sollen. Die Erfahrung seitens der chemischen Industrie zeigt, dass mit bisher verfügbaren Dichtungen auf der Basis von PTFE eine Auslegung z.B. nach AD-Merkblatt N1 „Druckbehälter aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK)“ mit den dort angegebenen Sicherheitsbeiwerten und Werkstoffabminderungsfaktoren (Größenordnung 10) in vielen Fällen nicht möglich ist.

- Nachweis der Ausblassicherheit von Flanschdichtungen:  
Hierzu wurde ein von AiF und DECHEMA gefördertes Forschungsvorhaben durchgeführt (Laufzeit bis Ende März 2007). Zielsetzung des Forschungsvorhabens ist die Festlegung der Randbedingungen zur Bewertung der Ausblassicherheit von Flanschverbindungen und deren Definition sowie die Entwicklung einer praxisrelevanten, reproduzierbaren und zertifizierbaren bzw. standardisierbaren Prüftechnik für den Nachweis der Ausblassicherheit. Weiterhin werden alle gängigen, von der Medienbeständigkeit her geeigneten Dichtungsarten und -bauformen (Maßnormreihe DIN EN 1514 bzw. DIN EN 12560) hinsichtlich ihres Potenzials bzgl. Ausblassicherheit klassiert. So soll dem Dichtungshersteller und Anwender die gezielte und verlässliche Auswahl ausblassicherer Dichtungen ermöglicht werden.
- Erstellung verschiedener sicherheitstechnischer Gutachten zu behälterspezifischer Fragen der Aufbewahrung von verglastem hochradioaktivem Abfall (Glaskokillen) in Transport- und Lagerbehältern
- Durchführung dynamischer Finite-Elemente-Berechnungen für Störfallszenarien im Zusammenhang mit Transport- und Lagerbehältern
- Schwingungsanalysen an MAUT-Brücken und Rohrleitungen des Anlagenbaus: Im 6. EU-Rahmenprogramm wird mit dem EU-Vorhaben „SAFE-PIPES“ ein komplett integriertes Überwachungssystem „Structural Health Monitoring System (SHM)“ und „Decision Support System“ entwickelt. Damit sollen online die Sicherheit und Verfügbarkeit von Rohrleitungssystemen des chemischen Anlagenbaus und der Kraftwerksindustrie - sowohl in nuklearen als auch konventionellen Kraftwerken - bewertet werden können.
- Messtechnische Untersuchungen und numerische Analysen höchstdynamischer Beanspruchungszustände im Rahmen des Forschungsvorhabens „Analyse von Radiolysegasdetonationen“

### **Sonstige Neuigkeiten**

- Erfolgreiche Akkreditierung der Prüfung von Rückhaltesystemen durch die taiwanische Behörde MOTC
- Inbetriebnahme eines neuen Klimaschranks
- Erfolgreicher Einsatz einer neuen Hochgeschwindigkeitskamera

- Gewinnung neuer Kunden für die Zulassung von Kinderrückhaltesystemen
- Das „Kompetenzzentrum Dichtungstechnik an der Universität Stuttgart“ wurde gemeinsam von der MPA Stuttgart und Institut für Maschinenelemente (IMA) gegründet. Die Strategie basiert auf einer engen Verzahnung zwischen den Bereichen Forschung, Lehre und Industrie. Neben Grundlagenforschung wird vor allem angewandte Forschung betrieben, bei der höchster Wert auf Praxisbezug gelegt wird. Es besteht langjährige Erfahrung sowohl auf den Gebieten statischer als auch dynamischer Dichtungstechnik.

Zu den Zielgruppen des „Kompetenzzentrums Dichtungstechnik“ gehören Maschinenbau-, Fahrzeug-, Luftfahrt-, Kraftwerks-, chemische und petrochemische Industrie und der Anlagenbau. Arbeitsschwerpunkte sind:

- analytische, numerische und experimentelle Untersuchungen an Dichtelementen und Dichtsystemen für deren Funktionsnachweis
- Konstruktive und werkstofftechnische Optimierung von Dichtelementen und Dichtsystemen
- Tribologische Untersuchungen hinsichtlich Reibung, Verschleiß, Dichtheit und Oberflächen-Topographie
- Ermittlung von Dichtungskennwerten für Berechnung und Qualitätssicherung
- Entwicklung und Optimierung anwendungsspezifischer Prüftechnik
- Anwendungstechnische Beratung
- Begutachtung von Schadensfällen

**Abteilung Lebensdauermanagement:**

Dr. A. Jovanovic

Tel.: 685/ -63007

E-Mail: [aleksandar.jovanovic@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:aleksandar.jovanovic@mpa.uni-stuttgart.de)

Referat Betriebsdatenmanagement: Dipl.-Ing. D. Balos

Referat: Überwachungssysteme:NN

Die Abteilung befasst sich schwerpunktmäßig mit der Optimierung der Instandhaltung, der Lebensdauer und dem Lebensdauermanagement von Industrieanlagen (z.B. Kraftwerke, Prozessanlagen) mittels moderner Methoden der Überwachung und Analyse. Dabei stehen die Anforderungen der Industrie wie: Senkung der Betriebs- und Wartungskosten, Optimierung des Lebensdauermanagements bzw. der Instandhaltungsstrategie, Steigerung der Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit, Vermeidung von Schadensfällen und die Verlängerung der Betriebszeit ganz im Vordergrund.

## **Fachbereich Erhaltung von Bauten und Anlagen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. U. Nürnberger)**

<b>Abteilung Bautenschutz und Bauchemie:</b> Dr. rer. nat. G. Volland / Dr. rer. nat. G. Grassegger-Schön Tel.: 685/ -66740 bzw. -62705 E-Mail: gerhard.volland@mpa.uni-stuttgart.de gabriele.grassegger@mpa.uni-stuttgart.de
Referat Analytik, Umweltschutz: Dr. rer. nat. G. Zöltzer
Referat Bautenschutz, Denkmalschutz: Dr. rer. nat. G. Grassegger-Schön, Dr. rer. nat. F. Grüner
Referat Wasserstoffeinfluss: Dr. rer. nat. P. Deimel

### **Referat Analytik, Umweltschutz**

Die Tätigkeit des Referats Analytik, Umweltschutz im Jahr 2006 war geprägt von wesentlichen personellen Änderungen im Referat. Im Vordergrund der Arbeiten standen jedoch weiterhin Arbeiten zur Untersuchung der Wirkung von schwer flüchtigen organischen Verbindungen in Bauprodukten, hier vor allem Weichmachern auf Basis von Phthalaten, auf Innenraumluft und Hausstaub. In Zusammenarbeit mit dem Landesgesundheitsamt und dem Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Tübingen werden die Belastung von Innenraumluft und Hausstaub mit Phthalaten korreliert mit der Belastung von Körperflüssigkeiten (Urin) mit Phthalaten. Ziel ist es die Wirkung der Quellen des Innenraums in Bezug auf die Gesamtbelastung durch Phthalate abzuleiten. Zunehmend von Interesse wurde das Problemfeld Feinstaub im Innenraum. Dazu wurden in Zusammenarbeit mit dem Landesgesundheitsamt Studien zur Entwicklung einer Messstrategie für Feinstaub im Innenraum durchgeführt. Daneben wurden Sanierungsmaßnahmen für schadstoffbelastete Gebäude begleitet und Sanierungskonzepte weiter entwickelt. Im Zusammenarbeit mit der Abteilung Holzbau wurde ein Verfahren zur Identifizierung des Leimtyps von Brettschichtholz entwickelt. Basierend auf Infra-Rot-Spektrometrie können damit die tatsächlich eingesetzten Leime dieser Hölzer aus Bohrkernproben sicher charakterisiert werden. Zweiter Schwerpunkt blieb die Untersuchung von Schadensfällen an Bauprodukten im Zusammenhang mit der Wirkung organischer Substanzen auf unterschiedlichste Materialien.

### **Referat Bautenschutz, Denkmalschutz**

Im Jahr 2006 setzte das Referat seine erfolgreiche Arbeit zur Begutachtung von Schadensfällen im Bereich Baudenkmäler mit dem Schwerpunkt auf Konstruktionen aus Natursteinen, mineralischen Baustoffen und historischen Baustoffe fort und tätigte Voroder Begleituntersuchungen zu großen Sanierungsmaßnahmen und Mustersanierungen. Die Untersuchungen erfolgten überwiegend an denkmalgeschützten Bauwerken im In- und Ausland. Die Arbeit des Referats umfasst auch Untersuchungen von modernen

Bauteilen und Baustoffen (Zemente, Beton etc.) im Bereich der Korrosion (Zerstörung) und des Bautenschutzes dieser Baustoffe. Von besonderer Bedeutung waren Untersuchungen an KSE-Steinverfestigern als Vorarbeiten für ein entsprechendes Verbundforschungsvorhaben im Jahr 2007. Die Schadensuntersuchungen basieren auf technischen, chemisch-analytischen und physikalische Verfahren und Messungen. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden objektbezogene Sanierungsempfehlungen entwickelt. Die Arbeitsgruppe stand somit einem breiten Spektrum von Kunden zur Verfügung, die über Denkmalpflegeorgane, Bauherren, Baustoffhersteller, Baufirmen bis zu Kirchen- und Schlossverwaltungen reichte. Außerdem plante und beantragte das Referat die Beteiligung an mehreren Forschungsvorhaben im Bereich Denkmalschutz und unterstützte andere MPA-Bereiche durch ergänzende analytische Untersuchungen und Messungen. Gemeinsam mit dem IWB wurden zwei Diplomanden der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften betreut. Traditionsgemäß wurde die gut besuchte Tagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2006“ abgehalten.

### **Referat Wasserstoffeinfluss**

Untersuchungen an Werkstoffen für Komponenten, die wasserstoffbeaufschlagt werden, standen im Vordergrund der Forschungsaktivitäten und der Industrieaufträge. Dabei handelte es sich sowohl um Flüssigwasserstoff als auch um Druckwasserstoff bei -50 °C, Raumtemperatur und erhöhter Temperatur bis 150 °C. Die Werkstoffe waren martensitische, austenitische, ferritische Stähle sowie Gusswerkstoffe und Aluminiumlegierungen. Die Einsatzgebiete dieser Werkstoffe sind Kompressoren, Druckbehälter, Tanks, Motor- und Flugzeugkomponenten. Neben der Erfassung des Einflusses von Wasserstoff auf die Kennwerte des Zugversuchs dienten die Versuche unter zyklischer Zugschwellbeanspruchung, quasi-statischer Belastung und unter Konstantlast der Charakterisierung des Ermüdungs-, Bruchmechanik- und Konstantlastverhaltens.

<b>Abteilung Anlagenschutz:</b>
Dr.-Ing. K. Menzel
Tel.: 685/ -66702
E-Mail: klaus.menzel@mpa.uni-stuttgart.de
Referat Korrosion und Korrosionsprüfung: Dipl.-Ing. W. Beul
Referat Tribologie: NN
Referat Oberflächentechnik: Dr.-Ing. K. Berreth

Vor allem die Korrosion hat uns auch in diesem Jahr vielfältige Aufgaben beschert. Der zunehmende Einsatz nichtrostender Stähle, die in kaum noch zu überblickender Vielfalt angeboten werden, erfordert zunehmenden Aufwand an Beratung, aber auch an Schadensuntersuchungen und Gutachten. Unsere Spezialisten waren in diesem Zusammenhang unter anderem im Fildorado und dem neuen Krokodilhaus in der Wilhelma

beratend tätig. Auch älteren Spannbeton- und Stahlbetonbauwerken wird zunehmende Aufmerksamkeit gewidmet. So waren größere und kleinere Fragen der Dauerhaftigkeit im Müngersdorfer Stadion, an Fußgängerbrücken in Ravensburg und im Zusammenhang mit Deckenträgern mehrerer Bauwerke als Nachwirkungen des Einsturzes von Bad Reichenhall zu beantworten. Das Tiefbauamt der Stadt Stuttgart gab uns Gelegenheit, die Alterungsprozesse an Verkehrsbauten anlässlich des Abbruches der Brücke am Südheimer Platz in Stuttgart durch eine detaillierte Nachuntersuchung zu studieren.

Zum Alltagsgeschäft gehören weiterhin verzinkte Rohrleitungen, aus denen Rostwasser läuft, und Werkstofffragen aus der Automobilindustrie und ihren Zulieferern. Auch die Erfahrungen des letzten Jahres bestätigen, dass sich 80% aller Korrosionsschäden (die auf 3% des Bruttoinlandsproduktes beziffert werden können) durch Anwendung vorhandenen Wissens vermeiden ließen.

## Fachbereich Geotechnik (Leitung: Prof. Dr.-Ing. H. Schad)

<b>Abteilung Geotechnik:</b> Prof. Dr.-Ing. H. Schad Tel.: 685/ -62736 E-Mail: hermann.schad@mpa.uni-stuttgart.de
Referat Geomechanik: Dipl.-Ing. T. Bräutigam
Referat Spezialtiefbau, Baugrunddynamik: Dr.-Ing. G. Sawade, Dipl.-Ing. S. Crienitz
Referat Bitumen, Asphalttechnologie: Dipl.-Ing. E. Willand
Referat Sportböden, Sportstättenbau: Dipl.-Ing. H.-P. Knauf, Prof. Dr.-Ing. H. Schad

Die wesentlichen Arbeitsgebiete sind:

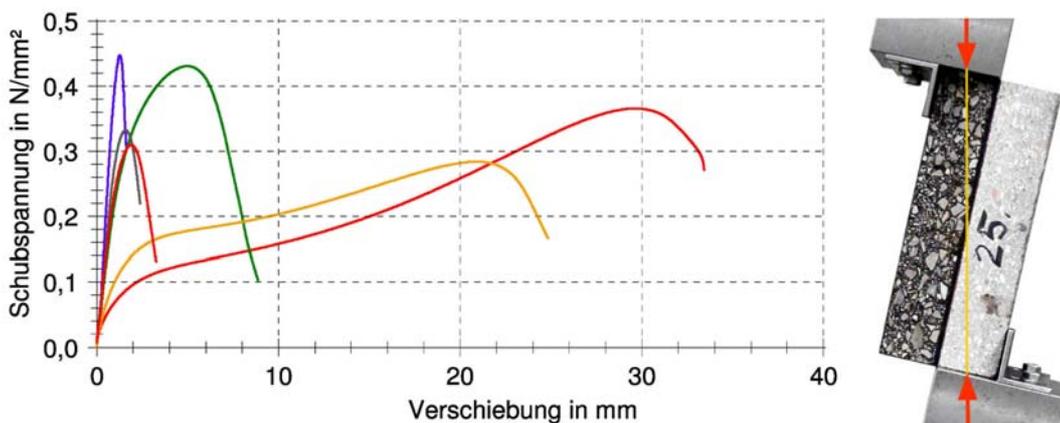
- geomechanische Untersuchung und Beratung,
- Spezialtiefbau, Baugrunddynamik und magnetische Streufeldmessung,
- Bitumen- und Asphalttechnologie,
- Sportböden und Sportstättenbau.

Für die Erbringung der Leistungen stehen Labors und eine Versuchshalle mit den erforderlichen Einrichtungen zur Bestimmung des mechanischen Verhaltens von Boden und Fels (Oedometer, Ein- und Triaxialpressen, direkte Schergeräte), Grundbaukonstruktionen (Versuchgrube, Biaxialgerät), Schichten aus Walz- und Gussasphalt, Kunststoff- und Bitumenbahnen, Fugenmassen (Standard-Zugmaschine und Spezialprüfmaschine für Fugenmassen), Sportböden und Sporthalleneinrichtungen (künstlicher Sportler, biomechanische Messplattform, Ballschusskanone) zur Verfügung. Zur Ausstattung gehören außerdem Versuchsfahrzeuge mit Belastungs- und Messeinrichtungen für Versuche an Ankern und Pfählen, Schwingungsuntersuchungen von Sportböden sowie mag-

netische Streufelduntersuchungen für Spannbetonkonstruktion und Verkehrsflächen aus Beton.

### Besondere Projekte in 2006

- Geomechanische Untersuchungen für den Transport und die Lagerung von Versatzstoffen in Untertagedeponien.
- Entwicklung eines Abdichtungsmaterials für eine Gießereisand-Deponie.
- Bestimmung der mechanischen Eigenschaften des Haufwerks von Katalysator-Tabletten.
- Brückengründung bei Dolinen im Muschelkalk und Beratung und Messung bei dynamischer Intensivverdichtung; Baugrunderkundung und Beratung bei einem Tunnel in offener Bauweise; Planung und Beratung bei Felssicherungsmaßnahmen am Hochrhein.
- Forschungsauftrag der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg „Thermische Nutzung des bauwerksnahen Untergrunds durch Horizontalbohrungen“.
- Baugrunduntersuchung und Probelastungen für eine Fotovoltaikanlage bei Murcia (Spanien).
- Untersuchung von Brücken in Sizilien mit der Methode der magnetischen Streufeldmessung.
- Forschungsauftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): „Vergleich der neuen europäischen Normen für Bitumen-Bahnen für die Abdichtung von Brückenfahrbahnen und Trog-/Tunnelsohlen aus Beton mit dem bisherigen nationalen Prüfstandard“. Untersuchung des Zug-Dehnungsverhaltens, der Wärmestandfestigkeit, der Wasserabsorption und des Abscherungsverhaltens im Systemaufbau vor und nach Wärmelagerung. (s. Bild)
- Zulassungsprüfungen für einen Sportbodenhersteller in Turin (Italien), Überprüfung der mechanischen Eigenschaften eines Sporthallenbodens auf Zypern, Abnahme der Laufflächen und Anlaufbahnen bei einem Stadion in Beijing (China).



Scherverhalten unterschiedlicher Abdichtungssysteme unter Gussasphalt auf Betonbrücken

## Fachbereich Zentrale Einrichtungen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. K. Maile)

<b>Zentrale technische Einrichtungen</b>
Referat Elektronenmikroskopie, Metallographie: Dr. rer. nat. H. Ruoff
Referat Zerstörungsfreie Prüfung/Produktsicherheit: Dr.-Ing. H Waidele
Referat Schadensanalyse im Maschinenbau: Dr.-Ing. H. Diem

Die Haupttätigkeitsfelder der Abteilung Zentrale Dienste liegen neben der Durchführung von Dienstleistungen für andere Abteilungen mit dem Schwerpunkt Werkstoff- und Bauteilprüfung auch in der eigenständigen Durchführung von Industrieaufträgen sowie von Forschungsprojekten auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung bzw. der Entwicklung moderner Stähle und Strukturwerkstoffe. Ausgangspunkt für die Werkstoffentwicklung ist die quantitative Erfassung und Beschreibung der Mikrostruktur. Weiterhin werden Schadensuntersuchungen auf allen Gebieten des Maschinenbaus und der daran angrenzenden Bereiche durchgeführt.

Im Jahr 2006 wurde eine Vielzahl von Aufträgen aus der Industrie abgewickelt, die von der einfachen chemisch-metallografischen Analyse eines Produktes über die Mikrostrukturbewertung von Zukunftswerkstoffen bis hin zu Konstruktionsteilprüfungen und Schadensuntersuchungen an Bauteilen aus den unterschiedlichsten Bereichen des Maschinenbaus reichte.

## Stabsstellen

<b>Stabsstelle Kalibrierung/Bauprodukte/Bauüberwachung:</b> Dipl.-Ing. S. Gerber, Dr.-Ing. J. Wiedemeyer Tel.: 685/ -62557 bzw. 62563 E-Mail: siegfried.gerber@mpa.uni-stuttgart.de jochem.wiedemeyer@mpa.uni-stuttgart.de
Referat Kalibrierung: Dipl.-Ing. S. Gerber, Dipl.-Ing. S. Neumann
Referat Lager und Übergänge im Bauwesen: Dr.-Ing. J. Wiedemeyer, Dr.-Ing. L. Höfflin

Die MPA Universität Stuttgart verfügt über ein sehr gut eingerichtetes Kalibrierlabor und bietet die Kalibrierleistung extern als Dienstleistung oder auch intern im Rahmen der fachübergreifenden Erfordernisse in den Tätigkeitsbereichen der MPA mit den hohen Anforderungen eines Qualitätssicherungssystems an. Das Referat Kalibrierung ist als DKD-Kalibrierlabor an die Kraft- und Drucknormale der Physikalisch-Technischen Bun-

desanstalt (PTB) in Braunschweig angeschlossen und führt als unabhängige Prüfstelle Kalibrierungen verschiedener mechanischer und elektrischer Messgrößen durch - und dies bereits seit 1923. Seit 1995 ist die MPA Universität Stuttgart durch die DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH unter anderem für den Bereich "Prüfung von Werkstoffprüfmaschinen" akkreditiert und seit 1996 durch die PTB als Kalibrierlabor des Deutschen Kalibrierdienstes (DKD) in den Bereichen „Kraft“, „Druck“ und „Kalibrierung / Prüfung von Werkstoffprüfmaschinen“. Der elektrische Messbereich ist seit 1997 akkreditiert. Weiterhin besteht eine DKD-Akkreditierung für die Kalibrierung von Eindringkörpern für Härtemessungen.

Zwei weitere Mitarbeiter haben im Jahr 2006 sowohl vom DKD als auch vom VMPA die Zulassung für die Kalibrierung von Werkstoffprüfmaschinen erhalten, wodurch jetzt die für die Bewältigung der Aufgaben erforderliche Personalkapazität vorhanden ist. Um den steigenden Genauigkeitsanforderungen gerecht zu werden, wurden im Referat Kalibrierung verschiedenste Prüf- und Messmittel wie z.B. ein 250 kN Zugstab der Klasse 0,5, ein 5 MN Druckkraftaufnehmer und neue Präzisionsmessverstärker angeschafft.

Das Referat Lager und Übergänge im Bauwesen befasst sich als amtlich anerkannte Stelle mit der Prüfung, Fremdüberwachung und Zertifizierung (PÜZ) von Brückenlagern, der Fremdüberwachung von Fahrbahnübergängen sowie der Untersuchung, Qualifizierung, Qualitätssicherung und betrieblichen Bewährung von Lagern und Komponenten für den Brücken- und Hochbau. Ziel ist die Erhöhung der Betriebssicherheit von Bauwerkslagerungen durch Fremdüberwachung und Qualitätssicherung an Komponenten und Bauteilen, die Weiterentwicklung von Lagerungen auf Grundlage von Forschung und Erkenntnissen aus Schadensfällen, die Qualifizierung neuer Werkstoff- und Konstruktionskonzepte im Rahmen von Forschung und Entwicklung, die Nutzung des Kenntnisstandes als Beitrag für die Erarbeitung von Normen und Richtlinien sowie eine Minimierung des Schadensrisikos durch Schulung von Fachkräften.

Das Jahr 2006 war vorwiegend durch das Auslaufen der Koexistenzperiode von nationalen Regelwerken (wie allgemein bauaufsichtliche Zulassungen, Reihe DIN 4141) und der europäischen Normenreihe EN 1337 für die meisten Typen von Lagern im Bauwesen, sowie die Inkraftsetzung ergänzender nationaler Regelwerke in Deutschland und Österreich bestimmt. In diesem Zusammenhang wurden die zahlreichen erforderlichen Erstprüfungen in den Herstellwerken der Lagerhersteller durchgeführt und durch die Zertifizierung für das jeweilige Bauprodukt abgeschlossen. Wegen der Verlagerung von Fertigungsstätten in das nahe und ferne Ausland hat sich der internationale Charakter der Aktivitäten zunehmend verstärkt.

**Zertifizierungsstelle Druckgeräte:**

Dipl.-Ing. J. Böse/Dr.-Ing. K.-H. Herter

Tel.: 685/ -62574 bzw. -63050

E-Mail: juergen.boese@mpa.uni-stuttgart.de

karl-heinz.herter@mpa.uni-stuttgart.de

**Prüflabor Druckgeräte:**

Dr.-Ing. H. Kockelmann/Dr.-Ing. H. Waidele

Tel.: 685/ -62578 bzw. -62700

E-Mail: hans.kockelmann@mpa.uni-stuttgart.de

hartmut.waidele@mpa.uni-stuttgart.de

Die Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA) ist als Partner der Industrie für die Anwendung der Druckgeräterichtlinie 97/23/EG (DGRL) im Rahmen des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes (GPSG) akkreditiert als Benannte Stelle nach DGRL Artikel 12 (Zertifizierungsstelle Druckgeräte) und als Anerkannte Unabhängige Prüfstelle nach DGRL Artikel 13 (Prüflabor Druckgeräte).

Die MPA steht mit ihrer Zertifizierungsstelle und ihrem Prüflabor als kompetenter Partner in allen Fragen der Konformitätsbewertung von Druckgeräten (Abbildung) zur Verfügung. Die Angebote und Leistungen der MPA richten sich an Hersteller von Druckgeräten oder druckführenden Baugruppen (Druckbehälter, Rohrleitungen, Dampferzeuger), die in der Europäischen Union in Verkehr gebracht werden sollen und die mit einem maximal zulässigen Druck  $> 0,5$  bar in den Anwendungsbereich der DGRL fallen.

Die MPA besitzt auf dem Gebiet der Auslegung und der Sicherheitsnachweise von druckführenden Bauteilen eine jahrzehntelange Erfahrung. Diese umfasst einerseits das erforderliche Expertenwissen im Bereich der Experimentellen Auslegungsmethoden (Druckfestigkeitsprüfungen, Prüfungen zum Kriech- und Ermüdungsrisiko, ergänzende Prüfungen hinsichtlich besonderer Einwirkungen wie Korrosion und aggressive Einwirkungen von Außen) und andererseits die Voraussetzungen und Möglichkeiten zur Anwendung von Berechnungsmethoden (Analyse- und bruchmechanische Verfahren).

Die MPA hat sich maßgeblich an der Erstellung von Vorschriften und Normen im Bereich Auslegung und Berechnung, Werkstoffe und Prüfung beteiligt. Die Basis hierfür bilden zahlreiche Forschungsarbeiten der MPA im Hinblick auf das Verhalten von Werkstoffen und Bauteilen bei Innendruckbeanspruchung und unterschiedlichen Umgebungsbedingungen zur Verbesserung des Verständnisses der Versagensprozesse und der sicherheitsorientierten Festigkeitsberechnung. Die Tätigkeit in diesem Arbeitsfeld umfasst auch Abnahmeprüfungen an Werkstoffen und daraus gefertigten Erzeugnissen in den Herstellerwerken und gegebenenfalls auf Baustellen. Vor diesem Hintergrund ist die Tätigkeit der MPA im Rahmen der Konformitätsbewertungsverfahren nach DGRL eine kontinuierliche Fortsetzung der Arbeiten auf diesem Gebiet.

**Stabsstelle Qualitätsmanagement:**

Dipl.-Ing. A. Müssig

Tel.: 685/ -67675

E-Mail: andreas.muessig@mpa.uni-stuttgart.de

Seit der Erstakkreditierung der MPA im Jahr 1995 bewährte sich das Qualitätsmanagement als wirksames Instrument zur Sicherung und Steigerung der Prüf- und Forschungsergebnisse sowie der technischen Kompetenz. Die Geltungsbereiche der Akkreditierungen wurden seither ständig erweitert.

So konnte im November 2006 für den Bereich „Fremdprüfung beim Einbau von Kunststoffkomponenten und -bauteilen in Deponieabdichtungssystemen“ das Akkreditierungsverfahren als Inspektionsstelle nach DIN EN ISO 17020 für die bei der Fremdprüfung relevanten Inspektionen, und nach DIN EN ISO 17025 für einen bei der Fremdprüfung erforderlichen Mindestumfang an kunststoff-technischen Prüfungen erfolgreich abgeschlossen werden. Damit erfüllt die MPA nunmehr die von der BAM gestellten Anforderungen an fremdprüfende Stellen.

Neu in den Akkreditierungsumfang aufgenommen wurden Prüfungen in den Bereichen „Sporthallenböden, Kunststoffbeläge, Kunststoffrasenbeläge“ sowie „Einbauteilen in Sporthallen“. Hier gilt gemäß den Regeln der Weltfachverbände (FIFA, IAF) die Akkreditierung als Voraussetzung für die Durchführung von Prüfungen und Feldversuchen. Damit verfügt die MPA nunmehr über folgende Akkreditierungen bzw. Zertifizierungen:

Gebiet	Grundlage	Reg.-Nr.	Akkreditierer
Zertifizierung von Druckgeräten und Baugruppen	Druckgeräterichtlinie 97/23/EG, GPSG	ZLS-ZE-343/02	ZLS
Prüfung von Druckgeräten und Baugruppen	Druckgeräterichtlinie 97/23/EG, GPSG	ZLS-P-607/05	ZLS
Persönl. Schutzausrüstungen Techn. Arbeitsmittel Passive Sicherheit	89/686/EWG GSG KBA-Typgenehmigung MOTC Taiwan	ZLS-P-411/03 KBA-P-00018-95 DE08-07-0	ZLS KBA MOTC
Prüfungen lt. Urkunden	nicht geregelter Bereich	DAP-PL-2907.01 bis DAP-PL-2907.07	DAP
Kalibrierungen lt. Urkunde	nicht geregelter Bereich	DKD-K-15501	DKD
Inspektionen an Dichtungssystemen	nicht geregelter Bereich	DAP-IS- 4085.00	DAP
Entwicklung von Datenbanken und Software	nicht geregelter Bereich (QMS)	1210025342TMS	TÜV

Akkreditierungen und Zertifizierungen der MPA

Im Jahr 2006 wurden in den akkreditierten Struktureinheiten insgesamt 13 Audits, davon 8 interne Audits, absolviert. Die wichtigsten Aufgaben der Stabsstelle Qualitätsmanagement waren dabei die folgenden:

- Vorbereitung und Durchführung der internen Audits
- Vorbereitung auf die Akkreditierungs- und Überwachungsaudits
- Erstellung und Pflege der Qualitätsmanagementdokumentation

Diese kostenintensiven Anstrengungen werden unternommen, um unseren Kunden Dienstleistungen auf qualitativ hohem Niveau und mit Kompetenzbestätigung von unparteiischer Stelle anbieten zu können.

**Stabsstelle Produktfolgen:**

Dr.-Ing. M. Rohr

Tel.: 685/ -63993

E-Mail: manfred.rohr@mpa.uni-stuttgart.de

Die Stabsstelle Produktfolgen fungiert in der MPA als zentrale Ansprech- und Koordinierungsstelle für die Erstellung umfassender Produktfolgenanalysen und -bewertungen als integrierter Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Eine der Hauptaufgaben ist dabei die Ganzheitliche Bewertung der Chancen und Risiken neuer bzw. weiterentwickelter Werkstoffe und Materialien bzgl. Herstellung, Weiterverarbeitung und der darauf basierenden Produkte.

Im Rahmen des Förderprojektes „*Thermische Nutzung des bauwerksnahen Untergrunds durch Horizontalbohrungen*“ (Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg) hat die Stabsstelle die Ganzheitliche Betrachtung der Horizontalbohrtechnik im Hinblick auf Nachhaltigkeitsaspekte und Marktpotenziale übernommen.

Dabei geht es ergänzend zur technischen Durchführung der neuen Technologie insbesondere um den Versuch, diese anzupassende geschlossene/grabenlose Bauverfahrensweise mit herkömmlichen Rohrleitungsverlegetechniken (offene Verfahren) hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile sowie wichtiger Folgeaspekte möglichst umfassend zu vergleichen und dabei ökologische, ökonomische und soziale Gesichtspunkte in die Untersuchung mit einzubeziehen.

Zum Vergleich und zur Bewertung des Ressourcenverbrauchs und der Umweltverträglichkeit werden erdgekoppelte Wärmepumpen-Heizungen mit konventionellen Heizungssystemen (z.B. Ölkessel bzw. Gas-Brennwertkessel) verglichen, wobei das Computerprogramm GEMIS (Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme) zur vergleichenden Untersuchung von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und -nutzung zur Anwendung kommt.

Bei der Analyse und Beurteilung der Marktpotenziale werden sowohl die angewendete Horizontalbohrtechnik (HDD) als Methode des grabenlosen Leitungsbaus als auch die

Marktverbreitung der durch Erdwärme gespeisten Wärmepumpen als besonders Energie und Kosten sparendes und zugleich umweltschonendes Heizungssystem betrachtet. Für die Analyse des Marktpotenzials erdgekoppelter Wärmepumpen wurde dabei im wesentlichen auf Literaturangaben zurückgegriffen. Für die Beurteilung der Markttauglichkeit des Einsatzes der HDD-Technologie zur thermischen Nutzung des bauwerksnahen Untergrundes wurde eine Befragung von ausgewählten Bohrfirmen und bekannten Herstellern von Wärmepumpen und Heizkesseln unter Einbeziehung von Fachverbänden durchgeführt.

### **Neue Abteilung der MPA: Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachungstechnik**

Die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) gewinnt in den letzten Jahren in allen Bereichen der Materialprüfung an Bedeutung. Traditionell ist die ZfP ein wichtiges Hilfsmittel in der Forschung, z. B. bei der Entwicklung von neuen Werkstoffen oder bei der Analyse des Werkstoffverhaltens oder der Schädigung von Bauteilen. Jedoch nimmt die Zahl an Anwendungen zu, die nicht der Grundlagenforschung sondern eher kommerziellen Bereichen zuzuordnen sind. Haupteinsatzbereiche sind dabei die Prüfung bzw. Inspektion von Bauteilen, Werkstoffen, Anlagen und Bauwerken, die Qualitätssicherung z. B. in der Produktion, die Überwachung in der Betriebsphase oder die Erhaltung von Anlagen und Bauwerken. Insbesondere in diesem letzten Bereich nimmt die Nachfrage nach geeigneten Verfahren und qualifizierten Spezialisten zu, wie in gleicherweise das Alter von Anlagen und Bauwerken zunimmt.

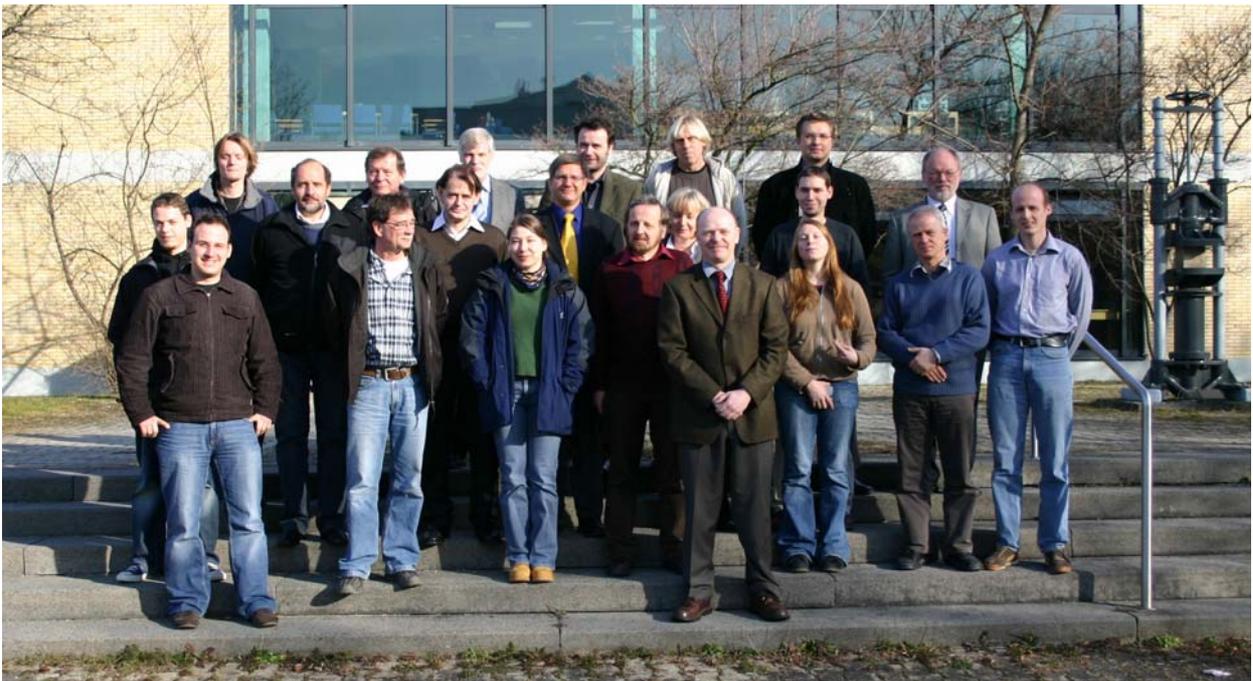


Bild 1: Das Direktorium der MPA (im Hintergrund die Professoren Roos, Gehlen und Nürnberger) mit den Mitgliedern der neuen Abteilung.

Es war deswegen nur konsequent, dass zum Jahreswechsel die neue Abteilung *Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachungstechnik* an der MPA ins Leben gerufen wurde. Diese Abteilung führt einen Großteil der Experten zusammen, die ZfP-Anwendungen in den Bereichen Maschinenbau und Bauwesen in Stuttgart betrieben haben und bislang in verschiedenen Referaten der MPA sowie im Institut für Werkstoffe im Bauwesen arbeiteten. Die Zusammenfassung des vorhandenen Know-hows konzentriert einerseits mit 20 Mitarbeitern eine der größten Gruppen der ZfP im universitären Bereich, andererseits schafft es die Grundlage für eine fachübergreifende Bearbeitung von Forschungs- und Kundenaufträgen. Dabei können Synergieeffekte genutzt werden, bei denen die Erfahrung der beteiligten Wissenschaftler und Techniker (Bild 1) aus den Gebieten Maschinenbau, Bauingenieurwesen, Luftfahrtwesen, Physik, Geophysik, Informatik und Elektrotechnik eine große Rolle spielt. Dazu kommen noch eine Reihe von Experten in anderen MPA-Abteilungen, die sich ebenfalls mit speziellen ZfP-Anwendungen befassen und die mit der neuen Abteilung zusammenarbeiten werden. Auch methodisch und gerätetechnisch ist durch den Zusammenschluss die Palette der Verfahren erweitert worden. Dazu zählen u.a. Ultraschallprüfung und US-Impuls-Echo, Magnetpulver- und Wirbelstromprüfung, Durchstrahlungsprüfung, Optische Prüfung/Endoskopie, Schallemissionsanalyse, Impact-Echo, Radar, IR-Thermografie und Schwingungsanalyse. Die Kompetenz der Abteilung erstreckt sich dabei auf den gesamten Werkstoffbereich von der Prüfung von Baustoffen (Metalle, Beton, Stein/Mauerwerk, Composite, Holz, etc.) über Bauteile und Prüfkörper bis zu Anlagen und Bauwerken. Die Aufgaben der Abteilung reichen dementsprechend von der Grundlagenforschung, Inspektion und Dauerüberwachung über die Zulassung und Qualitätssicherung bis zum Denkmalschutz. Diese Vielfalt an Verfahren und Anwendungsbereichen spiegelt sich in der Organisationsstruktur der Abteilung wieder, die in drei Referate unterteilt ist (Bild 2).

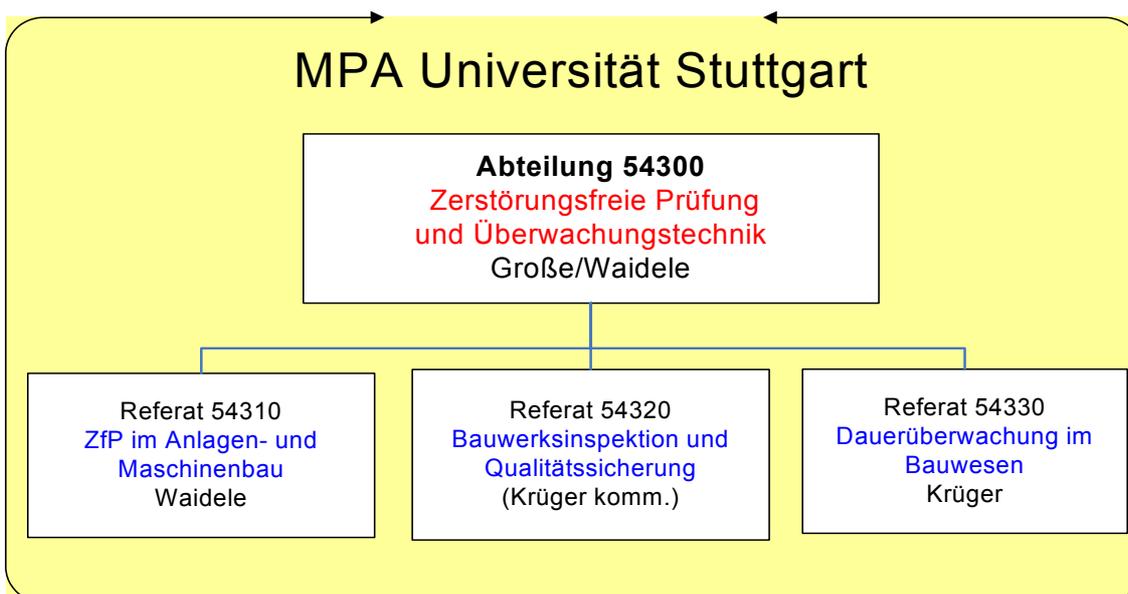


Bild 2: Organisationsstruktur der neuen Abteilung.

Die Abteilung wird geleitet von Privatdozent Dr.-Ing. Christian Große und seinem Stellvertreter Dr. Waidele, der gleichzeitig das Referat „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“ leitet. Dr. Krüger leitet das Referat „Dauerüberwachung im Bauwesen“ sowie kommissarisch das Referat „Bauwerksinspektion und Qualitätssicherung“.

## **Referat „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“; Leitung: Dr.-Ing. H. Waidele**

### **Überblick**

Das Referat geht aus dem bisherigen ZfP-Referat der Abteilung *Zentrale Technische Einrichtungen* der MPA hervor. Die derzeit 12 Mitarbeiter – Ingenieure, Physiker, Werkstoffprüfer – führen Untersuchungen zur Bauteilsicherheit mittels verschiedener zerstörungsfreier Prüfverfahren durch, sowohl als Dienstleistung für die Industrie als auch in Form von eigenständiger Forschung und Entwicklung, ganz oder teilweise öffentlich bzw. industriell gefördert. Zu den Kunden gehören vor allem Betreiber von Anlagen zur Energieerzeugung, Gas- und Wasserversorgung sowie kleine und mittelständische Unternehmen aus sehr unterschiedlichen Bereichen wie z. B. Luftfahrt- und Automobilzulieferer.

Die Dienstleistungen umfassen neben der Prüfung und Bewertung nach Normen und Regelwerken auch Tätigkeiten zur Beratung sowie Sachverständigentätigkeit im Rahmen von Gutachten und Zulassungen, z. B. im kerntechnischen Bereich oder bei Gas-hochdruckleitungen. Im Rahmen der Forschungsvorhaben werden beispielsweise Verfahren optimiert und weiterentwickelt zur Ermittlung verschiedener Werkstoffzustände und Fehlertypen. Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Planung und Herstellung von Testkörpern für die zerstörungsfreie Prüfung unterschiedlicher Werkstoffe und Komponenten. Darüber hinaus sind einige der Mitarbeiter des Referats in Gremien und Fachausschüssen der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) und des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) tätig. Im Lehrangebot des Instituts für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre (IWMF) ist das Referat vertreten mit drei Terminen innerhalb der Vortragsübungen zur Werkstoffkunde, dem ZfP-Teil des Allgemeinen Praktikum im Maschinenbau (APMB) sowie durch Bereitstellung von Themen für Studien- und Diplomarbeiten.

Die Mitarbeiter des Referats besuchen regelmäßig Weiterbildungen zu den für sie relevanten Themen und sind für mehrere Verfahren zertifiziert nach EN 473. Das Referat ist akkreditiertes Prüflabor nach DIN EN ISO/IEC 17025:2000 für manuelle zerstörungsfreie Prüfverfahren (Ultraschallprüfung, Durchstrahlungsprüfung, Magnetpulverprüfung, Eindringprüfung, Wirbelstromprüfung, visuelle Prüfung) und mechanisierte Ultraschallprüfung.

### **Prüfverfahren und Geräte**

Im Referat stehen die folgenden Verfahren und Techniken zur Verfügung:

- Geräte und Prüfmittel für die Oberflächenrissprüfung mittels Farbeindringverfahren und Magnetpulververfahren, für Letzteres neben den mobilen Geräten auch eine stationäre Flutbank.

- Mehrere Geräte zur Ultraschallprüfung, manuell und mechanisiert, wobei die mechanisierte Prüfung derzeit auf Anwendungen im Labor beschränkt ist.
- Wanddickenmessgeräte.
- Ein Schallemissionssystem mit 2 Kanälen.
- Ein Mehrfrequenz-Wirbelstrom-System zur Prüfung mit bis zu 4 Frequenzen, mehrere Sonden für unterschiedliche Frequenzbereiche, mit Manipulator für Labormessungen, Austausch gegen Manipulator für den mobilen Einsatz ist vorgesehen.
- Mehrere Röntgenröhren, eine davon für den mobilen Einsatz, mehrere Gammaquellen (Ir 192) unterschiedlicher Aktivität für die Durchstrahlungsprüfung; zur Bildgebung werden derzeit hauptsächlich konventionelle Röntgenfilme verwendet, weiter sind vorhanden ein Fluoreszenzschirm mit Bildverstärker für Durchleuchtung kleinerer Teile, sowie seit Ende 2006 ein Speicherfoliensystem für digitale Radiografie.
- Ein System für Video-Endoskopie.
- Ein Lichtmikroskop mit horizontaler z-Achse, Digitalkamera, Bildverarbeitungssoftware.

### **Aktuelle Forschungsaktivitäten**

Im Rahmen eines vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) geförderten Vorhabens wurden zahlreiche Arbeiten durchgeführt, darunter die Herstellung eines Testkörpers für die Ultraschallprüfung auf Querfehler in Mischschweißnähten. Zu den im Jahr 2006 fortgesetzten Untersuchungen zur Charakterisierung von Kriechschädigung mittels Wirbelstromprüfung sind noch weitere Arbeiten zur Optimierung der Prüftechnik durchzuführen, um Störeinflüsse im Signal ausschalten und das Potenzial der Methode besser bewerten zu können. Ein Folgeantrag zur Weiterführung der Untersuchung zur Früherkennung von Ermüdungsschädigung [1] wurde bei der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS) eingereicht. Die Arbeiten werden in 2007 beginnen, wobei die MPA ihre Arbeiten im Unterauftrag durchführen wird. Ein neues Forschungsvorhaben im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und der Industrie geförderten COORETEC Verbundes [2] wurde zum November 2006 bewilligt. Das Teilprojekt befasst sich mit der Prüfbarkeit der in den neuen 700°-Kraftwerken eingesetzten dickwandigen Komponenten aus Nickellegierungen und deren Schweißverbindungen.

Geplant sind weitere Arbeiten zur

- Optimierung von Schweißtechniken für austenitische Schweißnähte im Hinblick auf die Erzeugung eines Gefüges, welches eine verbesserte Prüfbarkeit mit Ultraschall liefert und zur
- Untersuchung der Fehlerauffindraten für verschiedene ZfP-Verfahren, Fehler-typen und Werkstoffe.

- [1] S. Palm, P.Knoch, K. Maile, Bewertung der Ermüdung und Restlebensdauer anhand der fraktalen Dimension von Verformungsstrukturen, Abschlussbericht Reaktorsicherheitsforschung Projekt-Kennzeichen: 1501246, Stuttgart April 2005
- [2] <http://www.fz-juelich.de/ptj/projekte/index.php?index=1325>

**Referat „Bauwerksinspektion und Qualitätssicherung“; Leitung (komm.):  
Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. M. Krüger**

**Überblick**

Das Referat besteht überwiegend aus Mitarbeitern der ehemaligen Arbeitsgruppe *Zerstörungsfreie Prüfung* des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen (IWB). Ein Hauptschwerpunkt der Tätigkeiten besteht in der Grundlagenforschung und der industrienahe Forschung. In diesem Zusammenhang liefen soeben zwei große DFG-Projekte aus, die von Mitarbeitern des Referats betreut wurden. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 381 der DFG wurden von 1994 bis 2006 Methoden zur „Charakterisierung des Schädigungsverlaufs in Faserverbundwerkstoffen mittels zerstörungsfreier Prüfung“ entwickelt. Insgesamt wurden dabei drei Teilprojekte bearbeitet. Teilprojekt A6 behandelte die „Detektion und Lokalisierung von Rissen und Fehlstellen in Stahl- und Faserbeton“, Teilprojekt A7 „Vorgespannte Verbundelemente mit mineralischer Matrix und Vorspannelemente aus Aramid und Stahl“ sowie Teilprojekt A9 „Quantitative Bestimmung der Schädigung von Faserkompositen mit mineralischer Matrix mittels Ultraschall“. Geleitet wurden diese Teilprojekte vom ehemaligen Direktor der MPA, Prof. Dr.-Ing. H.-W. Reinhardt, sowie dem Abteilungsleiter der neuen ZfP-Abteilung. Die Ergebnisse des SFB381 wurden 2006 in einem internationalen Symposium in Stuttgart mit dem Titel „Conference on Damage in Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Testing“ vorgestellt sowie in einem Buch mit dem Titel „Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation“ [3]. Das zweite kürzlich beendete Projekt wurde innerhalb einer ebenfalls von der DFG geförderten Forschergruppe mit dem Titel „Zerstörungsfreie Strukturbestimmung von Betonbauteilen mit akustischen und elektromagnetischen Echo-Verfahren“ bearbeitet und befasste sich mit der „Strukturbestimmung von erhärtenden Bauteilen aus bewehrtem und unbewehrtem Beton mit Hilfe einer modifizierten Impact-Echo-Technik“ [4]. Es wurde ebenfalls von Prof. Reinhardt und Dr. Große geleitet. Die Forschergruppe hat am 3. bzw. 4. Mai 2007 in einem Abschlusskolloquium in der Bundesanstalt für Straßenwesen in Bergisch-Gladbach ihre Ergebnisse präsentiert. Ein Teil der Ergebnisse wurde bereits in der Ausgabe 2007 des Betonkalenders veröffentlicht [5].

Im Bereich der Qualitätssicherung von zementgebundenen Baustoffen wurden ebenfalls eine Reihe von Projekten betreut. Hervorzuheben ist die Entwicklung eines leistungsfähigen Verfahrens auf Basis der Ultraschalltechnik zur Untersuchung des Erstarrens und Erhärtens von Frischbeton. Betonparameter, die die Qualität (z. B. die Druckfestigkeit) und die Verarbeitbarkeit wie der Wasser-Zement-Wert, der Luftporengehalt, die Konsistenz, die Endfestigkeit, die Wirkung von Zusatzmitteln etc. maßgeblich beeinflussen, können mit Hilfe von Ultraschall-Signalparametern wie Wellengeschwindigkeit, -

amplitude und -frequenzgehalt untersucht werden [6]. Mittlerweile wurde das Verfahren patentiert [7]; mehrere Geräte sind im Kundeneinsatz. Eine internationale Zusammenarbeit auf diesem Forschungsgebiet findet innerhalb der „International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM)“ statt, insbesondere im Technical Committee „Sonic methods for quality control of fresh cementitious materials“, das von Prof. Reinhardt und Dr. Große gegründet wurde. Im Rahmen des Vorgängerkomitees wurde zu diesem Thema ein Buch veröffentlicht, in dem Zwischenergebnisse nachzulesen sind [8].

Weitere Forschungsarbeiten wurden und werden auf den Gebieten Bruchmechanik, Inversionsverfahren, Signalverarbeitung und Sensorik durchgeführt, um nur einige zu nennen. Darüber hinaus werden laufend Kundenaufträge von den Mitarbeitern dieses Referats bearbeitet, wobei die Mitwirkung beim Neubau des Porschemuseums in Stuttgart-Zuffenhausen 2006 hervorzuheben ist.

Ein weiterer künftiger Schwerpunkt wird sich der Schadensdiagnostik und Qualitätssicherung an Kunst und Kulturgütern widmen, der auf Erfahrungen aus zahlreichen Gutachten und Forschungsarbeiten beruht. Beispielhaft zu nennen sind hier die Arbeiten am Heilig-Kreuz-Münster in Schwäbisch Gmünd im Rahmen des bundesweiten Verbundforschungsprojekts *Steinzerfall/Steinkonservierung* – gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und des Münsters in Salem im Rahmen des Deutsch-Französischen Forschungsprogramms für die Erhaltung von Baudenkmalern. In Schwäbisch Gmünd wurde ein Qualitätssicherungs- und Nachsorgekonzept für die konservierten Portale des Heilig-Kreuz-Münsters entwickelt [9] und am Münster in Salem der Feuchte- und Schadenszustand der Fassade erfasst [10].

Im Lehrangebot des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen sind die Referate 54320 und 54330 durch eine eigene Vorlesung mit dem Titel *Anwendungen der Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen* vertreten, die mit einem Teil I („Zerstörungsfreie Prüfmethoden für die Qualitätssicherung und Inspektion“) und einem Teil II („Zerstörungsfreie Prüfmethoden für die Inspektion und Dauerüberwachung“) im Winter- und Sommersemester von Studierenden des Bauingenieurwesens oder der Immobilientechnik belegt werden können. Eine Beteiligung erfolgt außerdem in den Vorlesungen „Werkstoffe II“ sowie „Bauschäden und Instandhaltung“. Regelmäßig werden darüber hinaus Studien-, Master- und Diplomarbeiten durchgeführt.

- [3] G. Busse, B.-H. Kröplin, F.K. Wittel (Hrsg.), *Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation*. Univ. Stuttgart, Okt. 2006, 548 S.
- [4] C. Große, R. Beutel, H.-W. Reinhardt, M. Krüger: *Impact-echo techniques for non-destructive inspection of concrete structures*. Int. Conf. on Conc. Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR), Cape Town, South Africa, Nov. 2005, Balkema Publ. Rotterdam (Hrsg. M. Alexander et al.), 2005, S. 174-176.

- [5] C. Große, H. Wiggerhauser, D. Algernon, F. Schubert, R. Beutel: Impact-Echo. Chapter 3 in: Betonkalender 2007 (Hrsg. Bergmeister + Wörner), Ernst & Sohn 2007, S. 496-505.
- [6] C. Große: Qualitätssicherung von Frischbeton mit Ultraschall. Betonwerk+Fertigteil-Technik, BFT vol. 2 (2005), S. 90-91.
- [7] H.-W. Reinhardt, C. Große, A. Herb, B. Weiler, G. Schmidt: Method for examining a solidifying and/or hardening material using ultrasound, receptacle and ultrasound sensor for carrying out the method. Patent, No. 09/857,536. US Patent and Trademark Office (2003).
- [8] H.-W. Reinhardt, C. Große (Hrsg.): Advanced testing of cement-based materials during setting and hardening. RILEM Report 31, ISBN: 2912143705, RILEM Publ. S.A.R.L.: Cachan ENS, 2005, 341 S.
- [9] J. Frick, G. Grassegger, H.-W. Reinhardt: Entwicklung und Erprobung eines Qualitätssicherungs- und Überwachungskonzeptes mit zerstörungsfreien Methoden für die konservierte Portale des Heilig-Kreuz-Münsters in Schwäbisch Gmünd. 4th International Conference Non-Destructive Testing of Works of Art. Berlin 3. – 8. Oktober 1994, DGZfB Berichtsband 45, Teil 1 (1994), S. 606-618.
- [10] J. Frick: Untersuchungen zum Feuchte- und Schadenszustand am Münster mit zerstörungsfreien bzw. zerstörungssarmen Methoden. Das Salemer Münster, Arbeitsheft 11, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, ISBN 3-8062-1750-5, Konrad Theiss Verlag Stuttgart, 2002, S. 65-74.

### **Prüfverfahren und Geräte**

Im Referat stehen die folgenden Verfahren und Techniken zur Verfügung:

- Ultraschall-Technik mit verschiedenen Impulsgebern und Leistungsverstärkern, Vorverstärkern, verschiedenen Ultraschallsensoren (resonant, multi-resonant, breitbandig) sowie Netzwerkanalysator und Frequenzgenerator.
- Ultraschall-Anwendungen in Durchschallung, z. B. zur Bestimmung von elastischen Eigenschaften (E-Moduln, Porosität, etc.) von Frischbeton, Ultraschall in Reflexion bzw. in Impuls-Echo-Technik.
- Ultraschall-Phasenspektroskopie.
- Impact-Echo-Technik mit Impactor und regelbarer Impactstärke und verschiedenen Impact-Echo-Sensoren für Anwendungen zum Auffinden von Fehlern (Kiesnester, Hohlräume) und zur Detektion von Rissen und Messung von Rissbreite und -tiefe.
- Radar mit einem GSSI-Radargerät SIR-2 und Antennen mit 500, 900 und 1600 MHz sowie Messrädern für schnelle Profilmessungen.
- Radar-Anwendungen zur Ortung der Bewehrung (schlaffe Bewehrung, Hüllrohre, Spannkabel), Ortung von Fehlstellen und Detektion von Feuchtestellen.
- Infrarotthermographie zur Schadensdiagnostik und Feuchtezustandserfassung.

### **Aktuelle Forschungsaktivitäten**

Seit 2006 sind Mitarbeiter des Referats am Projekt „RIWEA - Roboter zur Inspektion der Rotorblätter von Windenergieanlagen mit Thermographie und Ultraschall“ beteiligt. Das Projekt wird im Rahmen des InnoNet Programms des BMWi gefördert. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung neuartiger Technologien zur vollständigen Zustandserfassung der Rotorblätter von Windenergieanlagen. Die Projektleitung liegt beim Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg. Durch den Einsatz von modernen Prüfverfahren wie Thermographie, Ultraschall und hochauflösender Kameras in Verbindung mit innovativen Robotern wird eine ganzheitliche Analyse des Blattzustandes ermöglicht, die zukünftig auch für die Darstellung von Schadensentwicklungen und -prognosen herangezogen werden können. Das Projekt hat eine Laufzeit von 4 Jahren.

### **Referat „Dauerüberwachung im Bauwesen“; Leitung: Dr.-Ing. M. Krüger**

#### **Überblick**

Das Referat besteht ebenfalls aus Mitarbeitern der ehemaligen Arbeitsgruppe *Zerstörungsfreie Prüfung* des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen (IWB). Schwerpunkt der Arbeiten ist einerseits die Entwicklung von Überwachungsverfahren zur Charakterisierung des Schädigungsverlaufs in Bauteilen auf Basis der Schallemissionsanalyse, wobei hier die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung signalbasierter bzw. quantitativer Schallemissionsanalysetechniken im Vordergrund steht [11]. Andererseits werden Monitoringverfahren zur Dauerüberwachung z. B. von Bauwerken (engl. *structural health monitoring*) entwickelt. Dabei ist insbesondere die Nutzung von drahtlosen Systemen (kabellosen Sensornetzen) sowie von Miniatursensoren (Mikro-Elektro-Mechanische-Systeme – MEMS) aktuelles Arbeitsgebiet [12]. Leider erhielt diese Arbeitsrichtung eine besondere Aktualität durch den Einsturz einer Eislaufhalle in Bad Reichenhall 2006 und verschiedener anderer Unglücke. In der Zwischenzeit hat die Bundesbauministerkonferenz die Verwendung von drahtgebundenen und drahtlosen Überwachungssystemen für öffentliche Großbauwerke empfohlen.

[11] C. Grosse, F. Finck, J. Kurz, H.-W. Reinhardt: Improvements of the acoustic emission technique using wavelet algorithms, coherence functions and automatic data analysis techniques. *J. of Constr. and Build. Mat.* 18 (2004), No. 3, S. 203-213.

[12] C. Grosse, M. Krüger: Drahtlose Sensortechnik für die Dauerüberwachung von Bauwerken, Proc. 29. Darmstädter Massivbauseminar „Sicherheitsgewinn durch Monitoring?“, Darmstadt, Sept. 2006, S. 203-214.

#### **Prüfverfahren und Geräte**

Im Referat stehen die folgenden Verfahren und Techniken zur Verfügung:

- Schallemissionsanalyse mit automatischem Schallemissionssystem basierend auf einem Mehr-Kanal-Transientenrekorder, Vorverstärkern und verschiedenen Schallemissionssensoren (resonant, multi-resonant, breitbandig).

- Anwendungen der Schallemissionsanalyse zur Detektion von Schäden (Rissen), Lokalisierung (1D, 2D, 3D), Darstellung der raumzeitlichen Schädigungs-entwicklung, Analyse von Schädigungsparametern (Bruchgröße, Lage der Bruchflächen, Bruchtyp) sowie zur Untersuchung des Verbundes zwischen Matrix und Bewehrung.
- Modal- und Eigenschwingungsanalyse mit LDS-Modalanalyse-System, Modalanalyse-Hammer und verschiedenen Eigenschwingungssensoren (breitbandig).
- Anwendungen der Eigenschwingungsanalyse zur Bestimmung von elastischen Eigenschaften (E-Moduln, etc.), Bestimmung modaler Größen (Resonanzfrequenz, logarithmisches Dekrement, usw.) und Detektion von Fehlstellen.
- Drahtlose Sensorik mit Sensorknoten (Motes) inklusive Funkübertragungsmodulen, A/D-Wandler, Prozessor und Speicher sowie verschiedenen MEMS-Sensoren. Über Hybridmodule können außerdem fast alle konventionellen Sensoren angeschlossen werden, wobei derzeit Beschleunigungssensoren z. B. für die Modalanalyse bzw. die Schallemissionsanalyse, Feuchte- und Temperatursensoren (innerhalb und außerhalb des Bauteils) und Spannungs-, Dehnungs- und Verschiebungssensoren realisiert sind.

### **Aktuelle Forschungsaktivitäten**

Seit 2003 sind Mitarbeiter des Referats am Projekt „Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives“ beteiligt [13]. Es wird von der Europäischen Union als Integriertes Projekt im 6. Rahmenprogramm gefördert. Unter anderem ist das Referat an zwei Workpackages (WP) beteiligt. In WP3 geht es um „Condition Assessment and Inspection“ und in WP5 um „Monitoring“. Im Vordergrund stehen dabei die Ertüchtigung von Brückenbauwerken der europäischen Eisenbahnen im Hinblick auf die Zunahme der Zuggeschwindigkeiten, höheren Achslasten und dem insgesamt zunehmendem Zugverkehr u. a. durch die Osterweiterung der EU. Projektkoordinator ist die Fa. Skanska (Schweden) gemeinsam mit der Luleå University of Technology (Schweden). Das Projekt hat eine Laufzeit von vier Jahren; eine internationale Konferenz zur Präsentation der Forschungsergebnisse ist für den 10.-11. Oktober 2007 in Wroclaw, Polen, geplant.

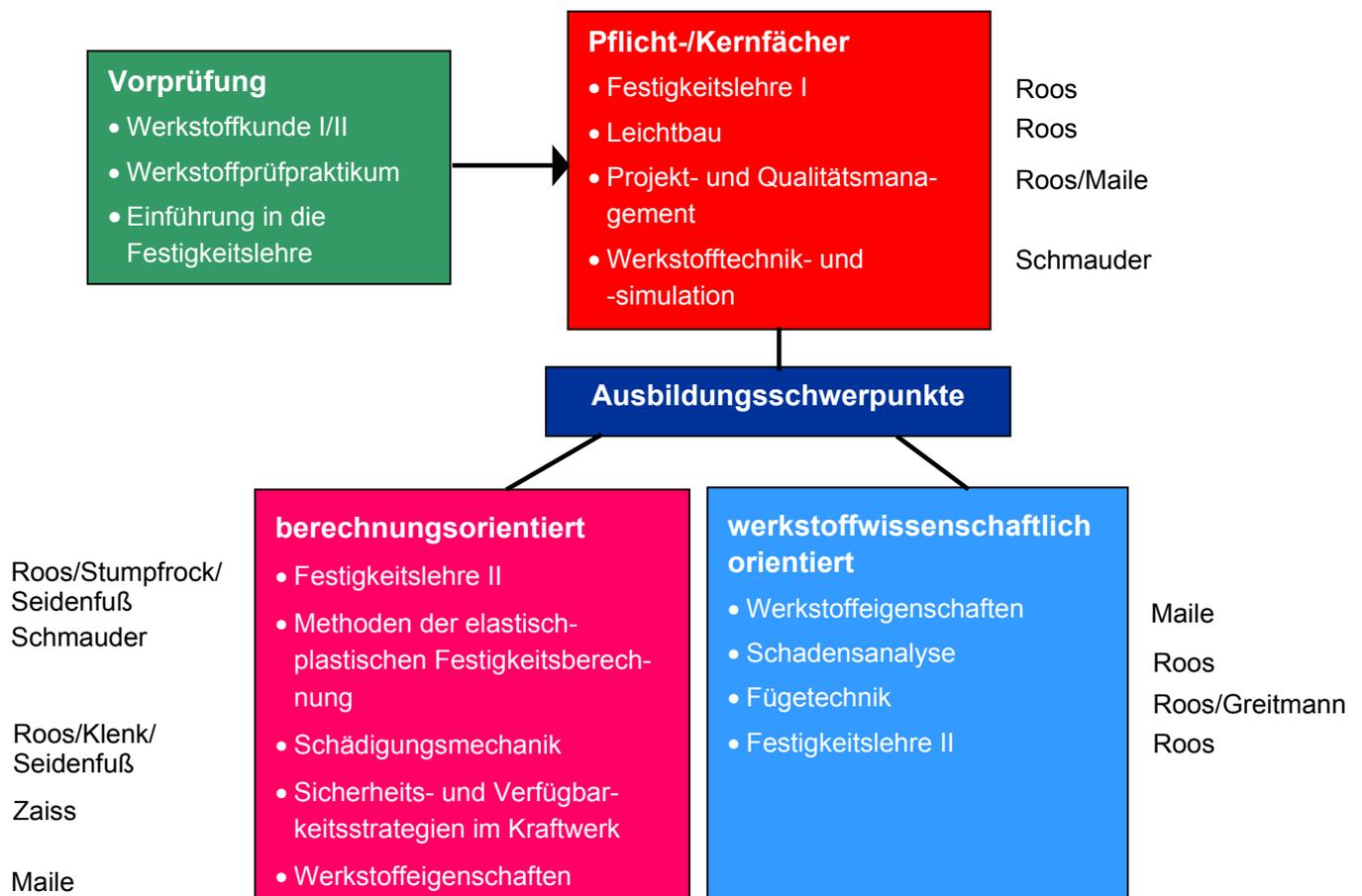
[13] Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives, Integrated Project in the 6<sup>th</sup> Framework Programme, Technological Development and Demonstration of the European Union, FP6-PLT-001653, <http://www.sustainablebridges.net>.

### Kontakt:

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Christian Große  
Materialprüfungsanstalt MPA Universität Stuttgart  
Postfach 801140; 70511 Stuttgart  
Tel.: 0711-685-66786; Email: [christian.grosse@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:christian.grosse@mpa.uni-stuttgart.de)

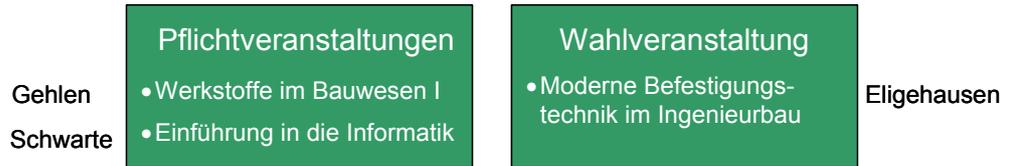
### 3 Lehre

Die Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart ist in verschiedenen Studiengängen und Studienrichtungen, die von den Fakultäten Bauwesen und Maschinenbau getragen werden, sowohl im Vor- als auch im Hauptdiplom engagiert. Dabei ist ein wesentliches Anliegen der Lehrenden die Forschungsarbeiten der MPA für die Studierenden in ein attraktives grundlagen- als anwendungsorientiertes Lehrangebot zu integrieren.

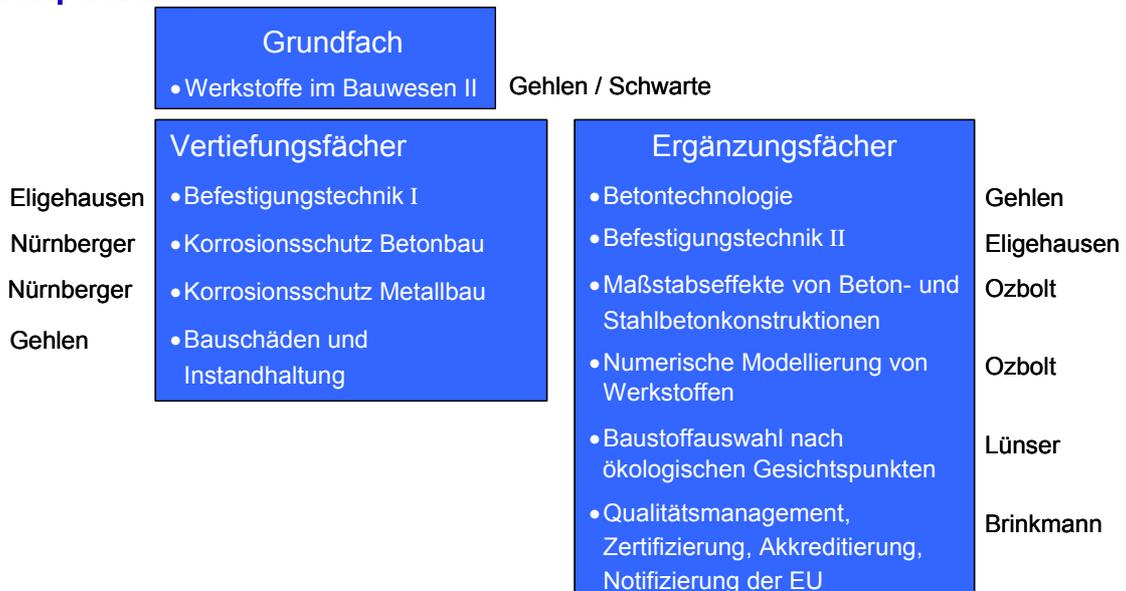


Vorlesungsangebot des Instituts für Materialsprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre (IMWF)

**Grundstudium**



**Hauptstudium**



Vorlesungsangebot des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen (IWB)

## 4 Neue Versuchseinrichtungen

In der **Brandprüfstelle** der MPA Stuttgart konnte im Jahr 2006 eine neue **Prüfeinrichtung zur Durchführung von Brandversuchen an Fahrschachttüren nach EN 81-58** in Betrieb genommen werden. Neben der SBI-Prüfeinrichtung, welche nun als die neue zentrale europäische Brandprüfeinrichtung für rd. 80% der europäisch zugelassenen Bauprodukte Anwendung findet, und dem europäischen Kombiofen für vertikale und horizontale Bauteile, jeweils 4m x 5m, mit den jeweiligen gesetzlich vorgeschriebenen nachgeschalteten Rauchgasreinigungsanlagen verfügt die Abteilung Brandschutz nunmehr über alle wesentlichen europäischen Brandprüfeinrichtungen für Bauprodukte, Bauarten und Bauteile.

In der Großversuchshalle der **Abteilung Baukonstruktionen und Werkstofftechnik** wurde in Kooperation mit einem Kunden eine **Fallhammeranlage** installiert (s. S. 12).

## 5 Berichte aus der Forschung der MPA Universität Stuttgart

### Ein gesamtheitliches Konzept für die Auslegung von Flanschverbindungen unter Verwendung realistischer Dichtungskennwerte

*E. Roos und H. Kockelmann*

#### 1 Problemstellung

Flanschverbindungen sind häufig verwendete Konstruktionselemente im Anlagenbau. Die sachgemäße Funktion (Dichtheit, Festigkeit) einer Flanschverbindung ist, abhängig vom abzudichtenden Medium und der funktionellen Bedeutung, auch im Hinblick auf die große Anzahl dieser Verbindungen entscheidend für die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit einer Anlage. Deshalb ist es erforderlich, schon bei der Auslegung nicht nur den Festigkeitsnachweis zu führen, sondern bei wichtigen Verbindungen auch nachzuweisen, dass die geforderte Dichtheit in allen Betriebszuständen eingehalten wird. Die „zulässige Leckagerate“ ist ggf. in Abhängigkeit vom geförderten Medium in Form von Dichtheitsklassen zu definieren.

Für die Abdichtung des geförderten Mediums wird zwischen die Flansche eine Dichtung eingelegt, deren Abdichtvermögen wesentlich von der Vorverformung bei der Montage geprägt wird. Je nach Einbausituation der Dichtung unterscheidet man zwischen Flanschverbindungen mit der Dichtung im Krafthauptschluss (KHS) oder im Kraftnebenschluss (KNS), Bild 1. Da sich der Abdichtmechanismus bei beiden Verbindungen wesentlich unterscheidet, müssen unterschiedlich gestaltete Flansche und Dichtungen (mit unterschiedlichen Dichtungskennwerten) verwendet und auch andere Nachweisverfahren angewendet werden. Die bestehenden Regelwerke und Normen behandeln allerdings fast ausschließlich Verbindungen mit der Dichtung im Krafthauptschluss, auch wenn Verbindungen mit der Dichtung im Kraftnebenschluss sehr oft, z.B. bei dynamischen Belastungen Vorteile haben und eingesetzt werden.

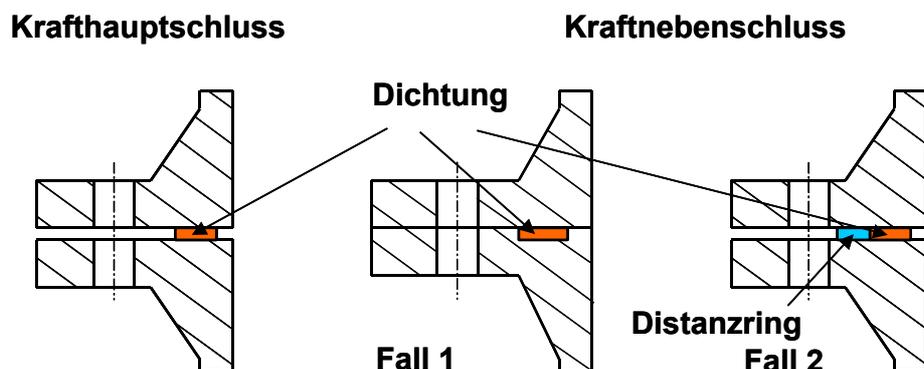


Bild 1: Ausführungsformen von Flanschverbindungen mit der Dichtung im Krafthaupt- und Kraftnebenschluss

Die für die Auslegung von Flanschverbindungen mit der Dichtung im Krafthauptschluss geeigneten Regelwerke ermöglichen

- die Bestimmung der Flanschabmessungen in Abhängigkeit von Nennweite und Innendruck für den ausgewählten Flanschtyp,
- die Bestimmung der Schraubenabmessungen und der Festigkeitsklasse für die berechnete Schraubkraft,
- die Bestimmung der Dichtungsabmessungen für den Flansch- und Dichtungstyp,
- die Ermittlung der relevanten Dichtungskennwerte und
- die Berechnung der Flanschverbindung (Dichtheits- und Festigkeitsnachweis).

Es ist anzumerken, dass bei wichtigen Verbindungen grundsätzlich eine Berechnung (Dimensionierung, Dichtheits- und Festigkeitsnachweis) auch bei der Verwendung genormter Teile durchzuführen ist, da

- die Flanschabmessungen in Maßnormen nur für Innendruck und Temperatur, berücksichtigt über die zulässige Spannung des Flanschwerkstoffs, mit einer pauschalen Betrachtung der Dichtungskennwerte bestimmt wurden,
- die erforderlichen Vorspannkraften nur mittels eines Dichtheitsnachweises mit den relevanten Kennwerten der verwendeten Dichtung (Dichtheitsklasse) und den gegebenen Belastungen (Montage, Betrieb) zu ermitteln sind und
- der Festigkeitsnachweis für die verwendeten Teile (Flansche, Schrauben, Dichtung) für die Vorspannung und die relevanten Betriebszustände durchzuführen ist.

Nicht alle genormten Berechnungsverfahren erfüllen die oben genannten Anforderungen, z.B. ASME Code [1] und AD Merkbblätter [2].

Für Flanschverbindungen mit der Dichtung im Kraftnebenschluss wurden in den letzten Jahren viele Untersuchungen hinsichtlich Dichtheit und Festigkeit an der MPA Universität Stuttgart durchgeführt. Auf der Basis dieser Ergebnisse wurden Dichtungsprüfverfahren und -einrichtungen realisiert, die relevanten Dichtungskennwerte ermittelt und ein Berechnungsverfahren für Dichtheits- und Festigkeitsnachweis entwickelt. Erstmals wurde dieses Konzept für die Auslegung von KNS-Flanschverbindungen in den Entwurf von KTA 3211.2 [3] bzw. VDI 2200 [4] integriert. Da beide noch nicht offiziell herausgegeben wurden, sind in diesem Beitrag auch die Grundlagen der Auslegung von Flanschverbindung mit der Dichtung im Kraftnebenschluss betrachtet.

In diesem Beitrag wird versucht mit der Behandlung

- der rechnerischen Auslegung,
- der Dichtungskennwerte und
- des Standes der Europäischen Normung

ein gesamtheitliches Konzept für die Auslegung von Flanschverbindungen zu erstellen.

## **2 Auslegung von Flanschverbindungen**

Die wesentlichen Voraussetzungen für eine sachgemäße Funktion einer Flanschverbindung sind

- die Auswahl einer geeigneten konstruktiven Ausführung (Flansche, Schrauben, Dichtung) für die gestellten Anforderungen,
- die Verfügbarkeit der relevanten Dichtungskennwerte der verwendeten Dichtung,
- die Bestimmung der erforderlichen Vorspannung (Schraubenkraft) im Rahmen des Dichtheitsnachweises,
- die Einhaltung der zulässigen Spannungen in allen Einzelteilen beim Festigkeitsnachweis und
- die Qualitätssicherung bei der Montage (Verifikation der Annahmen bei der Auslegung - Auswahl und Zustand der Einzelteile) und die kontrollierte Aufbringung der rechnerisch bestimmten Vorspannkraft mit begrenzter Streuung.

## 2.1 Anforderungen an die Auslegung

Zunächst ist die geforderte Dichtheitsklasse für das gegebene Betriebsmedium zwischen Betreiber und Aufsichtsbehörde bzw. Gutachter zu vereinbaren. Weiterhin muss diese Dichtheitsklasse dem bei der Dichtungsprüfung zur Ermittlung der Dichtungskennwerte verwendeten Prüfmedium zugeordnet werden. Im Bereich der Kerntechnik kann diesbezüglich z.B. auf KTA 3211.2 [3] zurückgegriffen werden.

Des Weiteren sind vom Betreiber die für die Dichtheit und Festigkeit relevanten Belastungen bei der Montage und im Betrieb anzugeben. Während die globalen Belastungen (Innendruck, Temperatur) meist hinreichend bekannt sind, fehlen häufig Angaben zu den zusätzlichen äußeren Kräften und Momenten, da bei Rohrleitungsflanschverbindungen nicht immer Rohrleitungsberechnungen vorhanden sind. Zusatzlasten können im warmgehenden Betrieb auch durch Temperaturänderungen bzw. -verteilungen bedingt werden. Sie sind meist nur durch Temperaturmessungen bei den jeweiligen betrieblichen Vorgängen zu beschaffen.

## 2.2 Auswahl der Flansche, Schrauben und Dichtung

Bei zu erwartenden dynamischen Belastungen sind Kraftnebenschlussverbindungen von Vorteil und entsprechend gestaltete Flansche zu verwenden. Für das Erreichen des Kraftnebenschlusses (Blocklage) ist die Flanschblattneigung zu begrenzen. Diesbezüglich ist eine hinreichende Steifigkeit der Flansche zu fordern.

Bei der **Auswahl der Flansche** (Abmessungen, Werkstoff) sind die Höhe des Innendrucks, die Betriebstemperatur, äußere Zusatzlasten und ggf. korrosive Eigenschaften des geförderten Mediums zu berücksichtigen. Generell gilt:

- steife Flansche (und Schrauben) führen bei äußeren Zusatzlasten zu einer geringeren Entlastung der Dichtung (Rohrleitungskräfte: Zug entlastet Dichtung weniger / Druck belastet weniger) .
- bei weichen Flanschen (und Schrauben) wird die Verbindung durch die zeitabhängige plastische Verformung der Dichtung weniger entlastet.

Für die **Auswahl der Schrauben** und Muttern (Form, Abmessungen und Werkstoff sind in DIN EN 1515 [5] geregelt) spielen die Art der Flansche und die Betriebstemperatur eine Rolle:

- die Schraubenabmessungen sind durch die Flansche festgelegt,
- die Festigkeitsklasse wird im Rahmen des Festigkeitsnachweises bestimmt,
- der Schraubenwerkstoff sollte einen möglichst ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizient haben wie der Flanschwerkstoff, da sonst temperaturabhängige Zusatzbeanspruchungen entstehen,
- bei gängigen Verbindungen sind Schaftschrauben zu verwenden,
- bei höherwertigen Verbindungen sind Dehnschrauben mit höherer Nachgiebigkeit (Elastizität) und günstigerem Verhalten bei veränderlichen Belastungen (Ermüdung) vorzuziehen.

Im Kraft Hauptschluss können zur Verminderung der Entspannung der Verbindung durch zeitabhängige plastische Verformung der Dichtung nach der Montage Dehnhülsen bzw. Tellerfedern eingesetzt werden. Bei hohen äußeren Zusatzbelastungen sind solche Konstruktionselemente jedoch zu vermeiden, da sie zu einer stärkeren Entlastung der Dichtung führen.

Zur Verbesserung der Montagequalität (Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Vorspannung, Vermeidung von „Fressen“ usw.) sind Unterlegscheiben zu verwenden, insbesondere dann, wenn die Vorspannung drehmomentgesteuert erfolgt. Eine hohe Genauigkeit der Vorspannung bei der Montage wird durch die Verwendung von Dehnschrauben mit Messstift gewährleistet.

Aufgrund der unterschiedlichen Funktion der Dichtung im KHS und KNS müssen für diese beiden Verbindungstypen unterschiedliche Dichtungen mit verschiedenen Dichtungskennwerten eingesetzt werden.

Für die **Auswahl der Dichtung** ist zunächst deren Langzeitverhalten unter dem Einfluss des gegebenen Mediums und der betrieblichen Belastungen, hauptsächlich Temperatur, von Bedeutung:

- chemische Beständigkeit gegen das abzudichtende Medium
- Änderung der (langzeitigen) Abdichteigenschaften
- Korrosionsverhalten bei gegebenem Flanschwerkstoff und Medium
- Ausblässicherheit usw.

Da diesbezüglich nahezu keine Prüfverfahren und dementsprechend wenige abgesicherte Ergebnisse zur Verfügung stehen, muss hinsichtlich der Eignung der ausgewählten Dichtung auf die Erfahrungen der Dichtungshersteller zurückgegriffen werden. In DIN 28090-2 und DIN 28090-3 sind Hinweise zur Überprüfung dieser Eigenschaften zu finden [6].

Bei der Auswahl der Dichtung sind weiterhin die für die Berechnung der Flanschverbindung relevanten Dichtungskennwerte maßgeblich (Kapitel 3). Die geforderte Dicht-

heitsklasse bestimmt die Anforderungen an die Abdichteigenschaften der Dichtung, die Temperatur und die vorgesehene Flächenpressung die Verformungseigenschaften.

## **2.3 Berechnung von Flanschverbindungen**

### **2.3.1 Grundlagen**

Die Berechnung einer Flanschverbindung muss beinhalten /7-10/, Bild 2,

- die Dimensionierung,
- den Dichtheitsnachweis einschließlich Bestimmung der Vorspannung und
- den Festigkeitsnachweis.

Die Berechnung ist auch bei der Verwendung genormter Teile (Flansche, Schrauben, Dichtung) erforderlich, wie einleitend begründet wurde.

Voraussetzungen und Gegenstand einer sachgemäßen Berechnung sind

- die Eingabe der geometrischen Abmessungen und richtige Bestimmung der Steifigkeiten der Einzelteile,
- die Verwendung der relevanten Dichtungskennwerte,
- die Eingabe der relevanten Belastungen,
- die Bestimmung der Vorspannung durch iterative Vorgehensweise,
- die Gewährleistung der geforderten betrieblichen Dichtungsflächenpressung für die vorgesehene Dichtheitsklasse und
- der Nachweis der Festigkeit für alle Teile der Verbindung.

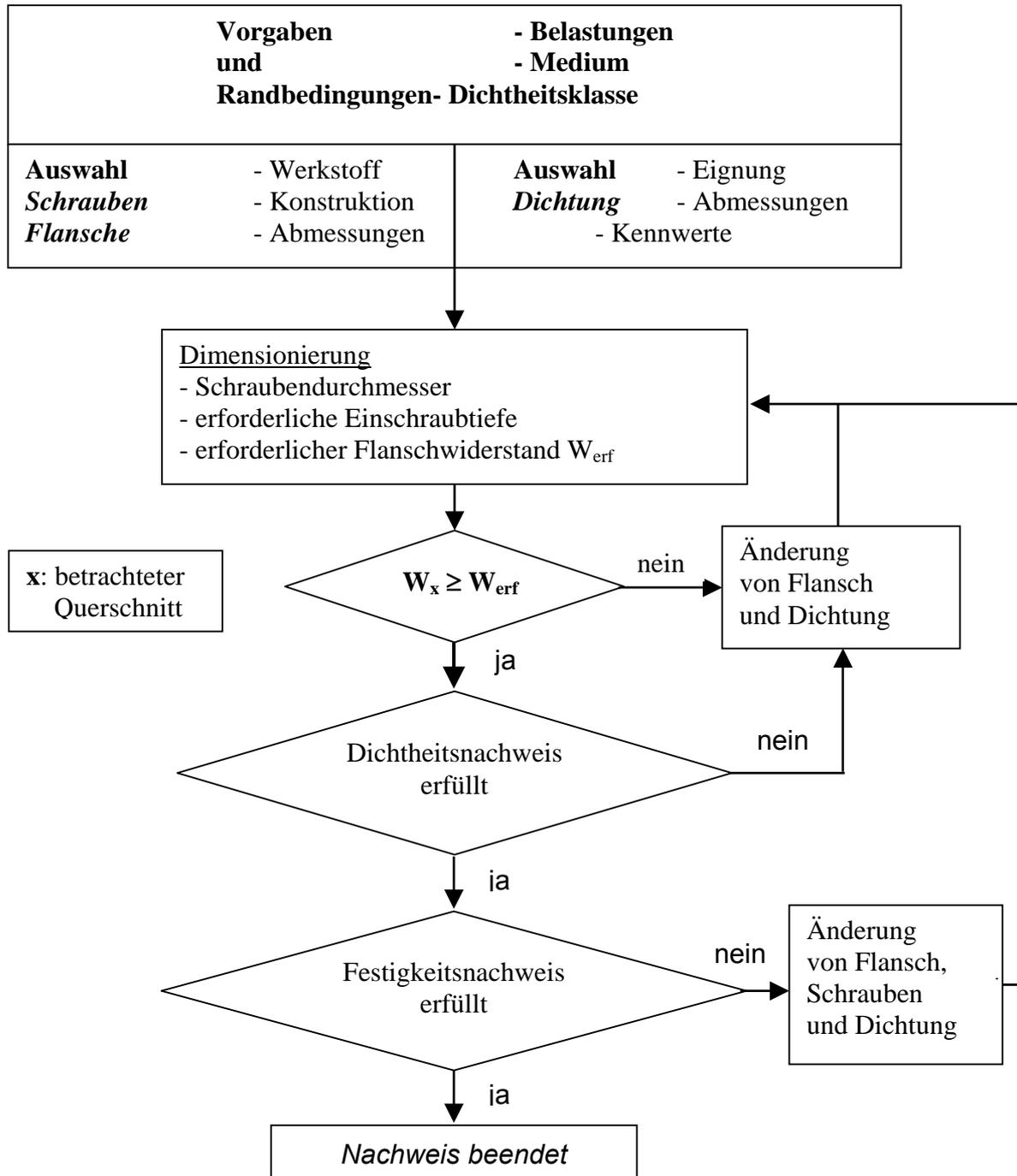


Bild 2: Allgemeines Ablaufschema für die Berechnung von Flanschverbindungen

### 2.3.2 Flanschverbindungen mit der Dichtung im Kraft Hauptschluss

Die „genormten“ Berechnungsverfahren für KHS-Verbindungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Ein Berechnungsverfahren entsprechend dem ASME Code (und auch CODAP, PD 5500) erlaubt nur einen pauschalen Festigkeitsnachweis bzw. eine Dimensionierung. Dies ist darin begründet, dass weder die Vorspannung noch die Beanspruchungen in den Betriebszuständen berechnet werden können und die Dich-

tungseigenschaften nicht mit prüftechnisch ermittelten Dichtungskennwerten, sondern mit abgeschätzten, pauschalen Werten ( $m$ ,  $y$ ) berücksichtigt werden. Der Dichtheits- und Festigkeitsnachweise ist nur mit KTA 3201.2 [11] bzw. KTA 3211.2 [12] im kern-technischen Bereich und auf europäischer Ebene mit DIN EN 1591-1 [13] möglich. Allerdings sind die in diesen Regelwerken angegebenen Dichtungskennwerte unzureichend (sog. „traditionelle“ Werte meist unbekanntes Ursprungs) und bedürfen einer Überarbeitung auf der Basis fundierter Dichtungsprüfungen.

<b>ASME Code</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nur Dimensionierung</li> <li>- Dichtheitsnachweis und Bestimmung der Vorspannung nicht möglich</li> </ul>
<b>AD Merkblätter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- veraltet hinsichtlich Dichtungskennwerte</li> </ul>
<b>KTA 3201.2 / KTA 3211.2 DIN 2505 (Entwurf 1990)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berechnungsformeln vorhanden</li> <li>- kein Berechnungsalgorithmus verfügbar</li> <li>- bisher ungeeignete Dichtungskennwerte</li> </ul>
<b>DIN EN 1591-1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berechnungsformeln vorhanden</li> <li>- Berechnungsalgorithmus schwer überschaubar</li> <li>- veraltete Dichtungskennwerte in DIN ENV 1591-2</li> <li>- keine Verifikation des Dichtheitsnachweises</li> </ul>

Tabelle 1: Standardisierte Berechnungsverfahren für Flanschverbindungen

### 2.3.3 Flanschverbindungen mit der Dichtung im Kraftnebenschluss

Für die Auslegung von Flanschverbindungen mit Kraftnebenschluss wurde ein vereinfachtes analytisches Berechnungsverfahren entwickelt [14], welches auch dem Regeländerungsentwurfsvorschlag KTA 3211.2 vom März 2003 [3] zugrunde liegt. Der Berechnungsgang ist wie folgt:

- Dimensionierung der Flansche
- Bestimmung der erforderlichen Widerstandsmomente  $W_{\text{erforderlich}}$  für die spezifizierten Belastungen, die gewählte Dichtung (Abmessungen, Dichtungskennwerte) und die zulässigen Spannungen des Flanschwerkstoffs (Bedingung:  $W_{\text{vorhanden}} \geq W_{\text{erforderlich}}$ )
- Dichtheits- und Festigkeitsnachweis

Können die Nachweise nicht erbracht werden, ist eine Wiederholung der Schritte erforderlich, bis die Bedingungen erfüllt sind, siehe Ablaufschema in Bild 2.

Bei KNS-Verbindungen muss die Blocklage bei allen relevanten Belastungen beibehalten werden. Unter diesen Bedingungen kann sich die Schraubkraft im Betrieb nur unwesentlich ändern, Bild 3. Lediglich im Störfall kann z.B. durch die Temperaturverteilung ein lokales Entlasten der Dichtung (Spaltbildung) hervorgerufen werden. Die Dichtung (Pressung  $\sigma_{\text{KNS}}$ ) überträgt nur einen geringen Anteil ( $F_{\text{SKU}}$ ) der Vorspannkraft ( $F_{\text{SOU}}$ ).

Eine Verminderung der Dichtungsflächenpressung kann nur durch Relaxation bewirkt werden (Relaxationsfaktor  $g_{KNS}$ ). Für die Dichtungsflächenpressung im Betrieb  $\sigma_{DB}$  gilt vereinfacht:

$$\sigma_{DB} = g_{KNS} \cdot \sigma_{KNS}$$

Die Änderung der Leckagerate  $\lambda$  wird mit der errechneten Entlastung nach Bild 4 bestimmt. Die Leckagerate  $\lambda$  und der abdichtbare Druck  $p_{KNS/L}$  der Verbindung sind mit der errechneten Dichtungsflächenpressung  $\sigma_{DB}$  nach Bild 5 und 6 zu bestimmen. Dabei gilt die Forderung  $\lambda_{\text{vorhanden}} \leq \lambda_{\text{erforderlich}}$ .

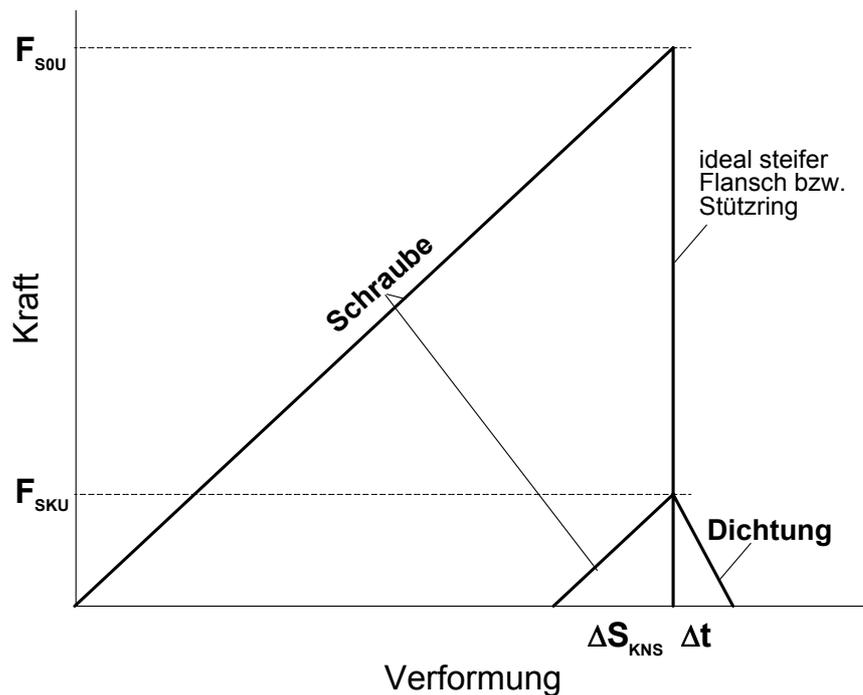


Bild 3: Verspannungsschaubild für KNS-Flanschverbindungen

( $\Delta S_{KNS}$ : Längenänderung der Schrauben,  $\Delta t$ : Dickenänderung der Dichtung, jeweils bei KNS)

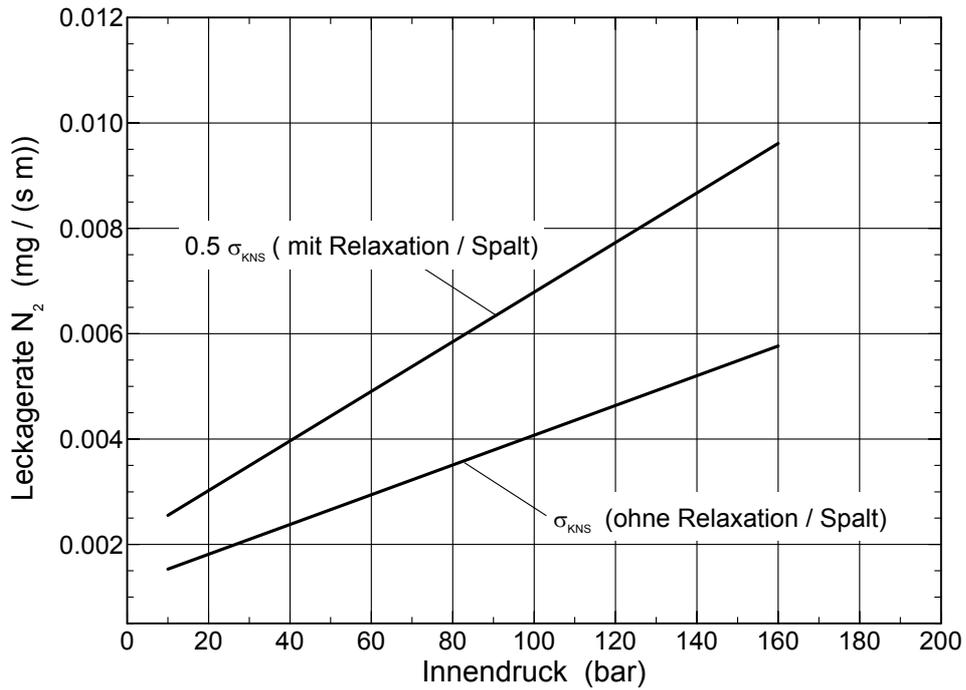


Bild 4: Einfluss der Relaxation auf die Leckagerate von KNS-Flanschverbindungen (Beispiel:  $g_{KNS} = 0,5$ )

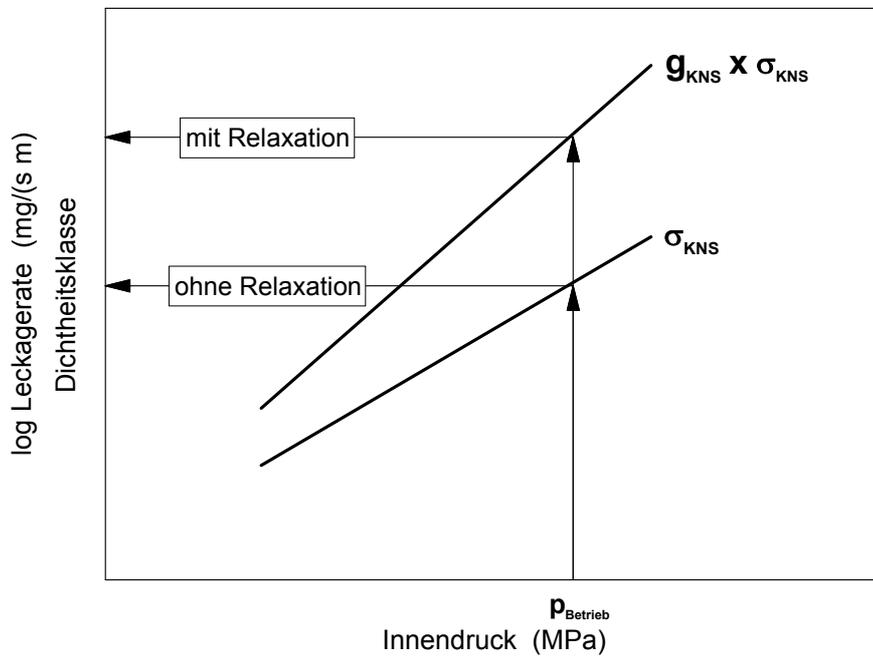


Bild 5: Bestimmung der Leckagerate von KNS-Flanschverbindungen

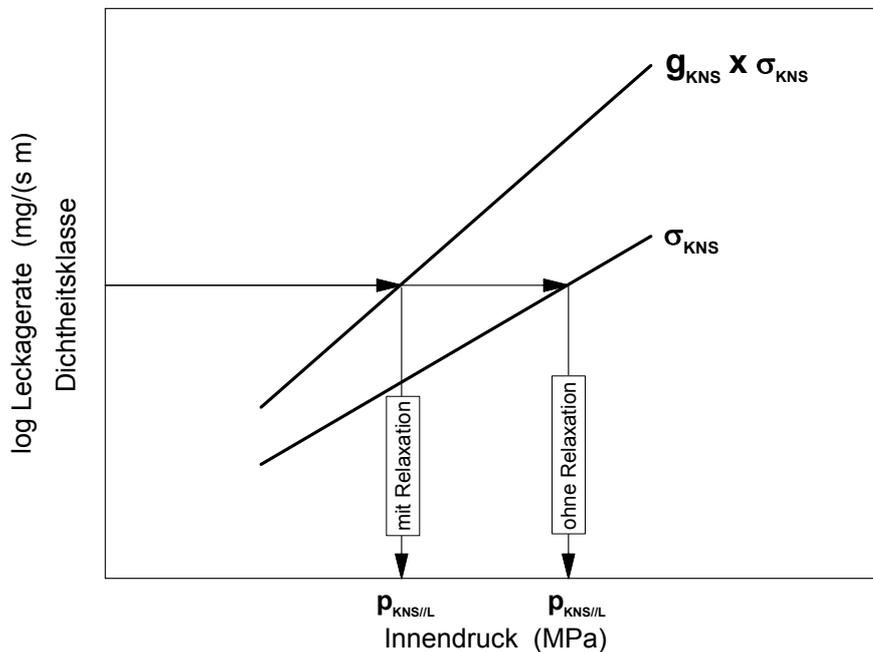


Bild 6: Bestimmung des abdichtbaren Drucks (von KNS-Flanschverbindungen)

Beim Festigkeitsnachweis für die Flansche ist nur der Querschnitt C-C [11,12] zu überprüfen, da durch die Begrenzung der Flanschblattneigung infolge der Schraubenkraft in den restlichen Querschnitten vernachlässigbar kleine Beanspruchungen hervorgerufen werden.

Werden die einzelnen Bedingungen nicht erfüllt, dann ist entsprechend Bild 3 iterativ vorzugehen.

### 3 Dichtungskennwerte für Dichtheits- und Festigkeitsnachweis

#### 3.1 Kennwerte für Dichtungen im Kraft Hauptschluss

Sowohl für den Einbau- als auch alle Betriebszustände werden zwei Grenzwerte der Flächenpressung gefordert, die den zulässigen Bereich bestimmen [15]:

- Mindestpressung im Hinblick auf die Dichtheit
- Maximal zulässige Pressung zur Vermeidung der Überlastung bzw. Zerstörung der Dichtung

Weiterhin werden Kennwerte benötigt, welche die Ermittlung der Dichtungskraftänderung zwischen Einbau- und Betriebszustand ermöglichen:

- ein Kennwert, der das Rückfederungsverhalten der Dichtungen bei Dichtungspressungsänderungen (Entlastung) beschreibt (Ersatz-Elastizitätsmodul)
- ein Kennwert, der das Relaxationsverhalten der Dichtungen beschreibt, mit dem die verbleibende Betriebsdichtungskraft unter der Einwirkung von Zeit, Temperatur usw. bestimmt werden kann
- ein Kennwert, der die thermische Ausdehnung der Dichtung charakterisiert

Diese Kennwerte sind in DIN 28090-1 [6] (entspricht KTA) und in DIN EN 13555 [16] (entspricht DIN EN 1591) definiert und in Tabelle 2 zusammengestellt. In beiden Normen ist lediglich der Relaxationsfaktor unterschiedlich definiert, es besteht aber eine gewisse Analogie zwischen beiden Begriffsbildungen. Weiterhin ist auch der thermische Ausdehnungskoeffizient in DIN EN 13555 [16] definiert, allerdings gibt es kein anerkanntes Prüfverfahren, so dass diesbezüglich Unsicherheiten bestehen. Nach DIN ENV 1591-2 [13] sind die thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Flanschwerkstoffs auch für die Dichtung zu verwenden, wenn für diese selbst keine Angaben vorliegen.

DIN 28090-1 1995	DIN EN 13555 2005	Prüfverfahren
$\sigma_{VU/L}$	$Q_{\min(L)} = \sigma_{VU/L}$	DIN 28090-1: Leckageversuch DIN EN 13555: Leckageversuch
$\sigma_{BU/L}$	$Q_{S\min(L)} = \sigma_{BU/L}$	DIN 28090-1: Leckageversuch DIN EN 13555: Leckageversuch
$\sigma_{VO}$	$Q_{S\max} = \sigma_{VO}$	DIN 28090-1: Stauchversuch DIN EN 13555: Zyklischer Stauchversuch
$\sigma_{BO}$	$Q_{S\max} = \sigma_{BO}$	DIN 28090-1: Druckstandversuch DIN EN 13555: Zyklischer Stauchversuch
$E_D$	$E_G = E_D$	DIN 28090-1: Zyklischer Stauchversuch DIN EN 13555: Zyklischer Stauchversuch
$\Delta h_D$	$P_{QR} \sim 1 / (1 + \text{const. } \Delta h_D)$	DIN 28090-1: Kriechrelaxationsversuch DIN EN 13555: Kriechrelaxationsversuch
	$\alpha_G$	DIN EN 13555: Thermischer Ausdehnungsversuch

Tabelle 2: Dichtungskennwerte und -prüfverfahren nach DIN 28090-1 (entspricht KTA) und DIN EN 13555 (entspricht DIN EN 1591)

Für die Ermittlung der in Tabelle 2 definierten Kennwerte sind mit DIN EN 13555 [16] geeignete Prüfverfahrenen verfügbar. Auch wenn die Kennwertermittlung unter idealisierten Bedingungen (Steifigkeit der Prüfeinrichtung, Belastung usw.) erfolgt, so sind diese Kennwerte verifiziert und für die Auslegung von Flanschverbindungen verwendbar [17,18].

### 3.2 Kennwerte für Dichtungen im Kraftnebenschluss

Ein Berechnungsverfahren für Flanschverbindungen mit der Dichtung im Kraftnebenschluss ist im Regeländerungsentwurfsvorschlag der KTA 3211.2 [3] und in VDI 2200 [4] enthalten. Es werden drei Eigenschaften bzw. Kennwerte der Dichtung benötigt:

- die erforderliche Dichtungsflächenpressung für das Erreichen des Kraftnebenschlusses (sogenannte Blocklage)  $\sigma_{KNS}$
- der größte abdichtbare Innendruck  $p_{KNS/L}$  für die Blocklage entsprechend der geforderten Dichtheitsklasse L

- die Relaxation der Dichtungsflächenpressung bei Kraftnebenschluss unter dem Einfluss von Zeit und Temperatur (Relaxationsfaktor  $g_{KNS}$ )

In Tabelle 3 sind diese kennzeichnenden Eigenschaften einer Dichtung im Kraftnebenschluss denen von Dichtungen im Krafthauptschluss gegenübergestellt.

	Krafthauptschluss		Kraftnebenschluss	
	Dichtungskennwert	Zielsetzung	Dichtungskennwert	Zielsetzung
<b>Montage</b>	Mindestflächenpressung im Einbauzustand	Optimale Anpassung und Dichtheit	Dichtungsflächenpressung für Kraftnebenschluss	Optimale Dichtheit und Vermeidung der Zerstörung
	Höchstflächenpressung im Einbauzustand	Vermeidung von Zerstörung und übermäßiger Verformung		
<b>Betrieb</b>	Mindestflächenpressung im Betriebszustand	Begrenzung der Leckagerate	Abdichtbarer Druck für angestrebte Dichtheitsklasse	Begrenzung der Leckagerate
	Höchstflächenpressung im Betriebszustand	Vermeidung von Zerstörung und übermäßiger Verformung		
	Ersatz-Elastizitätsmodul (Dichtungs-rück-federung)	Berechnung von Schrauben- und Dichtungskraftänderungen		
	Setzbetrag (im Betriebszustand)	Ermittlung der Relaxation	Relaxation der Dichtungsflächenpressung	Einfluss der Relaxation auf die Leckagerate

Tabelle 3: Dichtungskennwerte für KHS- und KNS-Flanschverbindungen

Das Verhalten von Dichtungen im Kraftnebenschluss hängt entscheidend von den Abmessungen von Dichtung und Nut bzw. dem Spiel der Dichtung in der Nut ab, in welche die Dichtung eingelegt wird – eine sehr häufige konstruktive Ausführung von KNS-Verbindungen, allerdings sind auch andere Ausführungen denkbar und im Einsatz, Bild 1. Wichtigste Einflussgrößen sind die Toleranz der Dichtung am Außendurchmesser, d.h. die Differenz der Außenradien von Nut und Dichtung, und das Übermaß der Dichtung, d.h. die Differenz der Dichtungsdicke und der Nuttiefe, bei Nut- und Federverbindungen die lichte Höhe des Dichtungsraums bei Kraftnebenschluss.

Durch geeignete Wahl dieser Parameter sind die in Tabelle 3 angegebenen Kennwerte günstig einzustellen. Das erfordert eine entsprechende Dichtungsprüfung mit Variation der geometrischen Parameter.

## 4 Stand der europäischen Normung

In der europäischen Normung (CEN) sind die folgenden wesentlichen (harmonisierten oder zur Harmonisierung vorgesehenen Normen unter dem Mandat M/071 (Pressure Equipment Directive (PED 97/23/EC)) erstellt:

- Maßnormen für Flansche aus Stahl, Gusseisen, Kupfer- und Aluminiumlegierungen sowohl für das PN- (DIN EN 1092) als auch das Class-bezeichnete System (DIN EN 1759)
- Schraubennormen (DIN EN 1515)
- Maßnormen für Dichtungen für die unterschiedlichen Dichtungswerkstoffe und -arten, dies wiederum für das PN- (DIN EN 1514) und das Class-bezeichnete System (DIN EN 12560)
- Normen zur Definition der Dichtungskennwerte, zur Dichtungsprüfung (DIN EN 13555) und zur Qualitätssicherung von Dichtungen (DIN EN 14772 [19])
- Berechnungsregeln für die Auslegung von Flanschverbindungen und die Bestimmung der P/T-Ratings DIN EN 1591 [13]
  - Teil 1: Krafthauptschlussverbindungen
  - Teil 2: Dichtungskennwerte für Krafthauptschlussverbindungen
  - Teil 3: Kraftnebenschlussverbindungen (CEN TS (Technische Spezifikation))
  - Teil 4: Qualifizierung des Personals für die Montage von Flanschverbindungen (CEN TS)

Der Teil 3 der DIN EN 1591 (Berechnung von KNS-Verbindungen) liegt derzeit im Entwurf vor und wurde von deutscher Seite i. W. auf Grund unnötiger Komplexität zurückgewiesen. Er wird deshalb zunächst nicht als Norm, sondern als eine Technische Spezifikation von CEN herausgegeben werden. Weiterhin ist eine Technische Spezifikation „Qualifizierung der personellen Kompetenz für die Montage von Flanschverbindungen im Bereich der PED“ als Teil 4 in Vorbereitung. Alle anderen Arbeitspunkte von CEN TC 74 sind abgeschlossen.

Nach Abarbeitung der o. g. offenen Punkte steht in Europa ein umfassendes und geschlossenes Konzept für die Auslegung von KHS-Flanschverbindungen zur Verfügung, Bild 6.

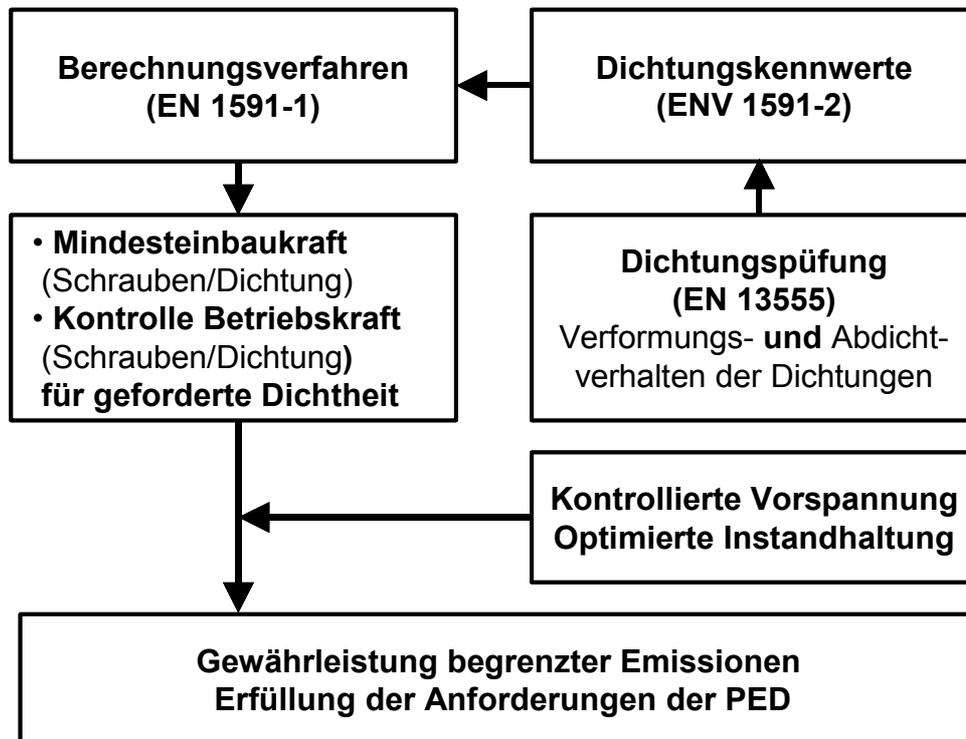


Bild 6: Auslegung von Flanschverbindungen mit Krafthauptschluss nach europäischen Normen

## 5 Zusammenfassung

Ein gesamtheitliches Konzept für die Auslegung von Flanschverbindung muss Folgendes beinhalten:

- Anforderungen (Medium, Belastungen, Dichtheitsklasse, ...)
- Auswahl der konstruktiven Ausführung
  - Flanschtyp (KHS, KNS, Steifigkeit, Werkstoff, ...)
  - Schrauben (Schaft-, Dehnschrauben, Festigkeitsklasse, Werkstoff, ...)
  - Dichtungsart (Langzeitverhalten, Berechnungskennwerte, ...)
- Dichtheitsnachweis (Berechnung der erforderlichen Vorspannung)
- Festigkeitsnachweis (Einhaltung der zulässigen Spannungen bzw. Begrenzung des Erschöpfungsgrades)
- Sachgemäße Montage (mit begrenzter Streuung der Schraubenkraft)

Im kerntechnischen Bereich und in der Europäischen Normung sind geeignete Auslegungsverfahren und die Prüfverfahren zur Ermittlung der eingehenden Dichtungskennwerte verfügbar.

Die Auslegung von Flanschverbindungen mit Flanschen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) nach AD-Merkblatt N1 [20] ist auf Grund der angesetzten hohen Si-

cherheitsbeiwerte und Werkstoffabminderungsfaktoren sehr konservativ. Das Berechnungsverfahren in DIN EN 1591-1 ist noch nicht für diese Art der Flanschverbindungen validiert. In grundlegenden Forschungsarbeiten wird derzeit die Entwicklung eines realistischen Auslegungsverfahrens für Flanschverbindungen mit Flanschen aus GFK in optimierter, beanspruchungs- und werkstoffgerechter konstruktiver Ausführung angestrebt [21].

## 6 Literatur

- [1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII, Division 1 (2004)
- [2] AD 2000-Merkblatt B7: Schrauben (Oktober 2000)  
AD 2000-Merkblatt B8: Flansche (Oktober 2000)
- [3] KTA 3211.2: Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises, Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung, Regeländerungsentwurfsvorschlag (März 2003)
- [4] VDI Richtlinie 2200: Dichte Flanschverbindungen; Auswahl, Auslegung, Gestaltung und Montage von verschraubten Flanschverbindungen, (Entwurf Juni 2005)
- [5] DIN EN 1515: Flansche und ihre Verbindungen - Schrauben und Muttern -  
DIN EN 1515-1: Auswahl von Schrauben und Muttern (November 1999)  
DIN EN 1515-2: Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen für Stahlflansche, nach PN bezeichnet (Dezember 2001)  
prEN 1515-3: Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen für Stahlflansche, nach Class bezeichnet (Oktober 2004)
- [6] DIN 28090 „Statische Dichtungen für Flanschverbindungen“ (1995-09)  
Teil 1: Dichtungskennwerte und Prüfverfahren  
Teil 2: Dichtungen aus Dichtungsplatten; Spezielle Prüfverfahren zur Qualitätssicherung  
Teil 3: Dichtungen aus Dichtungsplatten; Prüfverfahren zur Ermittlung der chemischen Beständigkeit
- [7] J. Bartonicek, A. Kessler, A. Wiemer, M. Ulmer, M. Schaaf: Voraussetzungen für die Absicherung der Funktion von Flanschverbindungen, 25. MPA-Seminar, Stuttgart, 1999
- [8] J. Bartonicek, H. Kockelmann, E. Roos und F. Schöckle: „Dicht“ - was ist das? 28. MPA-Seminar, 10./11. Oktober 2002, Stuttgart
- [9] H. Kockelmann: Anwendung von Europäischen harmonisierten Produktnormen für Flanschverbindungen, FDBR DIN Gemeinschaftstagung „Nationale Umsetzung der EU-Richtlinien und Europäischen Normen für Druckgeräte und deren Betriebssicherheit“, 25. Juni 2003, Bochum
- [10] M. Schaaf und J. Bartonicek: Berechnung von Flanschverbindungen mit Krafthaupt- und Kraftnebenschluss, 28. MPA-Seminar, 10./11. Oktober 2002, Stuttgart

- [11] KTA 3201.2: Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren, Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung (6/1996)
- [12] KTA 3211.2: Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises, Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung, (6/1992)
- [13] DIN EN 1591: Flansche und ihre Verbindungen, Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung  
DIN EN 1591-1: Berechnungsmethode (Oktober 2001)  
DIN ENV 1591-2: Dichtungskennwerte (Juni 2001)  
prEN TS 1591-3: Berechnungsmethode für Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraft-Nebenschluss (August 2004)  
prEN TS 1591-4: Qualification of personnel competency in bolted joint assembly under Pressure Equipment Directive 97/23/EC (June 2006)
- [14] H. Kockelmann, J. Bartonicek, E.G. Meyer und M. Trobitz: Festigkeits- und Dichtheitsnachweis für Flanschverbindungen mit der Dichtung im Krafthaupt- und Kraftnebenschluss, Vortragsveranstaltung „Gewährleistung von Sicherheit und Verfügbarkeit von Leichtwasserreaktoren“ am 13./14. Juni 2002, MPA Stuttgart
- [15] F. Schöckle, J. Bartonicek, R. Hahn und H. Kockelmann: Abdichteigenschaften von Dichtungen für Flanschverbindungen. 28. MPA-Seminar, 10./11. Oktober 2002, Stuttgart
- [16] DIN EN 13555: Flansche und ihre Verbindungen, Dichtungskennwerte und Prüfverfahren für die Anwendung der Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtungen (Februar 2005)
- [17] J. Bartonicek, Y. Birembaut, H. Kockelmann and J.-C. Vignaud: Verification of Gasket Factors Determined in Standardized Tests by Means of Flanged Joints - European Research Project BE 5191 - Task 9 -. 4<sup>th</sup> International Symposium on Fluid Sealing, 17-19 Septembre 1996, Mandelieu/France
- [18] R. Hahn and H. Kockelmann: PERL - European Research Project on Characterization of Gaskets for Bolted Flange Connections, 30<sup>th</sup> MPA-Seminar in conjunction with the 9<sup>th</sup> German-Japanese Seminar, Stuttgart, October 6 and 7, 2004
- [19] DIN EN 14772: Flansche und ihre Verbindungen - Qualitätssicherungsprüfung und Prüfung von Dichtungen nach den Normen der Reihen EN 1514 und EN 12560 (April 2005)
- [20] AD-Merkblatt N1 Druckbehälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK)
- [21] AiF / DECHEMA-Forschungsvorhaben "Auslegung von Flanschverbindungen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) für die chemische Industrie", AiF-Nr. 14235 BG/1, Laufzeit 02/2005-07/2006; Universität Stuttgart, Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre (IMWF); Technische Universität Clausthal, Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststoff-

technik;

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Maschinenkonstruktion

## **Werkstoffforschung im Rahmen der COORETEC Initiative**

*A. Klenk, K. Maile*

Die MPA Universität Stuttgart ist ein wichtiger Kooperationspartner für die Industrie im Rahmen der COORETEC Initiative der Bundesregierung (<http://www.cooretec.de>).

COORETEC ist ein F&E-Netzwerk, das vom BMWi initiiert wurde und das folgende Ziele verfolgt:

1. Weiterentwicklung der Technologien zur wirtschaftlichen und sicheren Nutzung von Kohle und Gas
2. Verbesserung der Effizienz zur Schonung der Ressourcen Kohle und Gas
3. Schaffung realistischer Optionen zur effizienten, wirtschaftlichen und sicheren CO<sub>2</sub>-Rückhaltung
4. Verbesserung der Akzeptanz durch offene Kommunikation
5. Schaffung und Ausbau nationaler und internationaler F&E-Netzwerke in der Fachwelt

Übergeordnetes Ziel ist das CO<sub>2</sub>-freie Kohlekraftwerk, das in einem vorgegebenen Zeitrahmen von rd. 20 Jahren realisiert werden soll und damit einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen und umweltschonenden Energieversorgung liefern wird. Auf diesem Weg in die Zukunft müssen durch Effizienzsteigerungen alte Kraftwerke mit hohem spezifischem Brennstoffverbrauch und entsprechend hohem CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch effizientere Anlagen ersetzt werden. Die heute im Einsatz befindlichen Anlagen arbeiten bei 530 °C Dampftemperatur mit einem Nettowirkungsgrad von rd. 40%. Bis zum Jahr 2015 werden diese durch Anlagen ersetzt, die bei 620 °C einen Nettowirkungsgrad von rd. 45% aufweisen und demzufolge bei gleicher Leistung rd. 20% weniger CO<sub>2</sub> ausstoßen. Der nächste Schritt zum CO<sub>2</sub>-freien Kohlekraftwerk wird die 700°C Anlage mit 50% Nettowirkungsgrad sein. Diese können die Leistungsverluste, die durch die CO<sub>2</sub>-Abspaltung und Abspeicherung entstehen, kompensieren. Die technische Umsetzung der 620- und 700°C-Kraftwerke stellt eine unverzichtbare Basis für die Realisierung des CO<sub>2</sub>-freien Kraftwerkes dar. Hiermit verbunden ist die Lösung einer Vielfalt von materialtechnischen Problemstellungen, die auch für andere technische Gebiete synergetische Auswirkungen aufweisen. Die Bedeutung der Materialforschung als wichtigen Beitrag für die mittel- und langfristige Umsetzung der Vorgaben zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung wurde zuletzt auf dem G8 Expert Workshop on Clean Coal Technologies am 6. -7. März 2007 in Leipzig vorgestellt.

Die Arbeiten der MPA Universität Stuttgart haben ihren besonderen Schwerpunkt in der Cooretec Arbeitsgruppe AG 2 „Forschung und Entwicklung zum Kohle -

Dampfkraftwerk“. Die MPA hat bei der Erstellung eines nationalen Werkstoffstrategiepapiers „Werkstoffe für das emissionsarme fossil befeuerte Kraftwerk“ mitgewirkt. Auf dieser Basis wurden verschiedene F&E-Projekte definiert, die im Jahr 2006 bei den jeweiligen Projektträgern eingereicht und mittlerweile genehmigt wurden. Die MPA ist in allen Projekten (mit Ausnahme von DE-2) mit wichtigen Lösungsansätzen beteiligt.

	Titel	Laufzeit	Projektkosten (M€)
DE-1	Korrosions- und Verschlackungsverhalten 700°C-Werkstoffe	2006 - 2010	4,3
DE-2	Eigenschaften Überhitzerwerkstoffe nach Kaltverformung	2007 - 2010	0,4
DE-4	Festigkeits- und Verformungsverhalten von Rohren und Schmiedeteilen aus Nickelbasis-Legierungen	2007 - 2010	2,2
DT-3	Qualifizierung von 10%Cr-Werkstoffen und Verbindung	2007 - 2010	1,3
DT-4	Lebensdauerkonzepte und bruchmechanische Bewertung für 700°C-Kraftwerke	2007 - 2010	1,8
TD-1	Zerstörungsfreie Prüfmethode bei dickwandigen Bauteilen aus Nickelbasis-Legierungen	2006 - 2009	1,6

Eine Beschreibung der Projektinhalte kann <http://www.fz-juelich.de/ptj/projekte/datapool/page/2121/203.pdf> entnommen werden.

Kontakt:

Dr. Andreas. Klenk: [andreas.klenk@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:andreas.klenk@mpa.uni-stuttgart.de)

Prof. Dr. Karl Maile: [karl.maile@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:karl.maile@mpa.uni-stuttgart.de)

## 6 Veranstaltungen

„**Bauwerksdiagnose 2006**“, DGZfP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung), Berlin, 23.-24. Februar

„**Natursteinsanierung, Stuttgart 2006 – Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen**“, 17. März

Schwerpunktmäßig wurden bei dieser Tagung aktuelle Verfahren und Projekte aus Praxis und Forschung vorgestellt. Zu den Themen zählten u. a. die gezielte Anwendung, Herstellung und Aufbau von Mörteln, Verfahren zur Entsalzung von Naturstein und Mauerwerk sowie Restaurierungskonzepte und bereits abgeschlossene Restaurierungen. Des Weiteren waren Methoden der Schadenserfassung sowie die Ergebnisse der Voruntersuchungen und die geplante Sanierung der ältesten Natursteinbrücke Deutschlands in Regensburg Bestandteile des Programms.

**DafStb-Forschungskolloquium**, 30./31. März

**Abschiedsvorlesung für Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr.-Ing. E.h. Hans-Wolf Reinhardt**, Stuttgart, 4.7.2006

„**Advanced testing of fresh cementitious materials**“, Universität Stuttgart, RILEM und DGZfP, Stuttgart 3.-4. August

„**Damage in Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Testing**“, Universität Stuttgart, 18.-19. September

**Workshop Kompetenzverbund Kerntechnik „Komponentensicherheit“**

Am 4. Oktober fand an der Uni Stuttgart der 4. Workshop des Kompetenzverbundes Kerntechnik statt, der von der MPA Universität Stuttgart organisiert wurde. In 12 Vorträgen informierten sich die ca. 25 Teilnehmer zum neuesten Stand der Arbeiten auf dem Gebiet der Komponentensicherheit.

Der Kompetenzverbund Kerntechnik ist ein Netzwerk deutscher Forschungsinstitutionen und Hochschulen zur Erhaltung kerntechnischer Kompetenz. Ziel des Verbundes ist die Abstimmung und Bündelung der Aktivitäten im Bereich der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung sowie die Mitwirkung bei der Weiterentwicklung internationaler nuklearer Sicherheitsstandards.

### 32. MPA-Seminar



Das 32. MPA Seminar wurde auch im Jahr 2006 wieder unter dem Thema „Innovation und Sicherheit in der Kraftwerkstechnik“ vom 5.-6. Oktober von der MPA durchgeführt. Über 250 Wissenschaftler aus Forschung und Industrie nahmen an der zweitägigen Veranstaltung teil, die nun schon im 32. Jahr als wichtiges Forum für moderne und innovative Kraftwerkstechnik gilt. Sie fand wieder in Kooperation mit dem VGB Power-Tech e.V., Essen (Fachausschuss Werkstoffe und Qualitätssicherung) und dem Fachverband Dampfkessel,- Behälter- und Rohrleitungsbau (FDBR) e.V., Düsseldorf, statt.

## 7 Internationale Kooperationen in der Forschung

### **The National Institute for Metal Science (NIMS), Japan**

Das NIMS ist ein bedeutendes staatliches japanisches Forschungsinstitut (vormals NRIM), das sich seit über 50 Jahren mit der Entwicklung von innovativen Stählen und Legierungen sowie deren Charakterisierung befasst. Mit dem NIMS besteht schon über viele Jahre ein reger Austausch auf dem Bereich der Werkstoffentwicklung und Werkstoffcharakterisierung. Hierzu finden im Abstand von zwei Jahren regelmäßige Workshops statt.

### **Bhabha Atomic Research Centre, Bombay und Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Kalpakkam**

Diese Forschungszentren befassen sich u.a. mit Fragen der Integritätsbewertung von Komponenten sowohl in Anlagen zur Energiewandlung als auch der Verfahrenstechnik. Die Bundesrepublik Deutschland unterstützt über den Projektträger DLR diese Zentren durch den Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet des Werkstoffverhaltens im niedrigen und im hohen Temperaturbereich, der bruchmechanischen Bewertung von Bauteilen und Komponenten sowie der Erstellung von Integritäts- und Instandhaltungskonzepten. Die gemeinsamen Projekte umfassen sowohl experimentelle Untersuchungen als auch numerische Analysen und deren Verifikation. Der im Rahmen dieser Projekte stattfindende Erfahrungsaustausch beinhaltet auch einen regen Austausch von Wissenschaftlern. Aus dieser direkten Kooperation haben sich weitere Kontakte zu Universitäten in Indien (z.B. IIT Madras, IIT Bombay, IIT Kaharagpur und Banaras Hindu University) und anderen Forschungseinrichtungen (z.B. National Metallurgical Laboratory in Jamshedpur) ergeben, die zu einer für beide Seiten fruchtbaren Zusammenarbeit geführt haben.

### **Deutsch-Japanische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kraftwerkstechnik**

Die MPA Universität Stuttgart hat seit vielen Jahren einen intensiven Austausch von Forschungsergebnissen mit japanischen Experten auf dem Gebiet der Werkstoffentwicklung. Dieser Erfahrungsaustausch, der auf einem Kooperationsabkommen mit dem NIMS basiert, hat sich in den letzten Jahren sehr positiv entwickelt. Insbesondere die Diskussionen im Bereich der Werkstoffentwicklung und -charakterisierung für die neuen Hochleistungskraftwerke hat sich für beide Seiten als sehr fruchtbar erwiesen. In diesem Zusammenhang werden in regelmäßigen Abständen gemeinsame Seminare durchgeführt. Themen dieser Seminare befassen sich mit bruchmechanischen Analysen, Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und deren Weiterentwicklung sowie Fragen der Werkstoffermüdung und des Kriechens. Die gemeinsamen Seminare und die sich daraus ergebenden individuellen Kontakte leisten einen wichtigen Beitrag zur Abstimmung von generischen Sicherheitsstrategien, laufenden Werkstoffentwicklungen sowie mittel- und langfristig angelegten Forschungsaktivitäten.

## **8 Mitarbeit der MPA Universität Stuttgart in Arbeitskreisen und Ausschüssen**

Die Mitarbeiter der MPA Universität Stuttgart sind in zahlreichen Gremien vertreten. Die wesentlichen sind nachfolgend zusammengestellt. Dabei bestehen zahlreiche Unterausschüsse, in denen ebenfalls MPA-Mitarbeiter vertreten sind:

American Concrete Institute (ACI)  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)  
Comité Européen de Normalisation (CEN)  
Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM)  
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)  
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)  
Deutscher Kalibrierdienst (DKD)  
Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V. (DVM)  
Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (DVS)  
Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen (DAP)  
Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)  
Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)  
European cooperation in the field of scientific and technical research (COST)  
European Federation of Corrosion (EFC)  
European Structural Integrity Society (ESIS)  
fédération internationale du béton (fib)  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)  
Gemeinschaft Experimentelle Strukturanalyse (GESA)  
Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)  
Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V. (GfKORR)  
International Institute of Welding (IIW)  
Kerntechnischer Ausschuss (KTA)  
Reaktorsicherheitskommission (RSK)  
Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes des construction et ouvrages (RILEM)  
Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh)  
Verein Deutscher Ingenieure (VDI)  
Wissenschaftlich-technische Arbeitsgemeinschaft Bautenschutz und Denkmalschutz (WTA)

## 9 Gastvorträge

Prof. Dr. H. D. Carstanjen (Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart):  
„Material-Analytik mit MeV-Ionenstrahlen am Pelletron-Beschleuniger des MPI für Metallforschung“, 11.4.06

Prof. Sayed A. Nassar Ph.D. (Oakland University, USA):  
„Adhesive Bonding of Dissimilar Materials“, 21.6.06

Dr. T. Jayakumar (IGCAR, Kalpakkam, Indien):  
„R & D in NDE for Evaluation of Components“, 11.10.06

M. Samal (Bhabha Atomic Research Centre (BARC), Mumbai, Indien):  
„Non local damage models“, 13.12.06

## 10 Gastwissenschaftler

**Abd El-Azim, M.**, Prof. (Ägypten), 05.01.-31.01.06

**Balokhonov, R.**, Dr. (Russland), 03.07.-01.09.06

**Deryugin, Y. Y.**, Dr. (Russland), 01.10.-31.12.06

**Hadjov, K.B.**, Prof. (Bulgarien), 09.01.-08.02.06

**Jayakumar, T.**, Dr. (Indien), 10.10.-12.10.06

**Khan, I.A.** (Indien), 15.06.06-15.08.06

**Krebel, F.** (Russland), 01.04.05-31.03.06

**Kushwaha, H.S.** (29.11.-02.12.06)

**Mischnaewsky, L., Dr.** (Deutschland) 01.03.03-28.02.08

**Pal, T.K.**, Prof. Ph.D. (Indien), 19.10.-18.11.

**Romanova, V.**, Dr. (Russland), 03.07.-01.09.06

**Samal, M.K.**, (Indien), 09.01-15.03.06, 31.08.-31.12.06)

**Siddiq, A.**, (Pakistan), 15.07.03-15.07.06

**Wang, Zh.** (China), 17.10.05-31.03.06

## 11 Veröffentlichungen

**Aicher, S.:** Non-Destructive Damage Localization in Cellulose-Fiber Gypsum Boards. In: Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation. ISD-Verlag 2006, ISBN 3-930683-90-3, pp. 129-142.

**Aicher, S. and G. Dill-Langer:** Monitoring and Localization of Damage Evolution in Wood. In: Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation. ISD-Verlag 2006, ISBN 3-930683-90-3, pp. 263-281.

**Aicher, S., W. Klöck and H.-W. Reinhardt:** Fracture Toughness of Wood Fiber Gypsum Panels from Size Effect Law. Journal of Engineering Mechanics 132 (2006) , Vol. 7, pp. 730-738.

**Aicher, S. and M. Schrank:** Shear Reinforcement of Glulam Beams with Glued-In Steel Rods – A Case Study. Otto-Graf-Journal, Vol. 17 (2006), pp. 143-160.

**Balokhonov, R. R., V.A. Romanova and S. Schmauder:** Computational Analysis of Deformation and Fracture in a Composite Material on the Mesoscale Level. Computational Materials Science 37 (2006), pp. 110-118.

**Balos, D., A. Klenk, K. Maile und W. Müller:** Anwendung von neuronalen Netzen zur Ermittlung des schmelzenabhängigen Zeitstandverhaltens. 29. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 24. November 2006, Düsseldorf, S. 137-148.

**Bareiß, J., E. Roos, A. Jovanovic, M. Perunicic and D. Balos:** Risk-Based Maintenance Concept – European Development and Experience in Implementation on High-Temperature Steam Tubes and Pipes. VGB PowerTech 86 (2006), Heft 1-2, S. 77-82.

**Bartonicek, J., R. Hahn, H. Kockelmann und H. Kurz:** Anwendung der TA zur Gewährleistung der Dichtheit von Flanschverbindungen in der Anlagentechnik. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Bauer, M., A. Klenk, K. Maile und E. Roos:** Optimierung der Zeitstandfestigkeit aus modernen martensitischen Stählen. 29. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 24. November 2006, Düsseldorf, S. 51-62.

**Bauer, M., A. Klenk, K. Maile, E. Roos and C. Jochum:** Investigations on Optimization of Weld Creep Performance in Martensitic Steels. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Liège Conference “Materials for Advanced Power Engineering 2006”, Volume 53, Part III, pp. 1341-1355.

**Berger, C., A. Scholz, T. Mao, E. Roos, A. Klenk und A. Udoh:** Hochtemperaturverhalten von Gusseisenwerkstoffen mit Kugelgraphit. Bericht über das Vorhaben des VDG (AiF-Nr. 13168N) Informationstagung Turbomaschinen, 19. September 2006 in Würzburg, S. 53-72, Heft R536.

**Berger, C., A. Scholz, T. Mao, E. Roos, A. Udoh und A. Klenk:** Untersuchungen zum Verhalten von ferritischen Gusseisenwerkstoffen mit Kugelgraphit bei hohen Temperaturen. *Giesserei* 93 (2006), Heft 3, S. 34-43.

**Berger, C., E. Roos, T. Mao, A. Scholz and A. Klenk:** Behaviour of Ductile Cast Iron at High Temperatures. *Giessereiforschung "International Foundry Research"*, (2006), Vol. 2, pp. 18-28.

**Bleck, W., A. Meizoso, P. Deimel and P. Balladon:** Quantitative correlation of microstructure and fracture toughness for high strength steels and their welds (355 – 890 MPa), Final report, European Commission, Technical steel research, Directorate-General for Research, EUR 22045 EN, European Communities.

**Brameshuber, W., T. Brockmann, M. Curbach, C. Meyer, G. Vilkner, B. Mobasher, A. Peled, H.-W. Reinhardt, M. Krüger and J. Wastiel:** Concrete/Matrix. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee TC 201-TRC „Textile Reinforced Concrete“. RILEM Report 36 (2006) pp. 29-56.

**Brameshuber, W., T. Brockmann, B. Mobasher, U. Pachow, A. Peled, H.-W. Reinhardt, M. Krüger and J. Wastiel:** Production Technologies. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee TC 201-TRC „Textile Reinforced Concrete“. RILEM Report 36 (2006) pp. 57-81.

**Bräutigam, T. and H. Bossenmaier:** Current State of the Horizontal Drilling Technique for Long Drainage Borings to Drain Sliding Slopes. *Otto-Graf-Journal*, Vol. 17 (2006), pp. 89-98.

**Breyer, B., C. Vogt-Breyer, S. Crienitz, G. Sawade and R. Wellhäußer:** Assessment of Pile Bearing Capacity by Load Tests and Numerical Analysis. *Otto-Graf-Journal*, Vol. 17 (2006), pp. 99-116.

**Breyer, B., R. Wellhäuser und C. Vogt:** Ermittlung der Pfahltragfähigkeit durch Probelastungen und numerischen Analysen. 5. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“, 24. und 25. Januar 2006, Ostfildern, S. 367-376.

**Büteführ, M.:** Einfluss des Aluminiumgehaltes gespritzter Zinküberzüge auf den Korrosionsschutz von Stahl. Schriftenreihe des Otto-Graf-Institut, MPA Universität Stuttgart, Heft 91/2006, ISBN 3-9809512-4-3.

**Büteführ, M., C. Fischer, C. Gehlen, K. Menzel and U. Nürnberger:** On-Site Investigation on Concrete Resistivity – a Parameter of Durability Calculation of Reinforced Concrete Structures. *Materials and Corrosion* 57 (2006), Vol. 12, pp. 932-939.

**Büteführ, M., K. Menzel und U. Nürnberger:** Modellierung von Bewehrungskorrosion – Korrosionsmonitoring an gerissenen Bauteilen. 16. Internationale Baustofftagung „ibausil“, 20.-23. September 2006, Weimar, Deutschland, Band 1, S. 1223-1230.

**Büteführ, M., K. Menzel und U. Nürnberger:** Modelling of Reinforcement Corrosion – Experimental Data for Validation of a Probabilistic Model. Eurocorr 2006, September 25-28 (2006), Maastricht, Netherland, pp. 932-939.

**Chattopadhyay, J., H.S. Kushwaha and E. Roos:** Some Recent Developments on Integrity Assessment of Pipes and Elbows. Part I: Theoretical Investigations. Intern. Journal of Solid and Structures 43 (2006), pp. 2904-2931.

**Chattopadhyay, J., H.S. Kushwaha and E. Roos:** Some Recent Developments on Integrity Assessment of Pipes and Elbows. Part II: Experimental Investigations. International Journal of Solids and Structures 43 (2006), pp. 2932-2958.

**Crostack, H.-A., J. Nellesen, G. Fischer, S. Schmauder, U. Weber and F. Beckmann:** Tomographic Analysis and FE-Simulations of MMC-Microstructures under Load. Proceedings of SPIE Optics Photonics Conference, Vol. 6318, August 15-17 (2006), San Diego, California USA.

**De Belie, N., C.U. Grosse and H.-W. Reinhardt:** Ultrasound Monitoring of Setting and Hardening of Shotcrete Including Alkali-Rich or Alkali-Free Accelerators. Proceedings of the International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR), November 21-23 (2005), Cape Town, South Africa. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (2006), Verlag Taylor & Francis, ISBN 0-415-39654-9, pp. 907-912.

**Deuschle, H.M., W. Lutz, H. Gerger and S. Schmauder:** Simulation of Photoelasticity in a Glass Fiber Polymer Matrix Composite. In: Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation. Universität Stuttgart (2006), ISBN 3-930683-90-3, pp. 311-321.

**Dill-Langer, G., S. Aicher and W. Bernauer:** Reflection Measurements at Timber Glue-Lines by Means of Ultrasound Shear Waves. NDT.net 11 (2006), No. 4. <http://www.ndt.net/article/v11n04/dill-langer2/dill-langer2.htm>

**Dill-Langer, G., W. Bernauer and S. Aicher:** Inspection of Glue-Lines of Glued-Laminated Timber by Means of Ultrasonic Testing. NDT.net 11 (2006), No. 4. <http://www.ndt.net/article/v11n04/dill-langer1/dill-langer1.htm>

**Dobmann, G., K. J. Langenberg, U. Mletzko; W. Müller und V. Schmitz:** Prüftechnische Vorteile durch die Nutzung von SAFT-Algorithmen bei der Prüfung von Mischnähten – Nachweis, Positionierung und Größenbestimmung der Befunde im anisotropen Gefüge. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Dujic, B., S. Aicher and R. Zarnic:** Racking Behaviour of Light Prefabricated Cross-Laminated Massive Timber Wall Diaphragms Subjected to Horizontal Actions. *Otto-Graf-Journal*, Vol. 17 (2006), pp. 125-142

**Eckstein, J., M. Ruther, K. Roll, E. Roos und M. Seidenfuß:** Analyse der Versagensformen beim Halbhohlstanznieten. *Schweißen und Schneiden* 58 (2006), Heft 11, S. 594-601.

**Eligehausen, R., J. Asmus, D. Lotze und M. Potthoff:** Ankerschienen. In: *Betonkalender 2007: Verkehrsbauten – Flächentragwerke*, Band 2. Verlag Ernst & Sohn 2006, ISBN 3-433-01833-2, S. 375-435.

**Gabrio, T., R. Amend, R. Blessing, J. Feurer, A. Friedle, R. Goes, A. Hummel, S. Jovanovic, B. Link, F. Schweinsberg, G. Volland, S. Wacker, D. Zöltzer:** Qualitätssicherung von innenraumrelevanten Stoffen: Polychlorierte Biphenyle und Aldehyde – Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft 66 (2006) Nr. 3, S. 79 – 87.

**Gehlen, C.:** Rede zur Verabschiedung von Prof. Dr.-Ing. H.-W. Reinhardt. In: *Reden zur Abschiedsvorlesung von Prof. Dr.-Ing. H.-W. Reinhardt*, 4. Juli 2006, Stuttgart. *Reden und Aufsätze* 71, S. 43-55

**Gehlen, C., C. Dauberschmidt and U. Nürnberger:** Condition Control of Existing Structures by Performance Testing. *Otto-Graf-Journal*, Vol. 17 (2006), pp. 19-44.

**Gehlen, C., U. Nürnberger und B. Neubert:** Stahlrost in Beton. *Jahrbuch Wechselwirkungen* 2006, Universität Stuttgart (2006), S. 12-21.

**Grassegger, G. und G. Patitz:** Tagungsband Natursteinsanierung Stuttgart 2006 „Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen“, 17. März 2006 in Stuttgart.

**Greitmann, M.J. und E. Roos:** Neues Verfahren zur Bestimmung von Übergangswiderständen an Blechhalbzeugen aus Aluminium- und Stahlwerkstoffen. 15. Fachmesse für Prüftechnik, 16.-19. Oktober 2006, Ulm.

**Grosse, C., R. Beutel and H.-W. Reinhardt:** Impact-Echo Techniques for Non-Destructive Inspection of Concrete Structures. *Proceedings of the International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR)*, November 21-23 (2005), Cape Town, South Africa. In: *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting* (2006), Verlag Taylor & Francis, ISBN 0-415-39654-9, pp. 461-465.

**Grosse, C.U., J. Kurz, H.-W. Reinhardt, M. Krüger, P.J. Marrón, K. Rothermel, J. Meyer and G. Feltrin:** Wireless Monitoring of Concrete Structures using Micro-electro-Mechanical Sensors (MEMS). *Proceedings of the International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRR)*, November 21-23 (2005), Cape Town, South Africa. In: *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting* (2006), Verlag Taylor & Francis, ISBN 0-415-39654-9, pp. 1327-1332.

**Hahn, B., R. U. Husemann, A. Klenk, J. Ladeur, und K. Maile:** Vorschläge zur Lebensdauerüberwachung und Restlebensdauerermittlung an Druckteilkomponenten aus neuen Werkstoffen. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Henry, G., F. Hölig and R. Finn:** Some Optical Methods for NDE. In: Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation. ISD-Verlag 2006, ISBN 3-930683-90-3, pp.81-98.

**Herter, K.-H., B. Reicherter und W. Hienstorfer:** Ermüdungssicherheit für Rohrleitungen. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Hienstorfer, W., E. Roos, K.-H. Herter und X. Schuler:** Alterungsmanagement für Systeme, Strukturen und Komponenten. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Huh, Nam-Su, L. Stumpfrock, E. Roos, Yun-Jae Kim and Young-Jin Kim:** A Method of *J* Testing Based on Crack Opening Displacement for Circumferential Through-Wall Cracked Pipes under Combined Tension and Bending. Solid State Phenomena Vol. 110 (2006), pp. 63-70.

**Jovanovic, A.:** EuMaT Materials for Life Cycle. Roadmap of the European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies. EuMaT Members, Version 23, April 25, 2006

**Jüngert, A. and C.U. Grosse:** Measurements of the Vibrations of a Building. Otto-Graf-Journal, Vol. 17 (2006), pp. 73-88.

**Kabir, M.R., W. Lutz, K. Zhu and S. Schmauder:** Fatigue Modeling of Short Fiber Reinforced Composites with Ductiles Matrix under Cyclic Loading. Computational Materials Science 36 (2006), pp. 361-366.

**Kauffmann, F., K. Maile, K.-H. Mayer und S. Straub:** Metallkundliche Charakterisierung von neuen 9-11 % Cr-Stählen (COST 536). 29. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 24. November 2006, Düsseldorf, S. 19-28.

**Kauffmann, F., K.H. Mayer, S. Straub, G. Zies, C. Scheu, H. Ruoff and K. Maile:** Characterization of the Precipitates in Modern Boron Containing 9-12 % Cr Steels by EFTEM and their Correlation to the Creep Strength. Prakt. Met. Sonderband 38 (2006), pp. 273-280.

**Kauffmann, F., K.H. Mayer, S. Straub, G. Zies, C. Scheu, D. Willer, H. Ruoff and K. Maile:** Microstructural Characterization of Modern Boron Containing 9-11 % Cr Steels Developed in the Framework of the Cost Program. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Liège Conference “Materials for Advanced Power Engineering 2006”, Volume 53, Part III, pp. 1171-1180.

**Klenk, A.:** Creep and Creep Fatigue Life Assessment of Power Plant Components. Proceedings of the International Conference on Advances in Monitoring and Remaining Life Assessment for Fossil Power Plants, October 16-18 (2006), Louisville, Kentucky, USA.

**Klenk, A., A. Helmrich und R.-U. Busemann:** Qualifizierung einer Nickelbasis – Legierung für Sammler und Rohrleitungen in Hocheffizienz-Kraftwerken. Tagungsband der 21. Rohrleitungstechnischen Tagung „Rohrleitungen in Kernkraftwerken und chemischen Anlagen – Rohrfernleitungen“, 21. und 22. März 2006 in Köthen, S. 145-155.

**Klenk, A. und K. Maile:** Beitrag zur mechanismenbasierten Beschreibung des Kurzzeitstandverhaltens bei auslegungsüberschreitenden Temperaturen. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Klenk, A., K. Maile, H. Theofel, A. Helmrich, R.U. Husemann, J. Heinemann and G. Lüdenbach:** Qualification of Ni-Based Material for Tubes and Piping of 700°C Power Plant. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Liège Conference “Materials for Advanced Power Engineering 2006”, Volume 53, Part III, pp. 1597-1608.

**Kockelmann; H.:** Auslegung von Flanschverbindungen nach Europäischen Standards. Tagungsband der 21. Rohrleitungstechnischen Tagung „Rohrleitungen in Kernkraftwerken und chemischen Anlagen – Rohrfernleitungen“, 21. und 22. März 2006 in Köthen, S. 29-48.

**Kockelmann, H. and R. Hahn:** High Grade Performance Proof on Gaskets for Bolted Flange Connections with Organic Fluid. Proceedings of PVP2006-ICPVT-11 2006 ASME Pressure Vessel & Piping Conference and the Eleventh International Conference on Pressure Vessel Technology, July 23-27, 2006, Vancouver, British Columbia, Canada.

**Krüger, M. and H.-W. Reinhardt:** Fire Resistance. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee TC 201-TRC „Textile Reinforced Concrete“. RILEM Report 36 (2006) pp.211-219.

**Lasko, G.V., Y.Y. Deryugin and S. Schmauder:** Simulation of the Evolution of Band Structures in Polycrystals on the Basis of Relaxation Element Method and Cellular Automata. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, ACRI 2006, September 20-23 (2006) Perpignan, France. Springer Verlag, 2006, pp. 367-372.

**Lidbury, D.P.G., A.H. Sherry, B.R. Bass, P. Gilles, D. Connors, U. Eisele, E. Keim, H. Keinänen, K. Wallin, D. Lauerova, S. Marie, G. Nagel, K. Nilsson, D. Siegele and Y. Wadier:** Validation of Constraint based methodology in structural integrity of ferritic steels for nuclear reactor pressure vessels. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures FFEMS, Paper ID 3819.

**Lutz, W., M. Dong, K. Zhu and S. Schmauder:** Modeling of Damage in Fiber and Particle Reinforced Composites. In: Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation. Universität Stuttgart 2006, ISBN 3-930683-90-3, pp. 325-359.

**Lutz, W., K. Zhu and S. Schmauder:** FEM-Modeling of Acoustic Emission in Short Fiber Reinforced Composites. In: Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation. Universität Stuttgart 2006, ISBN 3-930683-90-3, pp. 297-310.

**Machalowska, M., A. Klenk, K. Maile und G. Lüdenbach:** Analyse und Bewertung von Schadensfällen an warmgehenden Bauteilen unter Anwendung bruchmechanischer Berechnungswerkzeuge. 32. VDI-Jahrestagung Schadensanalyse – Schäden in der Kraftwerkstechnik, 9.-10. Oktober 2006 in Würzburg. VDI-Berichte 1930, S.37-48.

**Maile, K.:** Die Gefügerichtreihe VGB TW 507 – Auswirkungen der Neufassung von 2005. Prakt. Met. Sonderband 38 (2006), S. 419-426.

**Maile, K.:** Schädigungsverhalten neuer martensischer Kraftwerkstoffe. 32. VDI-Jahrestagung Schadensanalyse – Schäden in der Kraftwerkstechnik, 9.-10. Oktober 2006 in Würzburg. VDI-Berichte 1930, S. 23-35.

**Maile, K., and A. Klenk:** Creep Damage Development in 9–11Cr Steels. Proceedings of the International Conference on Advances in Monitoring and Remaining Life Assessment for Fossil Power Plants, October 16-18 (2006), Louisville, Kentucky, USA.

**Maile, K., K. Berreth and A. Lyutovich:** Improvement of Oxidation Resistance of Tubes by Pulsed Siliconising. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Liège Conference “Materials for Advanced Power Engineering 2006”, Volume 53, Part III, pp. 1571-1580.

**Maile, K., K. Berreth and A. Lyutovich:** Functionally Graded Coatings on C/C-SiC Composites. In: Recent Advances in Composites Materials (Intelligent, Smart, Sustainable & Infrastructural Materials). Allied Publishers Pvt. Ltd.(2006), ISBN 81-8424-175.5, pp. 433-440.

**Maile, K., K. Berreth, A. Lyutovich and E. Roos:** Modification of Inner Surface of Steel Tubes via CAD and CVD. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Surface Modification Technologies, November 15-17 (2004), Dijon, France. Verlag: Maney / ASM International 2006, ISBN 1-904350-23-2, pp. 153-157

**Maile, K., A. Udoh and H.-P. Maier:** Use of Conductive Based NDT-Methode for Indication of Damage in C/C-SiC. In: Recent Advances in Composites Materials (Intelligent, Smart, Sustainable & Infrastructural Materials). Allied Publishers Pvt. Ltd.(2006), ISBN 81-8424-175.5, pp. 506-520.

**Maile, K., G. Zies, R. Scheck, D. Kuppler, H. Ruoff, M. Rauch, A. Klenk und C. Scheu:** Mikrostrukturelle Merkmale von martensitischen Chromstählen und deren Einfluss auf die Kriechfestigkeit. Praktische Metallographie, H. 7, S. 349-363.

**Menzel, K.:** Betonschrauben – Kriterien für eine Zulassung auf Empfindlichkeit gegen wasserstoffinduzierte Brüche. Beiträge zum 46. Forschungskolloquium am 30. und 31. März 2006, Universität Stuttgart, DafStb 2006, S. 59-68.

**Menzel, K. und R. Braun:** Die Gewächshäuser am Maurischen Landhaus in der Wilhelma: Schadensbilder und Sanierungsmaßnahmen an einer Gusskonstruktion von 1842. GfKORR-Jahrestagung 2006, 7.-8. November 2006, Frankfurt / Main, DECHEMA Verlag, ISBN 3-935406-31-2, S. 28-37.

**Müller, F., A. Scholz, C. Berger, M. Machalowska, A. Klenk, E. Roos und J. Ewald:** Langzeitkriechermüdungsrissverhalten von neuen 10%-Chromstählen. 29. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 24. November 2006, Düsseldorf, S. 29-40.

**Nürnberg, U.:** Verwendung nichtrostender Stähle in der Befestigungstechnik – Stellungnahme zum korrosionstechnischen Regelwerk. Beiträge zum 46. Forschungskolloquium am 30. und 31. März 2006, Universität Stuttgart, DafStb 2006, S. 69-83.

**Öttl, Chr.:** Frost/Deicing Salt Resistance of Concrete Pavements with Unsuitable Air Void Characteristics. Otto-Graf-Journal, Vol. 17 (2006), pp. 45-56.

**Perova, T.S., R.A. Moore, K. Berreth, K. Maile and A. Lyutovich:** Micro-Raman Spectroscopy of Protective Coatings Deposited onto C/C-SiC Composites. Proceedings of the International Conference on Materials Energy and Design, MED 06, March 14-17 (2006), Dublin, Ireland. Taifun

**Rauch, M.:** Entwicklung eines Lebensdauerkonzeptes für Schaufel-Welle-Verbindungen stationärer Turbinen aus Nickelbasis- und 10 % Chromlegierungen. Techn.-wiss. Bericht MPA Stuttgart (2006), H. 06-01.

**Reinhardt, H.-W.:** Forschung am Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB) und am Otto-Graf-Institut (OGI). Beiträge zum 46. Forschungskolloquium am 30. und 31. März 2006, Universität Stuttgart, DafStb 2006, S. 1-24.

**Reinhardt, H.W.:** New German Guideline for Design of Concrete Structures for the Containment of Hazardous Materials. Otto-Graf-Journal, Vol. 17 (2006), pp. 9-17.

**Reinhardt, H.-W.:** Zum Gedenken an Otto-Graf, universeller Bauforscher in Stuttgart. In: Reden zur Abschiedsvorlesung von Prof. Dr.-Ing. H.-W. Reinhardt, 4. Juli 2006, Stuttgart. Reden und Aufsätze 71, S. 8-42.

**Reinhardt, H.-W., R. Finn and S. Aicher:** Static and Dynamic Response of Cellulose Fiberglass-Board Wall Elements. Proceedings of the International Symposium "Brittle Matrix Composites 8", October 23-25 (2006) Warschau, Poland, pp. 73-84.

**Reinhardt, H.-W., C. Grosse and J.H. Kurz:** Short Fiber Reinforced Concrete. In: Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation. ISD-Verlag 2006, ISBN 3-930683-90-3, pp. 143-155.

**Reinhardt, H.-W., C. Grosse und J.H. Kurz:** Continuous Fiber Reinforced Concrete. In: Damage and its Evolution in Fiber-Composite Materials: Simulation and Non-Destructive Evaluation. ISD-Verlag 2006, ISBN 3-930683-90-3, pp. 251-262.

**Reinhardt, H.-W. and M. Krüger:** Serviceability and Ultimate Limit State of Textile Reinforced and Prestressed Concrete. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium and Workshop on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites, February 6-8 (2006) Bangkok, Thailand, pp. 23-32.

**Reinhardt, H.-W., M. Krüger, A. Bentur, W. Brameshuber, B. Banholzer, M. Curbach, F. Jesse, B. Mobasher, A. Peled and H. Schorn:** Composite Materials. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee TC 201-TRC „Textile Reinforced Concrete“. RILEM Report 36 (2006) pp. 83-131.

**Reinhardt, H.-W. und C. Öttl:** Zur Beurteilung des Alkaliangriffes von Bindemittelgemischen aus Portlandzement und Steinkohlenflugasche mit dem SIC-Test. 16. Internationale Baustofftagung „ibusil“, 20.-23. September 2006, Weimar, Deutschland, Band 2, S. 493-499..

**Reinhardt, H.-W. und M. Stegmaier:** Dauerhaftigkeit von wärmebehandeltem Selbstverdichtendem Beton (SVB). Betonwerk + Fertigteil-Technik (2006), H. 3, S. 20-32.

**Reinhardt, H.-W. und M. Stegmaier:** Influence of Heat Curing on the Pore Structure and Compressive Strength of Self-Compacting Concrete (SCC). Cement and Concrete Research 36 (2006), pp. 879-885.

**Roos, E.:** Lebensdauermanagement mechanischer Komponenten. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Roos, E., U. Eisele und L. Stumpfrock:** Spannungsmehrachsigkeit und Bruchmechanikkennwerte. Materialprüfung 48 (2006), H. 4, S. 168-173.

**Roos, E.; K.-H. Herter and X. Schuler:** Lifetime Management for Mechanical Systems, Structures and Components in Nuclear Power Plants. Int. Journ. of Press. Vess. and Piping 83 (2006), No. 10, pp. 756-766.

**Roos, E., K.-H. Herter, X. Schuler, J. Bartonicek und F. Schöckle:** Integritätskonzept für Rohrleitungen. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Roos, E., R. Kießling und L. Stumpfrock:** Technische Ersatzkennwerte für duktile Rissinitiierung und Mehrachsigkeit des Spannungszustandes. 4. Workshop Kompetenzverbund Kerntechnik „Komponentensicherheit“ am 4. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Roos, E., A. Klenk, M. Machalowska, C. Berger, A. Scholz und F. Müller:** Kriech- und Kriechermüdrissverhalten moderner Kraftwerkstähle im Langzeitbereich. Abschlussbericht über das Vorhaben Nr. 255 (AVIF-Nr. A178). Informationstagung Turbomaschinen, 19. September 2006 in Würzburg, S. 99-126, Heft R536.

**Roos, E. und K. Maile:** Lebensdauermanagementsystem für Rohrleitungen in fossil befeuerten Kraftwerken. 38. Kraftwerkstechnisches Kolloquium „Kraftwerksbetrieb unter künftigen Rahmenbedingungen“, 24 und 25. Oktober 2006 in Dresden.

**Roos, E., K. Maile, K. Berreth, A. Lyutovich and E. Pflüger:** Mechanical Properties of Metal Coatings Deposited by Ion Assisted EB PVD on Ni-based-Alloys. 10<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, PSE 2006, September 10-15 (2006), Garmisch-Partenkirchen, Germany.

**Roos, E., K. Maile und A. Klenk:** Sicherer und wirtschaftlicher Betrieb von Kraftwerken - Ergebnis der Forschung im Bereich Werkstoffe, Auslegung und Instandhaltung. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 37 (2006) H. 10, S. 858-868.

**Roos, E., K. Maile and A. Klenk:** Advanced Monitoring of High Temperature Components for 620° C Steam Power Plant. Proceedings of the International Conference on Advances in Monitoring and Remaining Life Assessment for Fossil Power Plants, October 16-18 (2006), Louisville, Kentucky, USA.

**Roos, K. Maile, A. Lyutovich, K. Berreth, Kh. Ashurov and S. Morozov:** Ion Assisted Deposition of Ti and Zr Coatings on Ni-alloy and C/C-SiC, Composites, 10<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, PSE 2006, September 10-15 (2006), Garmisch-Partenkirchen, Germany.

**Roos, E., X. Schuler und F. Schöckle:** Vorbeugende Instandhaltung für mechanische Komponenten. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Roos, E., X. Schuler, T. Schütt, E. Soppa and L. Stumpfrock:** Investigations on Causes of Disbonding in Dissimilar Weld Joints during Fabrication. Fontevraud 6, 18.-22. September 2006.

**Samadhiya, R., A. Mukherjee and S. Schmauder:** Characterization of Discretely Graded Materials using Acoustic Wave Propagation. Computational Materials Science 37 (2006), pp. 20-28.

**Sawade, G.:** Stand der magnetischen Untersuchung von Spannbetonbauteilen. Beiträge zum 46. Forschungskolloquium am 30. und 31. März 2006, Universität Stuttgart, DafStb 2006, S. 85-94

**Schaaf, M., F. Schöckle, J. Batonicsek und H. Kockelmann:** Relevante Kennwerte der Dichtungen für Flanschverbindungen. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Schad, H. und G. Sawade:** Tragfähigkeit kleiner Gründungselemente für Solaranlagen. 5. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“, 24. und 25. Januar 2006, Ostfildern, S. 395-403.

**Scheck, R. und K. Maile:** Anwendungsgebiete und Vorteile des Vibrationspolierens. Prakt. Met. Sonderband 38 (2006), S. 395-402.

**Schießl, P., P. Bamforth, V. Baroghel-Bouny, G. Corley, M. Faber, J. Forbes, C. Gehlen et. al.:** Model Code for Service Life Design. In: Fib Bulletin 34 (2006), ISBN 2-88394-074-6.

**Schießl, P. and C. Gehlen:** New Approach of Service Life Design for Concrete Structures. Restoration of Buildings and Monuments 12 (2006), No. 4, pp. 285-298.

**Schießl, P., C. Gehlen, G. Kapteina und C. Dauberschmidt:** Monitoring von Stahlbetonwerken mit Hilfe von Korrosionssensoren – Anwendungen, Auswertungen und Implementierung der Ergebnisse in eine Dauerhaftigkeitsprognose. Sicherheitsgewinn durch Monitoring?, ISBN 3-9808875-1-9, S. 387-403

**Schrank, M., G. Dill-Langer and S. Aicher:** An Object Oriented Modelling Approach for Structures with Statistically Distributed Defects. Otto-Graf-Journal, Vol. 17 (2006), pp. 117-124.

**Schuler, X., T. Schütt und L. Stumpfrock:** Numerische Untersuchungen zur Entstehung fertigungsbedingter Fehlstellen in Mischschweißnähten. 4. Workshop Kompetenzverbund Kerntechnik „Komponentensicherheit“ am 4. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Schütt, T., U. Eisele, M. Hoffmann, und X. Schuler:** Bruchmechanische Integritätsanalyse für Rohrleitungen. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Sheng, S., A. Klenk, A. Scholz, J. Schubert und M. Vierbaum:** Hochtemperaturen von Gusseisenwerkstoffen mit Kugelgraphit. 29. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 24. November 2006, Düsseldorf, S. 117-128.

**Siddiq, A. and S. Schmauder:** Interface Fracture Analyses of a Bicrystal Niobium/Alumina Specimen using a Cohesive Modelling Approach. Modelling Simul. Mater. Sci, Eng. 14 (2006), pp. 1015-1030.

**Smolin, I.Y., S. Schmauder, P.V. Makarov and R.A. Bakeyev:** A Micropolar Framework for Modeling Mechanical Behavior at the Mesoscale with Taking into Account Microstructure Evolution. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference “Multiscale Materials Modeling”, September 18-22 (2006), Freiburg, Germany, pp. 112-115.

**Sodeikat, C., C. Dauberschmidt, P. Schießl, C. Gehlen und G. Kapteina:** Korrosionsmonitoring von Stahlbetonbauwerken für Public Private Partnership Projekte. Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006), H. 12, S. 932-942.

**Stamatelopoulos, G.-N, A. Helmrich, K. Maile and A. Klenk:** Membranwände für Dampferzeuger mit erhöhten Dampfparametern – Auslegungskriterien und aktuelle Werkstoffqualifizierungen. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Tursun, G., U. Weber, E. Soppa and S. Schmauder:** The Influence of Transition Phases on the Damage Behaviour of an Al/10vol.%SiC Composite. Computational Materials Science 37 (2006), pp. 119-133.

**Van der Veken, P., J. Ozbolt, G. Grassegger und H.-W. Reinhardt:** Experimentelle Untersuchungen und FE-Simulation an baden-württembergischen Schilfsandstein zur thermisch-hygrischen Belastbarkeit. Tagungsband Natursteinsanierung Stuttgart 2006 „Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen“, 17. März 2006 in Stuttgart, S. 71-80.

**Volland, G., D. Hansen, A. Neuwirth, D. Zöltzer und G. Krause:** Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB) und polychlorierte Dibenzodioxine/Furane (PCDDF) in Raumluft und Hausstaub. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 66 (2006), Nr. 3, S. 99-106.

**Waidele, H. und P. Knoch:** Erprobung und Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfverfahren. 32. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 5. und 6. Oktober 2006 in Stuttgart.

**Zeus, K. und G. Schroeter:** Überprüfung der Festlegung der DIN 1053 zu den Grundwerten der zulässigen Spannung und des Eurocodes 6 zu den charakteristischen Werten der Druckfestigkeit für Mauerwerk aus Porenbetonplansteinen mit Griffhilfen. Kurzberichte der Bauforschung 47 (2006), Nr. 1, S. 27-29.

## **13 Promotionen an der MPA Universität Stuttgart**

**Rauch, Markus:** Entwicklung eines Lebensdauerkonzeptes für Schaufel-Welle-Verbindungen stationärer Turbinen aus Nickelbasis- und 10 % Chromlegierungen

